
VARIACIÓN DE PATRONES MORFOLÓGICOS CRANEOFACIALES EN RELACIONES ESQUELÉTICAS CLASE I, II Y III

VARIATION OF CRANIOFACIAL MORPHOLOGICAL PATTERNS IN CLASS I, II, AND III SKELETAL RELATIONSHIPS

NANCY ESPERANZA CASTRO GUEVARA,¹ JOAO VÍCTOR MUÑOZ DURÁN,²

LUIS ALBERTO LÓPEZ PÉREZ,³ CLEMETINA INFANTE CONTRERAS⁴

RESUMEN. Introducción: tradicionalmente, los estudios de variaciones morfológicas de componentes craneofaciales para clasificar relaciones esqueléticas han considerado análisis univariados y multivariados mediante variables como distancias, ángulos y planos referenciales. Sin embargo, estos métodos no explican cambios generales de forma y proporcionan una descripción parcial y localizada de estas relaciones. En tanto, los métodos basados en Morfometría Geométrica (MG) en dos o tres dimensiones (2D o 3D,) permiten una comprensión detallada y un examen más sensible de variables. El objetivo fue identificar la variación de patrones morfológicos de la estructura Craneofacial General (CFG) en relaciones esqueléticas I, II y III, utilizando MG-2D. **Métodos:** se hizo un estudio prospectivo mediante muestreo no probabilístico. Se tomaron 272 radiografías laterales de cráneo (140 hombres/132 mujeres) de individuos colombianos entre 17 y 25 años, y se determinó el error intra-examinador considerando la prueba F-ANOVA como estadístico de prueba. Se hizo Análisis Generalizado de Procrustes (AGP) y detección de datos atípicos por Cuantil Adaptativo. La variación en tamaño se analizó con prueba Kruskal-Wallis, considerando la matriz de Tamaño Centroide (CS) y las diferencias conformacionales con MANOVA. La identificación de patrones craneofaciales se determinó mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) y Conglomerados/K-medias. **Resultados:** en la estructura CFG se encontraron diferencias conformacionales y una capacidad de buena clasificación del 89% (Clase I), 89% (Clase II) y 91% (Clase III). Se identificaron cuatro patrones craneofaciales; tres evidenciaron relaciones esqueléticas clásicas, y el otro identificó un nuevo grupo combinado de Clase I/II. **Conclusiones:** las diferencias morfológicas en los cuatro patrones identificados fueron evidentes, la MG permitió una visualización explicativa de patrones de variación morfológica, localizando sitios reales en donde ocurren cambios en tamaño y conformación.

Palabras clave: morfometría geométrica, landmark anatómico, análisis de componentes principales, análisis de procrusto, morfología, biometría, análisis discriminante, cefalometría, análisis de conglomerados.

Castro NE, Muñoz JV, López LA, Infante C. Variación de patrones morfológicos craneofaciales en relaciones esqueléticas Clase I, II y III. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2015; 26(2): 292-313.

ABSTRACT. Introduction: the studies on morphological variations of craniofacial components to classify skeletal relationships have traditionally included univariate and multivariate analysis using variables such as distances, angles, and reference planes. However, these methods fail to explain general changes in shape and provide partial localized descriptions of these relationships. Whereas methods using two- or three-dimensional (2D or 3D) Geometric Morphometrics (GM) allow a detailed understanding and a more sensitive test of variables. The objective of this study was to identify morphological pattern variations of the Overall Craniofacial Structure (OCS) in skeletal relationships I, II, and III using GM-2D. **Methods:** this was a prospective study using non-probability sampling. It implied taking 272 lateral radiographs of the head of Colombian individuals (140 males/132 females) aged 17 to 25 years, determining intra-examiner error and using F-ANOVA as statistic test. Generalized Procrustes Analysis (GPA) was conducted as well as atypical data detection by Adaptive Quantile. Size variation was analyzed by the Kruskal-Wallis test considering Centroid Size matrix (CS) and conformational differences were analyzed with MANOVA. Craniofacial patterns were identified by Principal Components Analysis (PCA) and K-means/cluster. **Results:** the OCS showed conformational differences and a good classification capacity of 89% (Class I), 89% (Class II), and 91% (Class III). Four craniofacial patterns were identified; three of them showed typical skeletal relationships and the other pointed out to a new Class I/II combined group. **Conclusions:** the morphological differences in the four identified patterns were evident; GM allowed an explanatory display of morphological variation patterns, identifying actual sites where changes in size and shape take place.

Key words: geometric morphometrics, anatomical landmark, principal component analysis, Procrustes analysis, morphology, biometrics, discriminant analysis, cephalometrics, cluster analysis.

Castro NE, Muñoz JV, López LA, Infante C. Variation of craniofacial morphological patterns in Class I, II, and III skeletal relationships. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2015; 26(2): 292-313.

-
- 1 MSc en Odontología, Facultad de Odontología, Universidad Nacional de Colombia. DMD, Especialista en Ortodoncia.
 - 2 Ph.D Biología. Profesor asociado, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
 - 3 Ph.D Estadística. Profesor titular, Departamento de Estadística, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.
 - 4 DMD. Especialista en Ortodoncia, Especialista en Estadística. Profesora titular, Facultad de Odontología, Universidad Nacional de Colombia.

-
- 1 MSc in Dentistry, Universidad Nacional de Colombia School of Dentistry. DMD, Orthodontics Specialist.
 - 2 PhD in Biology. Associate Professor, Department of Biology, Universidad Nacional de Colombia School of Sciences.
 - 3 PhD in Statistics. Professor, Department of Statistics, Universidad Nacional de Colombia School of Sciences.
 - 4 DMD. Orthodontics Specialist, Statistics Specialist. Professor, Universidad Nacional de Colombia School of Dentistry.

RECIBIDO: AGOSTO 13/2013-ACEPTADO: SEPTIEMBRE 2/2014

SUBMITTED: AUGUST 13/2013-ACCEPTED: SEPTEMBER 2/2014

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del complejo craneofacial es el resultado de la interacción coordinada entre morfogénesis y crecimiento de tres componentes craneales: neurocráneo, cara y aparato masticatorio.¹⁻³ Es relevante e informativa la cantidad de variación debida a los cambios estructurales dentro y, entre estos componentes craneales⁴⁻⁶ con respecto a la regulación del desarrollo normal,⁷⁻⁹ así como sus influencias en la morfología final en presencia de las Clases I, II y III esqueléticas.¹⁰⁻¹²

Así mismo, el patrón craneofacial en estas relaciones esqueléticas es influenciado por la posición de la base craneal,^{1,13} como lo expone Enlow^{14, 16} en su análisis de las contrapartes. Cada uno de estos patrones morfológicos presenta un conjunto típico de características craneofaciales que predisponen hacia el desarrollo de una relación esquelética determinada; así, un patrón dolicocefálico se asocia con una Clase II, mientras que los patrones braquiocefálicos se han relacionado con Clase III.^{13, 14, 17}

Para el estudio de estas relaciones craneofaciales se han utilizado tradicionalmente métodos estadísticos univariados y multivariados de asociación,^{18, 19} mediante variables cefalométricas y medidas lineales y angulares,²⁰⁻²² conocidas en la literatura como Análisis Convencional Cefalométrico (ACC). Sin embargo, este no explica los cambios generales de la forma y proporciona solo una descripción parcial y localizada de esta. El ACC presenta dificultad para la clasificación de individuos con base en subconjuntos de puntos, susceptibles de sesgo en su selección, y con la incorporación de plano de referencia común,^{23, 24} ya que no permite la valoración de la covariación conjunta de todas las variables que identifican las estructuras.²⁵

En los años 60, Enlow¹⁴⁻¹⁶ presentó el *análisis de las contrapartes*, donde consideró el estudio de condiciones morfológicas claves en cada individuo, observando y describiendo la asociación de los componentes anatómicos de las diferentes estructuras, con lo cual identificó patrones craneofaciales.

INTRODUCTION

Development of the craniofacial complex is the result of the coordinated interaction between morphogenesis and growth of three cranial components: neurocranium, face, and masticatory apparatus.¹⁻³ The amount of variation due to structural changes within and among these cranial components⁴⁻⁶ is relevant and informative concerning the regulation of normal development⁷⁻⁹ as well as its influences on final morphology in the presence of skeletal Classes I, II, and III.¹⁰⁻¹²

Similarly, the craniofacial pattern in these skeletal relationships is influenced by the position of the cranial base,^{1,13} as Enlow^{14, 16} explains in his analysis of counterparts. Each of these morphological patterns has a typical set of craniofacial characteristics that predispose to the development of a specific skeletal relationship; thus, dolichocephalic patterns are associated with Class II, while brachiocephalic patterns are associated with Class III.^{13, 14, 17}

The studies on such craniofacial relationships have traditionally used univariate and multivariate statistical methods of association^{18, 19} by means of cephalometric variables and linear and angular measurements,²⁰⁻²² known in the literature as Conventional Cephalometric Analysis (CCA). However, this does not explain general changes in shape and provides only a partial localized description of it. CCA presents some difficulty in classifying individuals based on subgroups of points—whose selection is prone to bias, integrating the common referential plane—,^{23, 24} since it does not allow assessing the combined covariance of all the variables that help identify structures.²⁵

In the 1960s, Enlow^{14, 15, 16} introduced the *analysis of counterparts*, including the study of key morphological conditions in each individual, by observing and describing the association of the anatomical components of the various structures, which led him to identify craniofacial patterns.

En los años 80 se desarrollaron métodos basados en coordenadas y la teoría estadística de la forma, lo que permitió la exploración y visualización del análisis de los datos, apoyadas con pruebas estadísticas exactas sobre la base de procedimientos de remuestreo. Este nuevo enfoque se ha denominado Morfometría Geométrica (MG); el método conserva la geometría de las configuraciones de *landmark*²⁷ durante todo el análisis, lo que permite representar los resultados estadísticos de una forma más cercana a la realidad.

Con la MG, los *landmarks* se transforman en coordenadas en un plano 2D o 3D, conformando matrices que representan configuraciones geométricas de las estructuras en estudio. Esta información se procesa mediante el Análisis Generalizado de Procrustes (AGP),²⁸ el cual proporciona una configuración geométrica de referencia (consenso)²⁷ y las variables que incorporan las desviaciones de cada configuración respecto al consenso: Deformaciones Parciales (Partial Warps-PW) y Deformaciones Relativas (Relative Warps-RW), las cuales no se ven afectadas por los cambios de tamaño, posición y orientación de las configuraciones en el espacio, y contienen toda la información de la conformación para ser utilizadas en los análisis estadísticos multivariados (ACP, análisis de conglomerados y análisis discriminante).²⁹

El objetivo general de este estudio fue identificar la variación de patrones morfológicos en la estructura Craneofacial General (CFG) en Clase I, II y III esqueléticas, utilizando MG 2D. Para ello se desarrollaron tres objetivos específicos: 1). Caracterizar las diferencias en tamaño y conformación de la estructura CFG en Clase I, II y III esquelética 2). Clasificar los individuos dentro de los grupos establecidos para Clase I, II y III, y 3). Describir los patrones de conformación craneofacial en las relaciones esqueléticas identificadas.

MÉTODOS

A partir de un estudio prospectivo de muestreo no probabilístico, se tomaron 272 radiografías laterales de cráneo (140 hombres y 132 mujeres)

The 1980s witnessed the development of coordinate-based methods as well as the statistical theory of shape, which allowed exploring and visualizing data analysis supported on exact statistical tests based on resampling procedures. This new approach is known as Geometric Morphometrics (GM), a method that keeps the geometry of landmark settings²⁷ during the entire analysis, which allows representing statistical results in a way that is closest to reality.

With GM, landmarks are transformed into a 2D or 3D plane, forming matrices that represent geometric configurations of the structures under study. This information is processed by the Generalized Procrustes Analysis (GPA),²⁸ which provides a referential geometric setting (consensus)²⁷ as well as the variables that incorporate deviations from each configuration with respect to the consensus: Partial Warps (PW) and Relative Warps (RW), which are not affected by changes in size, position and orientation of configurations in space, and contain all the information to be used in the multivariate statistical analysis (PCA, cluster analysis, and discriminant analysis).²⁹

The general objective of this study was to identify morphological pattern variation of the Overall Craniofacial Structure (OCS) in skeletal Class I, II, and III, using GM 2D. Three specific objectives were set out for this purpose: 1. Characterize differences in size and OCS conformation in skeletal Class I, II, and III, 2. Classify individuals within the groups established for Class I, II, and III, and 3. Describe the patterns of craniofacial conformation in the identified skeletal relationships.

METHODS

Following a non-probability sampling prospective study, 272 lateral head radiographs were taken to Colombian individuals (140 males and 132 females)

de individuos colombianos entre 17 y 25 años, estudiantes admitidos a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, con necesidad de tratamiento ortodóntico, durante los períodos 2011-II, 2012-I y 2012-II, distribuido por sexo y relación esquelética (tabla 1). Estos individuos tenían buena salud general, dentición permanente completa con o sin terceros molares, y padres y abuelos procedentes de similar zona geográfica. Los individuos fueron excluidos si tenían rehabilitación oral, tratamiento de ortodoncia, ortopedia o cirugía ortognática o estética, severos hábitos parafuncionales y malformaciones congénitas o adquiridas. A cada estudiante seleccionado se le hizo entrega del consentimiento informado y la información del proyecto consignada en una cartilla. Este estudio se acogió a la resolución número 008430 de 1993 de la Ley 84 de 1989 para dar cumplimiento al artículo 8 (Título II, capítulo 1). El Comité de Ética de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Colombia aprobó el estudio.

Las radiografías de perfil se tomaron con un único equipo de rayos X Veraviewepocs de J Morita modelo X550, Tipo EX-1, con posicionador láser de Clase II para la ubicación del paciente. El software de aplicación para el procesamiento de imágenes es el I-Dixel de J. Morita Mfg. Corp. Se incorporó un testigo métrico para obtener imágenes 100% (1:1). Las radiografías fueron obtenidas con una distancia estándar de sujeto a película de 15 cm y de cono a película de 150 cm. El equipo operó a 80 kw, 3mA y 4s por radiografía.

La clasificación de las radiografías se realizó utilizando ACC (se midieron los ángulos SNA, SNB, ANB Maxilo-mandibular, Inciso-maxilar e IMPA),³⁰ y MG considerando 4 *landmarks* (S, N, A y B), apoyados en los software *Metronukak* para el ACC y *Matlab* para MG.³¹ Se utilizó el ángulo ANB cuya medida fue transformada de radianes a grados para poder realizar la clasificación. Así mismo se hizo la resta matemática entre los ángulos SNA y SNB, para establecer el valor positivo o negativo de este ángulo. La información obtenida a través de estos métodos fue distribuida en los tres grupos:

aged 17 to 25 years, who were attending Universidad Nacional de Colombia at Bogotá and required orthodontic treatment, during the periods of 2011-II, 2012-I and 2012-II, distributed by sex and skeletal relationship (table 1). These individuals had good overall health, permanent full dentition with or without third molars, and parents and grandparents from similar geographical areas. Individuals were excluded if they had history of oral rehabilitation, orthodontic treatment, orthopedics or either esthetic or orthognathic surgery, severe parafunctional habits, and acquired or congenital malformations. Each selected patient was provided with an informed consent and a booklet containing information on the project. This study adhered to Resolution No. 008430 of 1993 of Act 84 of 1989 to comply with Article 8 (Title II, Chapter 1). The study was approved by the Ethics Committee of Universidad Nacional de Colombia School of Dentistry.

Profile radiographs were taken with one X550 model, EX-1 type Veraviewepocs x-rays equipment by J Morita, with Class II laser positioner for patient location. The software used for image processing was I-Dixel by Morita Mfg. Corp. A metric witness was included to obtain 100% images (1:1). The radiographs were taken at a standard 15 cm subject distance from film and 150 cm cone from film. The equipment operated at 80 kw, 3mA and 4s per x-ray.

Radiographs were classified by CCA (the following angles were measured: SNA, SNB, ANB maxillo-mandibular, incisor-maxillary, and IMPA)³⁰ and GM, considering 4 landmarks (S, N, A, and B) and using the following software: *Metronukak* for CCA and *Matlab* for GM.³¹ The ANB angle was used, converting its values from radians to degrees for classification purposes. Similarly, mathematical subtraction was made between the SNA and SNB angles in order to establish the positive or negative value of this angle. The information collected through these methods was distributed in three groups:

Clase I ANB (0°), Clase II ($\geq 4^\circ$) y Clase III ($\leq 0^\circ$), (tabla 1). Un total de 47 individuos cambiaron de clasificación (17.21%) entre los dos métodos.

Tabla 1. Distribución de 272 individuos (N) según relaciones esqueléticas, Número de individuos (n) y porcentaje (n/N x 100%)

	Clase I	%	Clase II	%	Clase III	%	Total	%
	n		n		n		N	
Hombres	60	22,05	34	12,5	46	16,9	140	51,4
Mujeres	56	20,05	40	14,7	36	13,2	132	48,6
Total	116	42,6	74	27,2	82	30,1	272	100

Para elegir las variables se determinaron los puntos cefalométricos humanos convencionales de radiografías de perfil, con aplicaciones ortodónticas.^{1, 11, 32} Se hizo un instructivo con la descripción y diagramación de cada *landmark*, para mejorar la precisión en su ubicación durante el procedimiento de la digitalización.³³

Análisis morfogeométrico

Para desarrollar el primer objetivo, la geometría de la estructura CFG se capturó por medio de *landmarks* siguiendo tres pasos: 1) Selección de 14 *landmarks* tipo I, II y III²⁷ obtenidos a través de criterios de homología, consistencia en la posición relativa, cobertura adecuada de la forma y repetibilidad²⁸ (figura 1), la estructura CFG se conformó por variables específicas de Tercio Medio Facial (TMF), Base de Cráneo y Mandíbula; 2) Obtención de la información que describe la conformación: se digitalizaron los 14 *landmarks* por medio del software tpsDig2. A partir de los datos obtenidos, se crearon los archivos .tps para la configuración de *landmark* correspondiente a CFG descrita, por medio del software tpsUtil.³⁴ Se aplicaron los procedimientos estándar de la MG: AGP y *Thin Plate Spline* (TPS), el primer AGP se realizó con el software MOGwin,³⁵ con el cual se obtuvieron las matrices PW y CS en archivos independientes.²⁷ El seguimiento de estos pasos garantiza la repetibilidad del procedimiento.

Class I ANB (0°), Class II ($\geq 4^\circ$) and Class III ($\leq 0^\circ$), (table 1). A number of 47 individuals changed classification (17.21%) between one method and the other.

Table 1. Distribution of 272 individuals (N) according to skeletal relationships, number of individuals (n) and percentage (n/N x 100%)

	Class I	%	Class II	%	Class III	%	Total	%
	n		N		n		N	
Male	60	21.3	34	12.1	47	16.7	141	51.6
Female	56	21.2	40	15.2	36	13.6	132	48.4
Total	116	42.5	74	27.1	83	30.4	272	100

Variables were chosen by determining conventional human cephalometric points of profile radiographs with orthodontic applications.^{1, 11, 32} An instruction booklet was made containing the description and layout of each landmark, in order to improve precision during the digitalization phase.³³

Morphogeometric Analysis

To achieve the first objective, OCS geometry was obtained through landmarks in three steps: 1) selection of 14 Class I, II and III landmarks²⁷ obtained using the following criteria: homology, relative position consistency, proper shape coverage, and repeatability²⁸ (figure 1); OCS was defined using specific variables of Facial Middle Third (FMT), Cranial Base, and Mandible; 2) Collection of information that describes the conformation: 14 landmarks were digitized by the tpsDig2 software. Based on the obtained data, the .tps files were created to configure the landmark corresponding to the described OCS, by means of the tpsUtil software.³⁴ The standard GM procedures were performed, namely GPA and Thin Plate Spline (TPS); the first GPA was done with the MOGwin software,³⁵ which was used to obtain the PW and CS matrices in separate files.²⁷ Completion of these steps ensures the repeatability of the procedure.

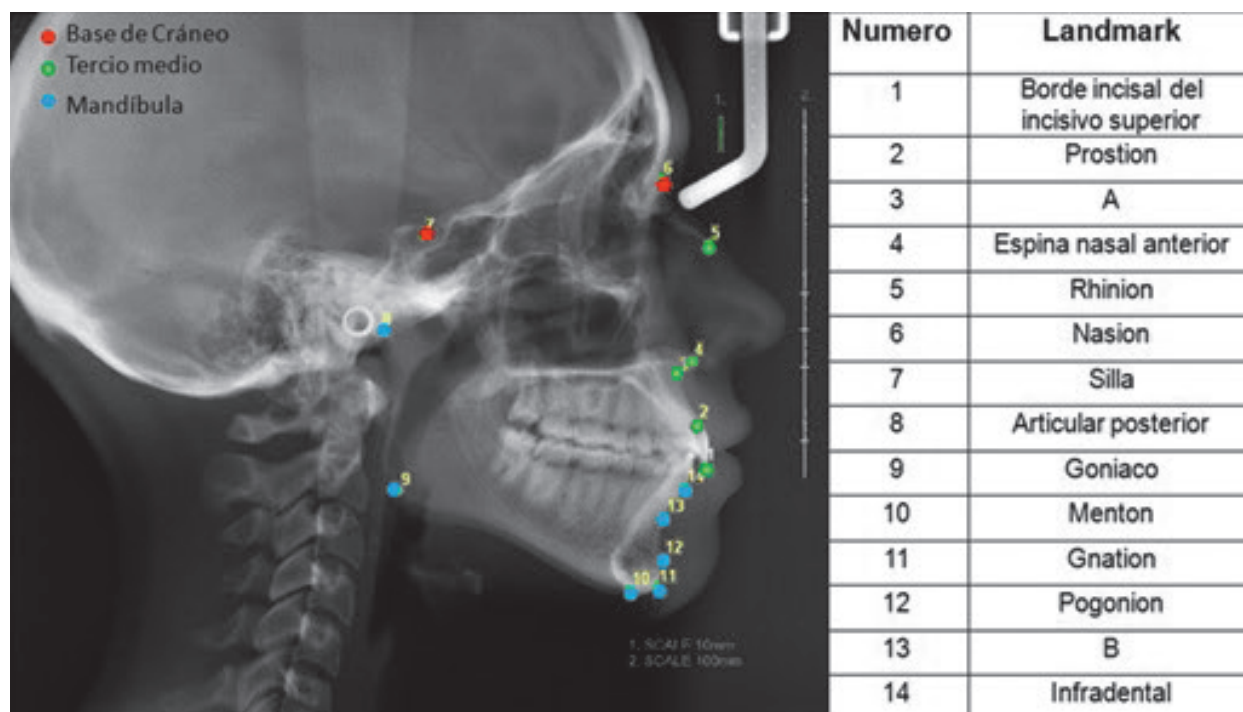


Figura 1. Radiografía lateral con 14 landmarks describiendo la estructura craneofacial general

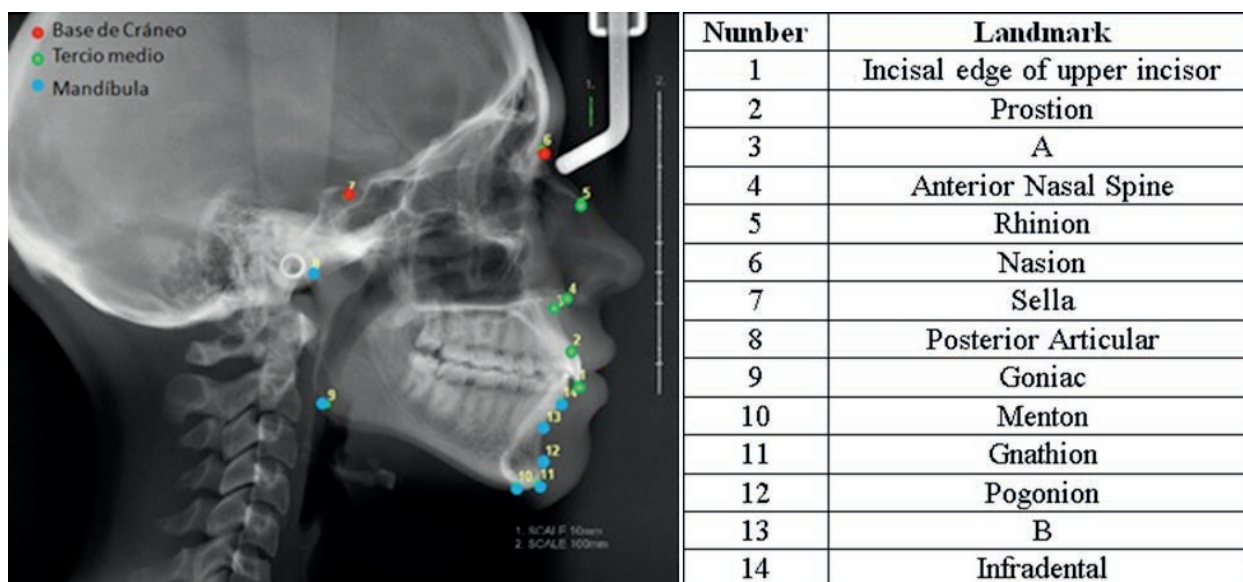


Figure 1. Lateral radiograph with 14 landmarks describing Overall Craniofacial Structure

Para desarrollar el segundo objetivo, se realizó la evaluación morfológica de la estructura CFG de cuatro nuevos individuos clasificados a priori por ACC. Se utilizó MG 2D, clasificando mediante Función Discriminante, basada en Distancias de Mahalanobis (DM). Se evaluó la correspondencia de los cuatro nuevos individuos con los grupos de Clase I, II y III esquelética y se analizó el poder clasificatorio de la estructura CFG para estos grupos.

Para desarrollar el tercer objetivo se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre la matriz de PW de la estructura CFG, se utilizaron los criterios de *Broken Stick* y *Jolliffe Cut-Off*³⁶ como indicativos del número de componentes a utilizar. El diagrama de valores propios orientó la decisión del número de ejes que se utilizaron en la clasificación.³⁷

Se realizó un análisis de conglomerados,³⁸ en el que se utilizó el algoritmo de partición de K-medias. Los grupos obtenidos mediante este análisis fueron validados mediante un análisis discriminante. La visualización y el análisis de los cambios morfológicos al interior de cada grupo, se realizó mediante la función TPS con el software *tpsRelw*,³⁹ lo que permitió la descripción de los patrones de conformación craneofacial en las relaciones esqueléticas identificadas.

Análisis estadístico

Todas las pruebas estadísticas fueron reportadas considerando un nivel de significancia menor al 5%. Para la medición del error intraobservador se utilizaron los 14 *landmarks* craneofaciales en el 12% de las radiografías (n = 32), tomadas aleatoriamente. Un investigador realizó la digitalización repetida de los *landmarks* con una semana de diferencia. Se realizó un análisis de repetibilidad mediante el software *VarWin*^{35, 40} sobre la matriz PW, considerando la prueba F del ANOVA como estadístico de prueba. Las coordenadas con un alto porcentaje de repetibilidad fueron usadas para el análisis como se ilustra en la figura 1. La detección de datos atípicos se realizó sobre las matrices PW, teniendo como criterio de exclusión el perfil del cuantil adaptativo propuesto por

The second objective was achieved by evaluating the morphologic OCS of four new individuals a priori classified by ACC, using GM 2D and classifying by Discriminant Function based on Mahalanobis Distances (MD). The four new individuals' correspondence with Class I, II and III skeletal groups was evaluated, analyzing the classificatory power of OCS in these groups.

To achieve the third objective, Principal Components Analysis (PCA) was conducted on the PW matrix of OCS, using the Broken Stick and Jolliffe Cut-Off criteria³⁶ as indicative of the number of components to use. The diagram of values helped in deciding the number of axes that were used for classification.³⁷

A cluster analysis³⁸ was conducted using the K-means partition algorithm. The groups obtained by this method were validated using discriminant analysis. Visualization and analysis of the morphological changes within each group was done by using the TPS function with the *tpsRelw* software,³⁹ which allowed describing patterns of craniofacial conformation in the identified skeletal relationships.

Statistical analysis

All the statistical tests were reported considering a significance level lower than 5%. To measure intra-observer error, 14 craniofacial landmarks were used in 12% of the radiographs (n = 32), randomly taken. One of the researchers conducted a repeated digitalization of the landmarks with one week in difference. A repeatability analysis was conducted with the *VarWin* software^{35, 40} on the PW matrix, taking ANOVA F as statistic test. Coordinates with a high repeatability percentage were included in the analysis as illustrated in figure 1. The detection of atypical data was conducted on PW matrices, having the adaptive quantile profile proposed by

Filzmoser ($n = 273$).⁴¹ Para el análisis de normalidad y homocedasticidad de la muestra se realizaron las pruebas de Shapiro Wilks Multivariada y Caja de M, respectivamente.⁴²

Análisis de dimorfismo sexual

Para comparar el tamaño de las estructuras se usó la matriz de Tamaño Centroide (CS). La variación del tamaño debida a dimorfismo sexual se evaluó con la prueba t , que comparó la media del CS entre hombres y mujeres para Clase I, II y III esquelética. La variación de la conformación debida a dimorfismo sexual se evaluó con análisis multivariados de verificación de hipótesis, para conocer las posibles separaciones morfológicas entre los grupos con pruebas no paramétricas sobre permutaciones ($n = 1000$), basados en DM.⁴³

Análisis del tamaño y la conformación de CFG en Clases I, II y III

La variación del tamaño entre Clases I, II y III, retirando la variable de sexo, se exploró por medio de Box-Plot. Se evaluó estadísticamente con la prueba de Kruskal-Wallis, utilizando el software PAS.⁴² Para la evaluación de la variación de la conformación se usó el procedimiento de análisis de varianza multivariado-Manova. Se realizaron pruebas no paramétricas sobre permutaciones ($n = 272$) basadas en las DM.^{40, 44, 45} A esta prueba se le aplicó la corrección de Bonferroni ($p < 0,05$). Las DM también permitieron construir una reclasificación, la cual fue realizada mediante Chequeo Cruzado. Este procedimiento se llevó a cabo con el software PAD.⁴⁶

Error del método. El análisis de repetibilidad determinó una variación máxima debido a la digitalización (error intraobservador), inferior al 2,04% en la coordenada X y 3,43% en la coordenada Y del *landmark* 12 (Pogonion), mostrando una precisión del 97,9% en su componente X y un 96,5% en el Y. Por lo anterior, este *landmark* fue tratado como *slider* en el AGP. Para

Filzmoser ($n=273$)⁴¹ as exclusion criterion. Analysis of the sample's normality and homoscedasticity was made by Shapiro Wilks Multivariate test and Box's M test, respectively.⁴²

Sexual dimorphism analysis

The Centroid Size (CS) matrix was used to compare structures size. Size variation due to sexual dimorphism was evaluated with the t-test, comparing average CS between males and females for skeletal Class I, II, and III. The conformation variation due to sexual dimorphism was evaluated with multivariate analysis of hypotheses verification, for possible morphological separations between groups with non-parametric tests on permutations ($n = 1000$), based on MD.⁴³

Analysis of OCS size and conformation in Classes I, II, and III

Size variation among Classes I, II, and III without considering sex as a variable was explored by means of Box-Plot. It was statistically evaluated with the Kruskal-Wallis test, using the PAS software.⁴² To evaluate conformation variation, the Manova multivariate variance analysis was used. Non-parametric tests were made on permutations ($n = 272$) based on the MD's.^{40, 44, 45} This test was applied the Bonferroni correction ($p < 0,05$). The MD's also made it possible to conduct a reclassification, which was done by cross checking. This procedure was carried out with the PAD software.⁴⁶

Method error. The repeatability analysis showed maximum variation due to the digitalization (intra-observer error), lower than 2.04% in the X axis and 3.43% in the Y axis of landmark 12 (Pogonion), showing an accuracy of 97.9% in its X component and 96.5% in its Y component. Therefore, this landmark was treated as a *slider* in the GPA. For

detalles de los resultados obtenidos, ver Castro.³³ Se identificó un dato atípico debido a sus características morfológicas extremas, el cual fue excluido del estudio, los análisis siguientes se realizaron con ($n = 272$).

RESULTADOS

Sobre una muestra de 272 radiografías laterales de cráneo (140 hombres y 132 mujeres) de individuos colombianos entre 17 y 25 años, se muestran resultados acerca del dimorfismo sexual y el tamaño y conformación de CFG en Clase I, II y III. En razón a que los datos no mostraron evidencia de que provenían de una distribución normal ($p < 0,05$), ni homocedástica ($p < 0,01$), se procedió a realizar pruebas no paramétricas.

Dimorfismo sexual

La prueba t mostró que la media del CS de los hombres (1401, 1427 y 1416) fue superior al de las mujeres (1301, 1296 y 1299) en Clase I, II y III respectivamente, siendo evidente el dimorfismo sexual por tamaño (figura 2). En la conformación de la estructura CFG, el dimorfismo sexual fue significativo ($p = 0,0001$, $0,0002$ y $0,0039$) respectivamente para Clase I, II y III, aunque hubo un traslape entre sexos que se visualiza en la figura 3. La clasificación validada mediante el análisis discriminante de individuos de Clase I, fue de 76% en mujeres y hombres, siendo estos los porcentajes más altos de clasificación entre los tres grupos. Para la Clase II fue del 65 y 76% respectivamente para mujeres y hombres y en Clase III 63 y 58%.

details on the results, see Castro.³³ An atypical case was identified due to its extreme morphological characteristics, and it was excluded from the analysis, which was conducted on ($n = 272$).

RESULTS

The sample of 272 lateral head radiographs of Colombian individuals (140 males and 132 females) aged 17 to 25 years yielded the following findings about sexual dimorphism and OCS size and conformation in Class I, II, and III. Since the data did not prove to result from normal ($p < 0,05$) or homoscedastic ($p < 0.01$) distribution, the non-parametric tests were then conducted.

Sexual dimorphism

The t -test showed that the average CS in males (1401, 1427 and 1416) was greater than in females (1301, 1296 and 1299) in Class I, II, and III respectively, and sexual dimorphism by size is evident (figure 2). Concerning OCS conformation, sexual dimorphism was significant ($p = 0.0001$, 0.0002 , and 0.0039) respectively for Class I, II, and III, although there was an overlap between sexes as displayed in figure 3. Classification validated by discriminant analysis of Class I individuals yielded 76% in both females and males—these being the highest classification percentages among the three groups—. In Class II it yielded 65 and 76% for females and males respectively, and in Class III 63 and 58%.

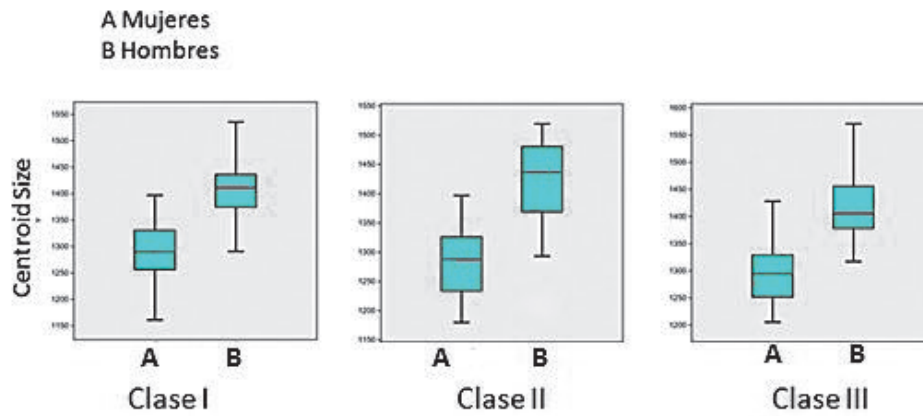


Figura 2. Diagrama de caja de Tamaño Centroide (CS) para ambos sexos, para Clase I, II y III esquelética

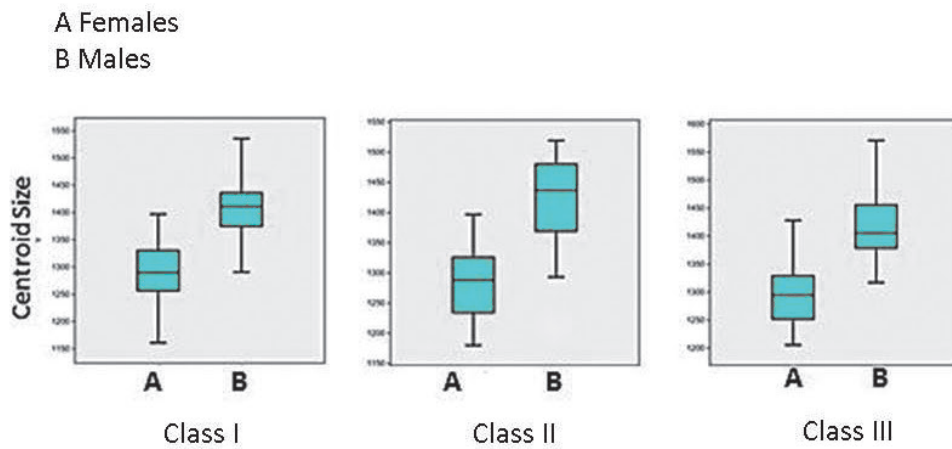


Figure 2. Box plot of centroid size (CS) for both sexes in skeletal Class I, II, and III

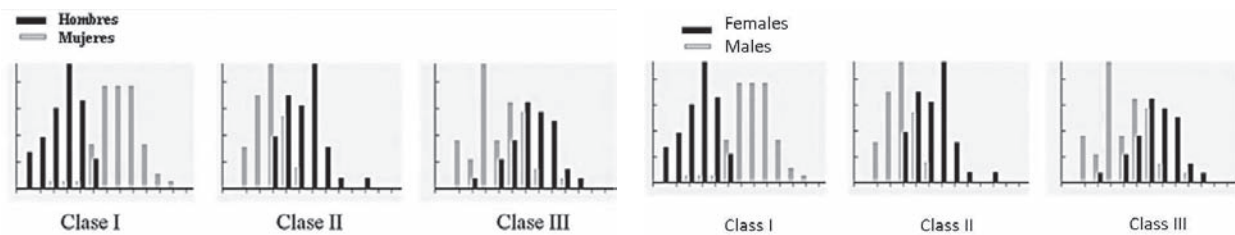


Figura 3. Histograma de frecuencias de la conformación de los individuos agrupados por sexo clase I, II y III

Figure 3. Histogram of frequencies of the conformation of individuals grouped by sex. Classes I, II, and III

Tamaño y conformación de CFG en clases I, II y III

En la comparación de tamaño entre Clase I, II y III esquelética, la prueba de Kruskal-Wallis no reportó diferencias significativas entre el CS de los tres grupos: entre I y II ($p = 0,8806$), I y III ($p = 0,4963$) y II y III ($p = 0,4423$).

Como resultado destacable con respecto a la variación de la conformación entre Clase I, II y III, como se observa en la figura 4, las distancias entre los grupos I-II (2,56) y I-III (3,45) bien pueden ser la mitad de la distancia entre los grupos II-III (5,92). Esto nos permite deducir que los grupos II y III difieren considerablemente en su conformación.

OCS size and conformation in Classes I, II, and III

Regarding size comparison between skeletal Classes I, II, and III, the Kruskal-Wallis test did not yield significant CS differences among the three groups: between I and II ($p = 0.8806$), I and III ($p = 0.4963$), and II and III ($p = 0.4423$).

A remarkable result concerning conformation variation among Classes I, II, and III is shown in figure 4: the distances between groups I-II (2.56) and I-III (3.45) may well be half the distance between groups II-III (5.92). This allows us to deduce that groups II and III are quite different in terms of conformation.

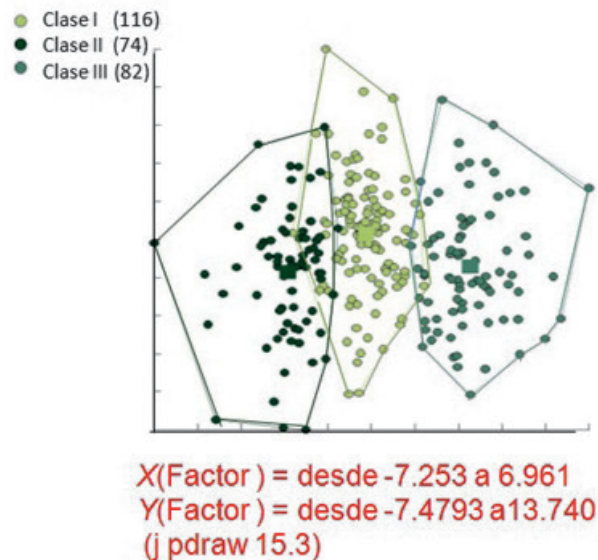


Figura 4. Distribución de los grupos Clase I, II y III por conformación CFG

La asignación de un individuo en uno de los tres grupos previamente definidos, teniendo en cuenta las características conformacionales de la estructura CFG, se realizó utilizando análisis de permutaciones, se reportaron porcentajes de clasificación altos: 93, 95 y 97 % respectivamente para cada grupo,

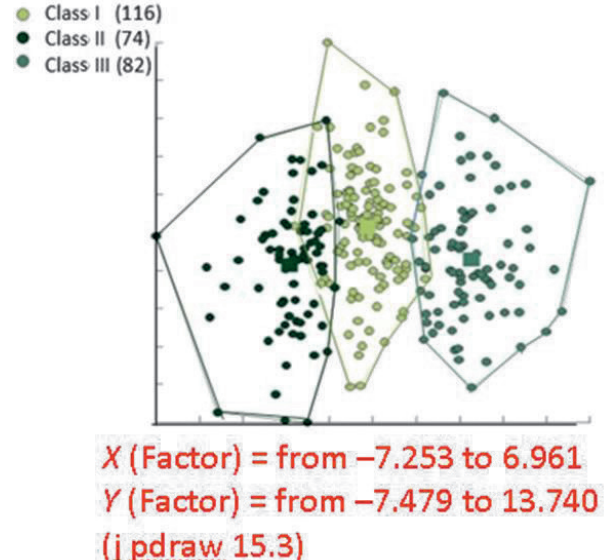


Figure 4. Distribution of Class I, II, and III groups by OCS conformation

Allocating one individual to one of the three previously defined groups, taking into account OCS conformational characteristics, was made by analysis of permutations, obtaining high classification percentages: 93, 95, and 97% respectively for each group

porcentajes corroborados por chequeo cruzado: 89, 89 y 91%. La capacidad de clasificación de nuevos individuos fue 100% eficiente.

Patrones de conformación craneofacial: el análisis de conglomerados por K-medias realizado sobre los 4 componentes principales de las matrices PW, evidenció 4 grupos: el 1, constituido por individuos predominantemente de Clase II y pocos de Clase III; el 2, constituido por individuos de Clase III; el 3 incluye individuos de Clases I y II que fueron tratados como grupos independientes para analizar similitudes y diferencias entre estos dos conglomerados, en tanto que se exploraba por qué los individuos de Clase II se encuentran asociados a este grupo de Clase I; y el 4, compuesto por individuos de Clase I (figura 5).

La función discriminante corroboró la clasificación de los individuos dentro de los grupos preestablecidos, evidenciando una mejor discriminación en los grupos 1 y 2, mientras que en los grupos 3 y 4 se observó traslape con el grupo 1, como se muestra en la figura 6.

El porcentaje de clasificación más elevado lo presentó el grupo 2, clasificando correctamente 63 individuos de 69, con un 91% de exactitud; el porcentaje más bajo se reportó en el grupo 3 (mixto), que solo clasificó correctamente 42 individuos de 72, con una exactitud del 58%. Los resultados de esta clasificación se resumen en la tabla 2.

—confirmed by cross-checking: 89, 89, and 91%—. The capacity of classification of new individuals was 100% efficient.

Patterns of craniofacial conformation: cluster analysis by K-means on the 4 main components of PW matrices yielded 4 groups: 1. Mainly consisting of Class II and a few class III individuals; 2. Consisting of Class III individuals; 3. Includes Class I and II individuals who were treated as independent groups to analyze similarities and differences between these two clusters, while exploring why Class II individuals are associated with this Class I group, and 4. Composed by Class I individuals (figure 5).

The discriminant analysis confirmed the classification of individuals within the previously established groups, demonstrating a better discrimination in groups 1 and 2, while groups 3 and 4 showed overlap with group 1, as shown in figure 6.

The highest classification percentage occurred in group 2, correctly classifying 63 of 69 individuals, with 91% accuracy; the lowest percentage was found in group 3 (mixed), which only classified 42 of 72 individuals correctly, with 58% accuracy. The results of this classification are summarized in table 2.

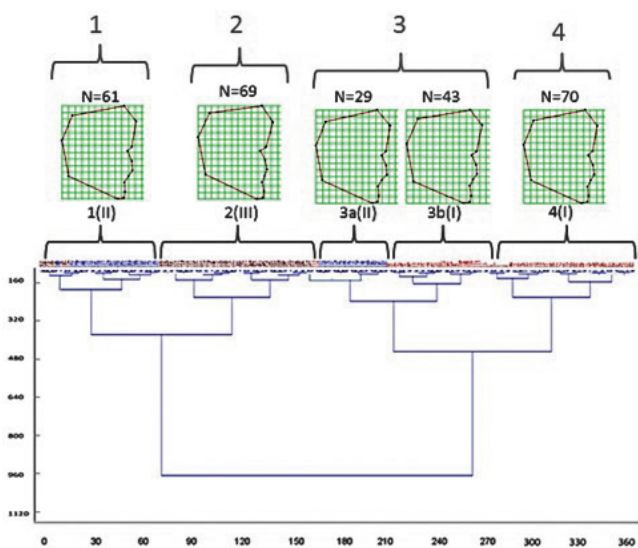


Figura 5. Conglomerado a partir de los valores propios de los 4 primeros componentes principales de la matriz de PW

Figure 5. Cluster from the values of the 4 first main components of PW matrix

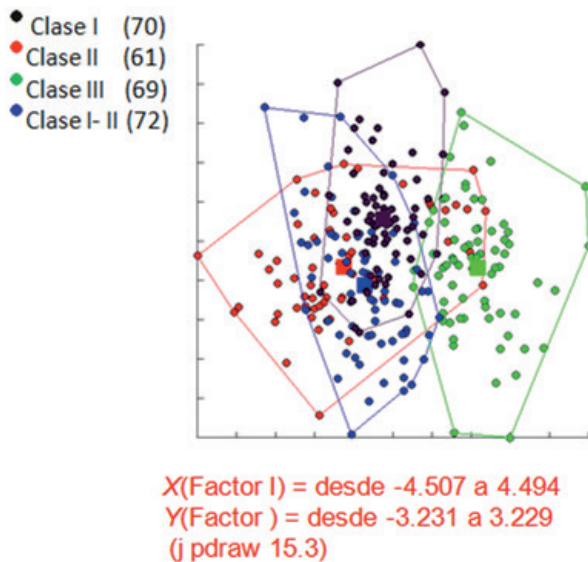


Figura 6. Distribución de los grupos 1: (Clase II), 2: (Clase III), 3a: (Clase II), 3b: (Clase I) y 4: (Clase I) obtenidos a partir del análisis de conglomerados

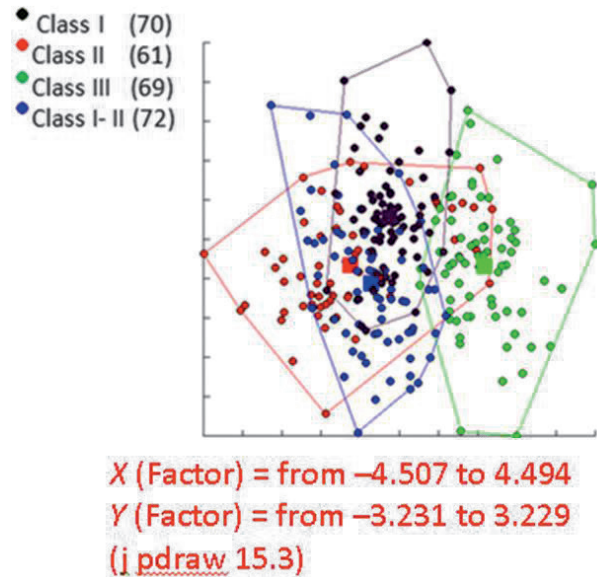


Figure 6. Distribution of groups 1: (Class II), 2: (Class III), 3a: (Class II), 3b: (Class I) and 4: (Class I) obtained from cluster analysis

Tabla 2. Clasificación por permutaciones y chequeo cruzado de los individuos en los grupos obtenidos a partir del análisis de conglomerados

Grupo	N.º de individuos clasificados permutaciones	Clasificación, %	N.º de individuos clasificados Chequeo Cruzado	Clasificación, %
1 (II)	33/61	54	24/61	39
2 (III)	63/69	91	58/69	84
3(I y II)	42/72	58	28/72	38
4(I)	50/70	71	38/70	54

En la exploración gráfica de CFG, la distribución de los consensos de los 4 grupos en el espacio de la forma mostró un continuo en el cual el consenso del grupo 4 se ubica entre los consensos de los grupos 1 y 2 (figura 7). El AGP de los consensos de cada grupo evidenció que el TMF presentó una posición más retrusiva en el grupo 2 (Clase III), mientras que en el grupo 1, (Clase II), mostró una posición más protrusiva.

Las variaciones de la conformación se muestran con la función TPS, este análisis se realizó para cada grupo. El mapa factorial asociado a la rejilla TPS exploró la variación de la conformación dentro del grupo en el espacio

Table 2. Classification by permutations and crosscheck of the individuals in the groups obtained from cluster analysis

Group	# of classified individuals permutations	Classification, %	# of classified individuals Crosscheck	Classification, %
1 (II)	33/61	54	24/61	39
2 (III)	63/69	91	58/69	84
3(I and II)	42/72	58	28/72	38
4 (I)	50/70	71	38/70	54

In the graphical exploration of OCS, the consensus distribution of the 4 groups in the shape field showed a continuum in which the consensus of group 4 is located between the consensus of groups 1 and 2 (figure 7). GPA of each group's consensus of proved that FMT showed a more retrusive position in group 2 (Class III), while group 1 (Class II) showed a more protrusive position.

The variations in conformation are expressed with the TPS function—an analysis that was performed in each group—. The factorial map associated to the TPS grid explored variations in conformation within

de la forma, y también mostró una estimación de la conformación de un individuo en diferentes lugares de este espacio. Para el análisis se eligieron 8 individuos en cada grupo, con el fin de observar patrones morfológicos de la estructura CFG.

each group in the shape field, and it also showed an estimation of the conformation of an individual in different spots of this field. Eight individuals from each group were chosen for this analysis, in order to observe OCS morphological patterns.

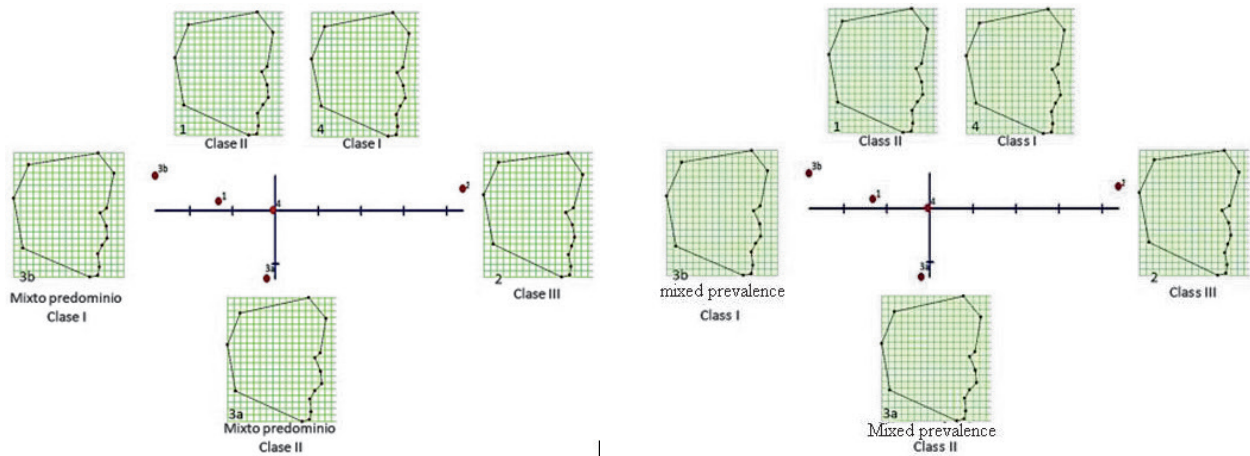


Figura 7. Ubicación de los consensos de los 4 conglomerados en el espacio de la forma

Figure 7. Location of consensus of the 4 clusters in the shape field

En el mapa factorial del grupo 1, (figura 8a), se observó una distribución de los individuos en el espacio de la forma que corrobora gráficamente esta composición: en los cuadrantes izquierdos presentó una alta concentración de individuos con características de Clase II, mientras que en el cuadrante inferior derecho se ubicaron los individuos con conformaciones de Clase III. En la figura 8b, la rejilla mostró una primera variación relacionada con la altura facial anterior, y la segunda variación contrasta la altura facial posterior con prognatismo del TMF.

La correspondencia entre estas variaciones es la siguiente: en cuanto al RW1, el aumento en la altura facial posterior se asocia con la contracción del TMF en el plano sagital, mientras que se observa expansión del TMF a medida que decrece la altura facial posterior (individuos 32 y 47). La variación reflejada por el RW2 ocurre con

Group 1 factorial map (figure 8a) showed a distribution of individuals in the shape field that graphically corroborates this composition: the left quadrants showed a high concentration of individuals with Class II characteristics, while individuals with Class III conformations were located in the lower right quadrant. The grid in figure 8b showed a first variation related to anterior facial height, and the second variation contrasts posterior facial height with FMT prognathism.

The correspondence among these variations is as follows: in RW1, posterior facial height increase is associated with FMT contraction in the sagittal plane, while FMT expansion causes posterior facial height decrease (individuals 32 and 47). The variation shown in RW2 occurs due to

los cambios en la altura facial anterior. Con el aumento de esta altura se observa expansión del TMF, a medida que esta altura disminuye se inicia contracción en el TMF (individuos 44 y 35). Esta correspondencia entre verticalidad y sagitalidad fue común para todos los grupos.

En la exploración morfológica de este grupo se observó también una variación generalizada en la conformación mandibular, con una tendencia compresiva de la rejilla en esta zona.

En el grupo 2, el consenso presentó características bien definidas, el comportamiento del TMF sigue presentando asociación con las alturas anterior y posterior faciales, aunque su proyección es baja, en general, para este grupo, comparada con la observada en el grupo 1.

En el grupo 3a (predominio II), el comportamiento del TMF sigue presentando asociación con las alturas faciales anterior y posterior. Las diferencias con el grupo 1, que agrupa individuos también de Clase II, son las compresiones de las rejillas presentes en el tercio inferior en este grupo. Para 3b (predominio Clase I), la principal diferencia con el grupo 3a son las expansiones de la rejilla presentes en el tercio inferior.

o changes in anterior facial height. As this height increases, FMT expands, and as this height decreases, FMT starts to contract (individuals 44 and 35). This correspondence between verticality and sagittal was common to all groups.

The morphological examination of this group also showed that there was global variation in mandibular conformation, with a compressive tendency of the grid in this area.

In group 2, the consensus showed well-defined characteristics; FMT behavior continues experiencing association with both anterior and posterior facial heights, although its projection is in general low for this group, compared with that in group 1.

In group 3a (Class II predominance), FMT behavior continues experiencing association with anterior and posterior facial heights. The differences with group 1, which comprises Class II individuals also, are the grid compressions in this group's lower third. Concerning 3b (Class I predominance), the main difference with group 3a are the grid expansions in the lower third.

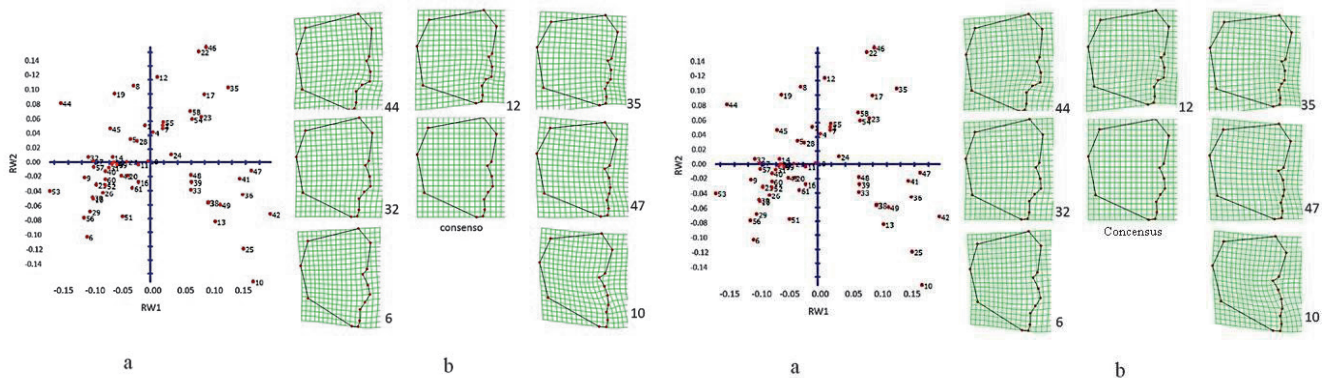


Figura 8. Exploración de la variación de la conformación al interior del clúster 1 (predominio Clase II)

a) Gráfico de dispersión del análisis de componentes principales de las RW, con respecto al consenso para cada RW ($n = 61$). Se observa la variación total de este grupo y la distribución de los individuos de Clase II en el espacio de la forma; b) Rejillas de deformación (TPS) en las que se observan los cambios en la conformación de CFG representados por RW1 y RW2.

Figure 8. Exploration of conformation variation within cluster 1 (Class II prevalence)

a) Scatter plot of the analysis of RW main components in relation to the consensus for each RW ($n = 61$). It shows total variation in this group as well as distribution of Class II individuals in the shape field; b) deformation grids (TPS) showing changes in OCS conformation represented by RW1 and RW2.

DISCUSIÓN

Se utilizó la MG teniendo en cuenta que el ACC depende de planos de referencia y la interpretación de los resultados varía de acuerdo con la orientación de estos.^{23, 25} La MG ofrece la posibilidad de realizar análisis multivariados, mejorando la visualización de los resultados y ofreciendo aspectos adicionales de la morfología que no son capturados por el ACC.²⁸

Con respecto a los sujetos estudiados que cambiaron de grupo durante el proceso de clasificación inicial, éstos mostraron compensaciones dentoalveolares y verticales que, aunque logran ser registradas por ACC, no clasifican de forma determinante. En cuanto a la exploración del dimorfismo sexual realizada sobre la conformación de la región craneofacial general CFG, se observaron diferencias significativas entre el tamaño de hombres y mujeres. Estos hallazgos fueron reportados en estudios anteriores.^{45, 47} Un aspecto relevante descrito en la literatura, es que las variables de forma que mejor discriminan entre sexos son principalmente aquellas relacionadas con la amplitud de la cara y la bóveda craneal,¹³ aspectos que no pueden ser evaluados en esta vista lateral.

Se observó un espectro continuo de patrones craneofaciales que podría ser descrito desde dolicofacial hacia braquifacial, en los que la variación vertical de la cara es el resultado de la interacción de los componentes craneofaciales, de acuerdo a sus ajustes ontogenéticos y a las condiciones funcionales y estructurales que influyen directamente estas variaciones verticales, tanto anteriores como posteriores. Estos resultados son coherentes con los reportados por Enlow^{15, 16, 26} y Bastir.¹¹

La influencia de la altura vertical anterior y posterior en el comportamiento sagital de TMF y mandíbula, así como su relación en la conformación de Clases II y III esquelética identificadas en este estudio, son coherentes con los hallazgos de Enlow²⁶ y Akimoto y colaboradores⁴⁸ (figura 9).

DISCUSSION

GM was used taking into account that CCA depends on referential planes and the interpretation of results varies according to the direction of such planes.^{23, 25} GM offers the possibility of performing multivariate analysis, improving the observation of results and offering additional morphological aspects that are not usually captured by CCA.²⁸

Concerning the subjects who switched groups during the initial classification process, they showed dentoalveolar and vertical compensations that, despite being registered by ACC, do not provide conclusive classification. As for exploration of sexual dimorphism in OCS conformation, there were significant differences in terms of the size of males and females. These findings were reported in previous studies.^{45, 47} An important aspect described in the literature is that the shape variables that best differentiate the sexes are mainly those related to facial width and cranial vault¹³—aspects that cannot be evaluated using lateral views—.

There was a continuous spectrum of craniofacial patterns that could be described as from dolichofacial to brachiofacial, in which vertical facial variation is the result of the interaction of craniofacial components according to ontogenetic settings and functional and structural conditions that directly influence these anterior and posterior vertical variations. These results are consistent with those reported by Enlow^{15, 16, 26} and Bastir.¹¹

The influence of anterior and posterior vertical height on the sagittal behavior of FMT and mandible, as well as their relationships in the conformation of skeletal Classes II and III identified in this study are consistent with the findings by Enlow²⁶ and Akimoto et al⁴⁸ (figure 9).

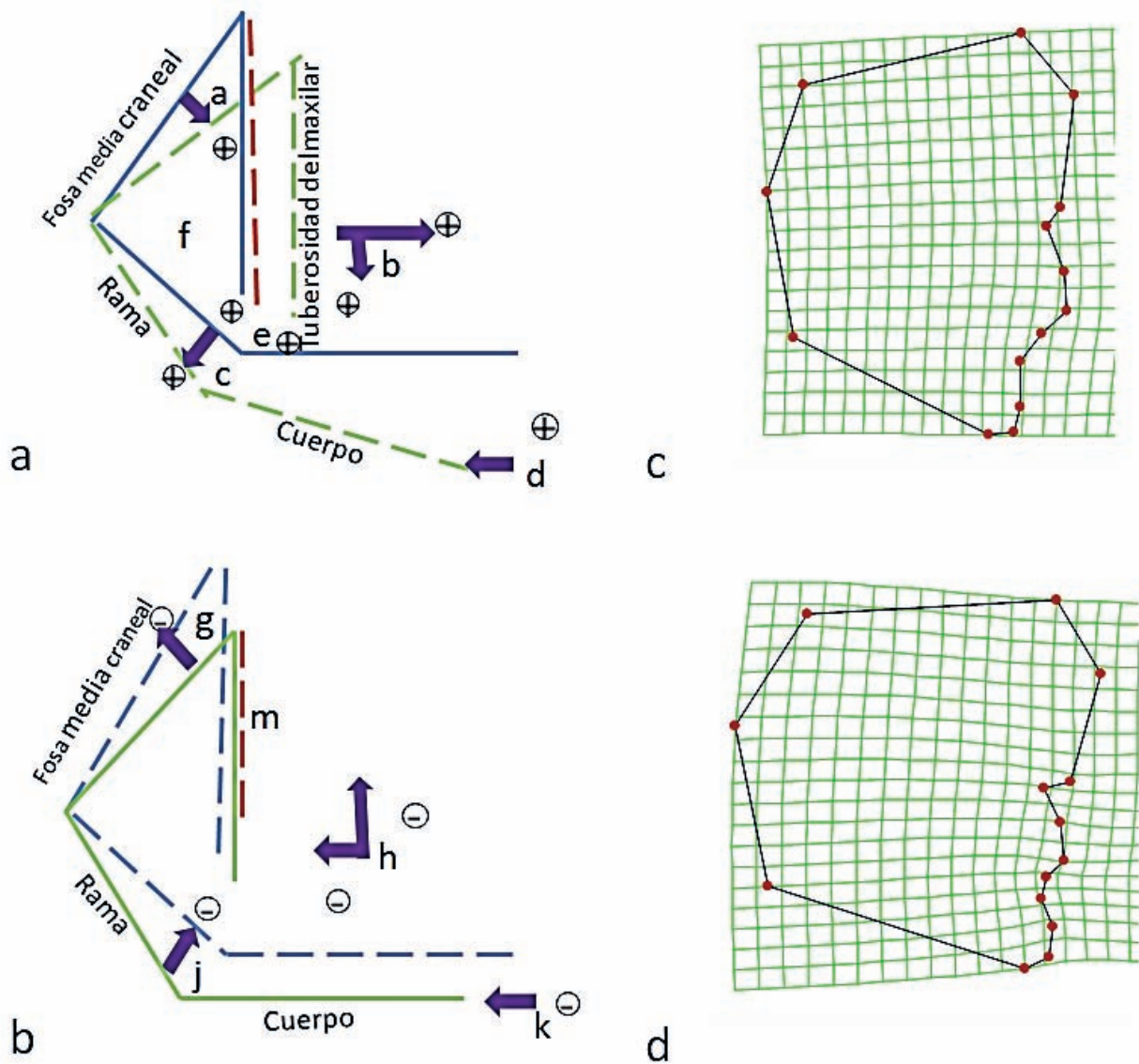


Figura 9. Relación de las alturas verticales anterior y posterior con el comportamiento sagital en la estructura CFG

a y b variaciones craneofaciales Enlow⁴³; c y d variaciones craneofaciales (MG 2D Landmark)

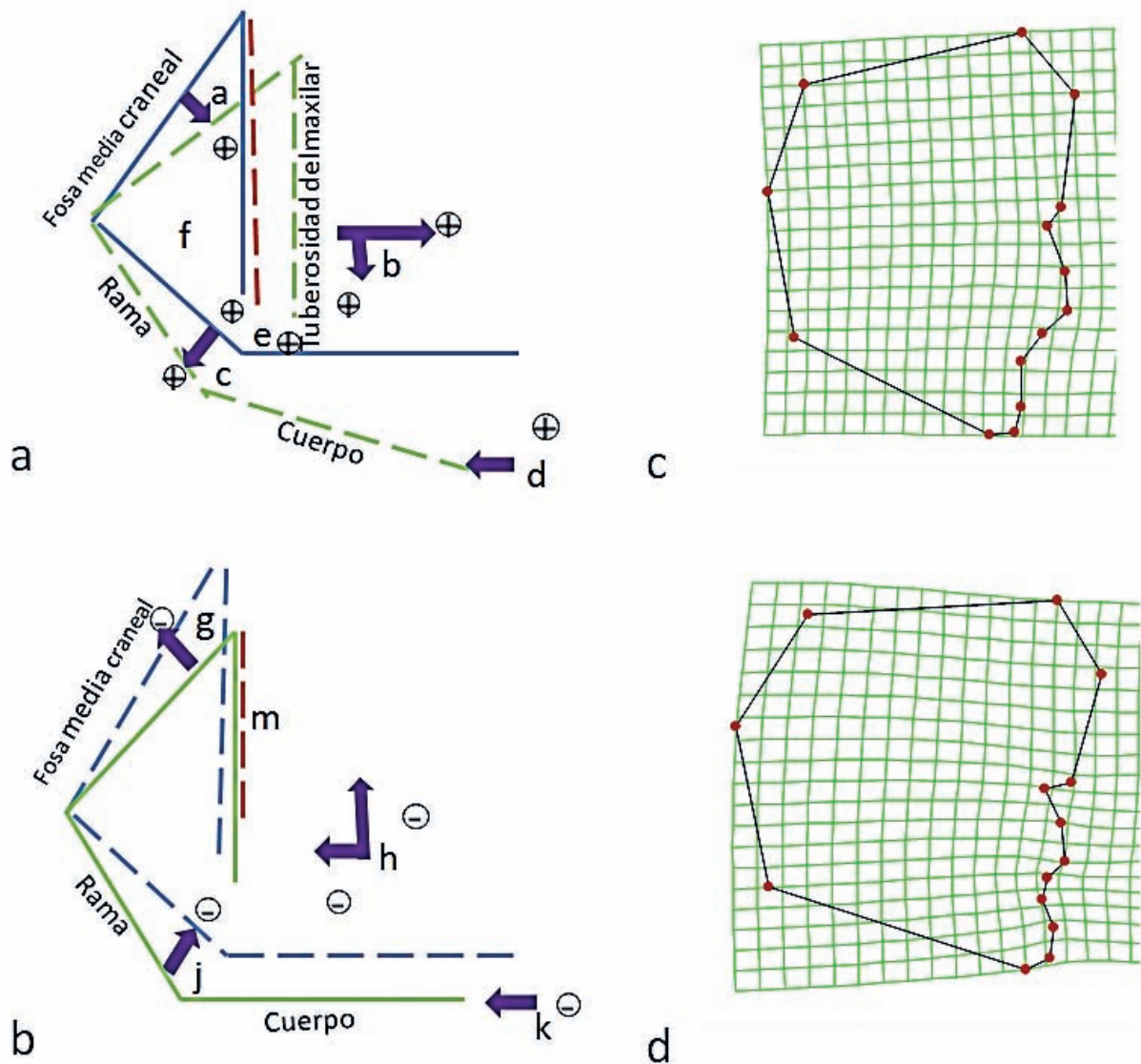


Figure 9. Relationship of anterior and posterior vertical heights with OCS sagittal behavior and structure

a and b craniofacial Enlow43 variations; c and d variaciones craneofaciales (2D Landmark MG)

En la figura 9 se observa el comportamiento sagital con la variación en las alturas verticales en a): La fosa craneal media (a) produce un efecto protrusivo del TMF (b) y una ubicación más baja de éste con respecto al cóndilo, ocasionando una rotación hacia abajo y atrás de la rama mandibular (c), lo que favorece un efecto retrusivo en el cuerpo mandibular (d). Un efecto similar sobre la mandíbula se presenta cuando la altura posterior de complejo nasomaxilar

Figure 9 shows the sagittal behavior with vertical heights variation in a): Middle Cranial Fossa (a) produces a protrusive effect on FMT (b) produces a lower location of it with respect to the condyle, causing a downward rotation of the mandibular ramus (c) this favors a retrusive effect in the mandibular body (d) a similar effect on the mandible occurs when the posterior height of the nasomaxilar

se aumenta (e), y en b): La fosa craneal media más vertical (g) ocasiona una posición más alta y retrusiva del TMF (h), provocando una rotación hacia arriba y adelante de la rama mandibular (j), produciendo un efecto protrusivo en el cuerpo mandibular (k), cuando la altura posterior del TMF disminuye, causa un efecto similar sobre la mandíbula (m)

La función discriminante identificó una superposición entre los grupos de Clase I y II. Resultados similares son reportados por Enlow,²⁶ en los que individuos de Clases I y II comparten características similares, como la inclinación de la fosa craneal media, la altura posterior del maxilar superior, características éstas que constituyen las bases para la composición de patrones de Clase II o tendencias a estos de algunos individuos de Clase I.

Estos aspectos de interacción entre los componentes craneofaciales explorados en el presente estudio, están relacionados, principalmente, con los cambios en la forma y no con su posición relativa, siendo coherentes con resultados reportados por Singh y Harvati.⁴⁹

La identificación de cuatro grupos con características esqueléticas definidas, a partir de los análisis realizados a la conformación CFG, sugiere que, a pesar de que el ACC ofrece información importante sobre la morfología craneofacial, no puede extraer toda la información de la forma.

CONCLUSIONES

- La estructura CFG mostró diferencias conformacionales significativas entre las relaciones esqueléticas I, II y III.
- Se observó una variación continua entre las relaciones esqueléticas I, II y III.
- Se identificaron diferencias conformacionales de cuatro grupos, proponiéndose patrones explicativos. La MG facilita la interpretación de resultados cuantitativos y cualitativos de variaciones conformacionales.

complex increases (e), and in b): the vertical-most Middle Cranial Fossa (g) causes a higher and more retrusive position of the FMT (h) causing an upward and forward rotation of the mandibular ramus (j) producing a protrusive effect on the mandibular body (k), when the FMT posterior height decreases, it causes a similar effect on mandible (m).

The discriminant analysis identified overlapping between Class I and Class II groups. Enlow²⁶ reports similar results, in which Class I and Class II individuals share similar characteristics, such as middle cranial fossa inclination and posterior maxillary height, which are the basis for defining Class II patterns or tendencies to such patterns in Class I individuals.

Interactions among the craniofacial components explored in this study are mainly related with changes in shape rather than with relative position, agreeing with results reported by Singh and Harvati.⁴⁹

The identification of four groups with defined skeletal characteristics, based on the analysis of OSC conformation, suggest that, while CCA offers important information on craniofacial morphology, it cannot extract all information from shape.

CONCLUSIONS

- OCS showed significant conformational differences among skeletal relationships I, II, and III.
- There was continuous variation among skeletal relationships I, II, and III.
- Conformational differences were identified in four groups, suggesting explanatory patterns. GM facilitates the interpretation of quantitative and qualitative results in conformational variations.

- Los grupos de Clase I y II comparten características conformacionales de difícil identificación con ACC. La MG permite un análisis más preciso de éstas.

Aplicación y recomendación del estudio

Este estudio presenta la posibilidad de investigar la conformación de las diferentes regiones craneofaciales en imágenes 2D laterales, presentes en grandes muestras para el estudio morfogeométrico de crecimiento facial; respuesta de crecimiento en niños y adolescentes sometidos a tratamiento de ortodoncia y evaluaciones pre y post-quirúrgica. Se recomienda la metodología propuesta en este artículo para procedimientos de diagnóstico.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

CORRESPONDENCIA

Nancy Esperanza Castro Guevara
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Odontología
Bogotá, Colombia
Teléfono 571-3165000 ext. 11615
Correo electrónico: necastrog@unal.edu.co

- Class I and Class II groups share conformational characteristics that are difficult to identify with CCA. MG allows a more accurate analysis of such characteristics.

Application and recommendation of the study

This study offers the possibility of researching the conformation of the various craniofacial areas in 2D lateral images, usually present in large samples for the morphogeometric study of facial growth, the response of growth in children and adolescents undergoing orthodontic treatment, and pre and post-surgery evaluation. The methodology proposed in this article is recommended in diagnostic procedures.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare not having conflicts of interest.

CORRESPONDING AUTHOR

Nancy Esperanza Castro Guevara
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Odontología
Bogotá, Colombia
Phone: 571-3165000 ext. 11615
Email: necastrog@unal.edu.co

REFERENCIAS / REFERENCES

1. O'Higgins P, Bastir M, Kupczik K. Shaping the human face. *Int Congr* 2006; 1296: 55-73.
2. Bastir M, Rosas A. Hierarchical nature of morphological integration and modularity in the human posterior face. *Am J Phys Anthropol* 2005; 128(1): 26-34.
3. Szabo-Rogers HL, Smithers LE, Yakob W, Liu KJ. New directions in craniofacial morphogenesis. *Dev Biol* 2010; 341(1): 84-94.
4. Bookstein FL. The geometry of craniofacial growth invariants. *Am J Orthod* 1983; 83(3): 221-234.

5. Sardi ML, Ramirez Rozzi FV. A cross-sectional study of human craniofacial growth. *Ann Hum Bio* 2005; 32(3): 390-396.
6. Pucciarelli HM, Ramirez Rozzi FV, Muñe MC, Sardi ML. Variation of functional cranial components in six Anthroidea species. *Zoology (Jena)* 2006; 109(3): 231-243.
7. Todd JT, Mark LS. Issues related to the prediction of craniofacial growth. *Am J Orthod* 1981; 79(1): 63-80.
8. Moss ML, Skalak R, Dasgupta G, Vilmann H. Space, time, and space-time in craniofacial growth. *Am J Orthod* 1980; 77(6): 591-612.
9. Buschang PH, Nass GG, Walker GF. Principal components of craniofacial growth for white Philadelphia males and females between 6 and 22 years of age. *Am J Orthod* 1982; 82(6): 508-512.
10. Korkhaus G. Disturbances in the development of the upper jaw and the middle face. *Am J Orthod* 1957; 43(11): 848-868.
11. Bastir M, Rosas A. Correlated variation between the lateral basicranium and the face: a geometric morphometric study in different human groups. *Arch Oral Biol* 2006; 51(9): 814-824.
12. Guyer EC, Ellis EE 3rd, McNamara JA Jr, Behrents RG. Components of class III malocclusion in juveniles and adolescents. *Angle Orthod* 1986; 56(1): 7-30.
13. Bastir M, Sobral PG, Kuroe K, Rosas A. Human craniofacial sphericity: A simultaneous analysis of frontal and lateral cephalograms of a Japanese population using geometric morphometrics and partial least squares analysis. *Arch Oral Bio* 2008; 53(4): 295-303.
14. Enlow DH, McNamara JA Jr. The neurocranial basis for facial form and pattern. *Angle Orthod* 1973; 43(3): 256-270.
15. Enlow DH, Kuroda T, Lewis AB. The morphological and morphogenetic basis for craniofacial form and pattern. *Angle Orthod* 1971; 41(3): 161-188.
16. Enlow DH, Kuroda T, Lewis AB. Intrinsic craniofacial compensations. *Angle Orthod* 1971; 41(4): 271-285.
17. Bastir M, Rosas A, Stringer C, Cuétara JM, Kruszynski R, Weber GW et al. Effects of brain and facial size on basicranial form in human and primate evolution. *J Hum Evol* 2010; 58(5): 424-431.
18. Allen D, Rebellato J, Sheats R, Ceron AM. Skeletal and dental contributions to posterior crossbites. *Angle Orthod* 2003; 73(5): 515-524.
19. Lavelle CLB. A study of craniofacial form. *Angle Orthod* 1979; 49(1): 65-72.
20. McNamara JA Jr. A method of cephalometric evaluation. *Am J Orthod* 1984; 86(6): 449-469.
21. Ricketts RM, Bench RW, Hilgers JJ, Schulhof R. An overview of computerized cephalometrics. *Am J Orthod* 1972; 61(1): 1-28.
22. Steiner CC. Cephalometrics In clinical practice. *Angle Orthod* 1959; 29(1): 8-29.
23. Moyers RE, Bookstein FL. The inappropriateness of conventional cephalometrics. *Am J Orthod* 1979; 75: 599-617.
24. McIntyre GT, Mossey PA. Size and shape measurement in contemporary cephalometrics. *Eur J Orthod* 2003; 25(3): 231-242.
25. Halazonetis DJ. Morphometrics for cephalometric diagnosis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004; 125(5): 571-581.
26. Enlow DH, Pfister C, Richardson E, Kuroda T. An analysis of Black and Caucasian craniofacial patterns. *Angle Orthod* 1982; 52(4): 279-287.
27. Van der Molen S, González-José R. Introducción a la morfometría geométrica curso teórico-práctico: Barcelona: Universidad de Barcelona, Centro Nacional Patagónico. CENPAT-CONICET; 2007.
28. Toro M, Manriquez G, Suazo G. Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *Int J Morphol* 2010; 28(4): 977-990.
29. Mitteroecker P, Gunz P. Advances in geometric morphometrics. *Evol Biol* 2009 36(2): 235-247.
30. MetroNukak. Registro: 13-14-374. ed. p. Software multiplataforma de asistencia para el análisis radiológico.
31. Rahman T, Valdman J. Fast MATLAB assembly of FEM matrices in 2D and 3D: Nodal elements. *Appl Math Comput* 2013; 219(13): 7151-7158.
32. Cakirer B, Dean D, Palomo JM, Hans MG. Orthognathic surgery outcome analysis: 3-dimensional landmark geometric morphometric. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 2002; 17(2): 116-132.

33. Castro N. Modelo de Identificación de patrones del tercio medio facial en clase I, II y III Esquelética: un análisis morfogeométrico. [Trabajo de grado Magister en Odontología] Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2013.
34. Rohlf FJ. tpsDig, digitize landmarks and outlines. 2.16. Department of ecology and evolution. Stony Brook: State University; 2010.
35. Dujardin J. The MOG software. Version 2, June 1991 ed. Unité de Recherches 062- Unité Mixte de Recherches UMR9926, Institut de Recherches pour le Développement (IRD, France); 2003.
36. Peres-Neto PR, Jackson DA, Somers KM. How many principal components? Stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. *Comput Stat Data Anal* 2005; 49(4): 974-997.
37. Infante C, López L. Uso de técnicas multivariadas para clasificación de estructuras óseas craneanas. Una aplicación en medicina forense [Trabajo de grado Especialización en Estadística]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2003.
38. Ozdemir ST, Ercan I, Ozkaya G, Cankur NS, Erdal YS. Geometric morphometrie study and cluster analysis of late Byzantine and modern human. *Coll Antropol* 2010; 34(2): 493-499.
39. Rohlf J. tpsRelw, 1.39. Department of ecology and evolution. Stony Brook: State University; 2008.
40. Henry A, Thongsripong P, Fonseca-Gonzalez I, Jaramillo-Ocampo N, Dujardin JP. Wing shape of dengue vectors from around the world. *Infect Genet Evo* 2010; 10(2): 207-214.
41. Filzmoser P. Identification of multivariate outliers: a performance study. *Aust J Stat* 2005; 34(2): 127-138.
42. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron* 2001; 4(1): 1-9.
43. Kimmerle EH, Ross A, Slice D. Sexual dimorphism in America: Geometric morphometric analysis of the craniofacial region. *J Forensic Sci* 2008; 53(1): 54-57.
44. Díaz M. Estadística mutivariada: inferencia y métodos. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Estadística, Facultad de Ciencias; 2007.
45. Schaefer K, Mitteroecker P, Gunz P, Bernhard M, Bookstein FL. Craniofacial sexual dimorphism patterns and allometry among extant hominids. *Ann Anat* 2004; 186(5-6): 471-478.
46. Dujardin J. PAD software. Version 2, June 1991 ed. Unité de Recherches 062- Unité Mixte de Recherches UMR9926, Institut de Recherches pour le Développement (IRD, France); 2002.
47. Franklin D, Freedman L, Milne N, Oxnard CE. A geometric morphometric study of sexual dimorphism in the crania of indigenous southern africans. *S Afr J Anim Sci* 2006; 102(5-6): 229-238.
48. Akimoto S, Kubota M, Sato S. Increase in vertical dimension and maxillo-mandibular growth in a longitudinal growth sample. *J Stomat Occ Med* 2010; 3: 15-19.
49. Singh N, Harvati K, Hublin JJ, Klingenberg CP. Morphological evolution through integration: A quantitative study of cranial integration in Homo, Pan, Gorilla and Pongo. *J Hum Evol* 2012; 62(1): 155-164.