

**ANÁLISIS MORFOGEOMÉTRICO 2D DE LAS VARIACIONES MORFOLÓGICAS MANDIBULARES
EN MALOCLUSIONES ESQUELÉTICAS I, II Y III**

Paula Sthepanny Cuenca Campos

Cindy Lorena Vanegas Bernal

**UNIVERSIDAD EL BOSQUE
PROGRAMA DE ORTODONCIA - FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
BOGOTÁ DC.- AGOSTO 2020**

HOJA DE IDENTIFICACION

Universidad	El Bosque
Facultad	Odontología
Programa	Ortodoncia
Título:	Análisis morfogeométrico 2D de las variaciones morfológicas mandibulares en maloclusiones esqueléticas I, II y III.
Línea de investigación:	Morfometría geométrica
Otras instituciones participantes	Clínicas Odontológicas Universidad El Bosque Ms Radiología Dentofacial
Tipo de investigación:	Posgrado/ línea docente
Estudiantes:	Paula Sthepanny Cuenca Campos Cindy Lorena Vanegas Bernal
Director:	Nancy Esperanza Castro Guevara
Asesor metodológico:	Sandra Patricia Castaño Duque
Asesor estadístico	Carlos Fabián Morantes Ariza

TIAN CIAN LEAL	Presidente del Claustro
CAMILO ALBERTO ESCOBAR JIMENEZ	Presidente Consejo Directivo
MARIA CLARA RANGEL G.	Rector(a)
RITA CECILIA PLATA DE SILVA	Vicerrector(a) Académico
FRANCISCO JOSE FALLA CARRASCO	Vicerrector Administrativo
MIGUEL OTERO CADENA	Vicerrectoría de Investigaciones.
CRISTINA MATIZ MEJIA	Secretario General
JUAN CARLOS SANCHEZ PARIS	División Postgrados
MARIA ROSA BUENAHORA	Decana Facultad de Odontología
MARTHA LILILIANA GOMEZ RANGEL	Secretaria Académica
DIANA MARIA ESCOBAR JIMENEZ	Directora Área Bioclínica
ALEJANDRO PERDOMO RUBIO	Director Área comunitaria
FRANCISCO PEREIRA	Coordinador Área Psicosocial
INGRID ISABEL MORA DIAZ	Coordinador de Investigaciones Facultad de Odontología
IVAN ARMANDO SANTACRUZ CHAVES	Coordinador Postgrados Facultad de Odontología
ELIANA MIDORI TANAKA LOZANO	Directora Programa de Ortodoncia.

PILAR LILIANA GARCIA MAYORGA

Coordinadora Programa Ortodoncia

DIRECTIVOS UNIVERSIDAD EL BOSQUE

“La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen

Abstract

	Págs.
1.Introducción	1
2. Marco teórico	3
3. Planteamiento del problema	18
3.1 Descripción del problema	18
3.2 Pregunta de Investigación	19
4. Justificación	20
5. Situación Actual en el área de investigación	22
6. Objetivos	26
6.1 Objetivo general	26
6.2 Objetivos específicos	26
7. Metodología del Proyecto	27
7.1.Tipo de estudio	27
7.2. Población y muestra (Criterios de selección y exclusión)	27
7.3. Métodos y técnicas para la recolección de la información (Materiales y métodos)	28
7.4. Hipótesis de estudio	33
7.5 Plan de tabulación y análisis estadístico	33
8. Consideraciones éticas	36
9. Resultados	38
9.1 repetibilidad	38

9.2 datos atípicos	39
9.3 análisis de tamaño	39
9.4. análisis de la conformación	42
9.5. Mapas de factores de expansión en mandíbula	45
9.6 clasificación de un nuevo individuo	46
9.7 análisis de patrones de conformación	47
9.8 exploración grafica de polígono facial y mandíbula	48
10. Discusión.	53
11. Conclusiones	61
12.Aplicatividad clínica	62
13. Referencias bibliográficas.	63
14. Anexos	69

LISTADO DE TABLAS

		Págs.
Tabla1	Clasificación esquelética según ángulo ANB. Tabla diseñada por Nancy Castro.	29
Tabla 2	Tipos de landmarks usados en la digitalización de polígono facial y mandíbula. Tabla diseñada por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal.	30
Tabla 3	Reporte de repetibilidad de radiografías de perfil. Tabla diseñada por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal	38
Tabla 4	Diferencias de tamaño mujeres. Tabla diseñada por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	41
Tabla 5	Diferencias de tamaño hombres. Tabla diseñada por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	41
Tabla 6	Distancias de Mahalanobis reportadas entre los centroides para cada grupo. Tabla diseñada por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	44
Tabla 7	Porcentaje de clasificación por permutaciones de mandíbula y polígono facial. Tabla diseñada por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	44

LISTA DE FIGURAS

		Págs.
Figura 1	Orientación vertical de la fosa craneal media. figura diseñada por Nancy Castro.	8
Figura 2	Transformaciones de las coordenadas crudas y originales. Figura diseñada por Nancy Castro.	13
Figura 3	Definición del tamaño del centroide. Figura diseñada por Nancy Castro.	15
Figura 4	Polígono facial por configuración de landmarks. figura diseñada por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal.	31
Figura 5	Morfología mandibular por configuración de landmark. figura diseñada por Paula Sthepanny Cuenca.	31
Figura 6	Bagplot polígono facial y mandíbula. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	39
Figura 7	Grafica de cajas y bigotes para las configuraciones de mandíbula y polígono facial en hombres y mujeres. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	40
Figura 8	Análisis de la conformación mandibular y polígono facial. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	42
Figura 9	Análisis de la conformación dividida por malocclusion. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	42
Figura 10	Análisis de variable canónica dividida por género en mandíbula y polígono facial. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	42
Figura 11	Mapas de calor de la conformación de la mandíbula. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	43

Figura 12	Clasificación de un nuevo individuo en el grupo 4. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	45
Figura 13	Cluster por K-medias de la clasificación de los individuos por conformación de polígono facial y mandíbula. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	47
Figura 14	Consensos de las regiones craneofaciales por grupo de maloclusion. Figura de análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.	48
Figura 15	Rotación de la mandíbula en clase II y clase III. Figura diseñada por Paula Sthepanny Cuenca campos.	49
Figura 16	Cluster I de la configuración Polígono facial. . Figura de análisis realizado por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal.	50
Figura 17	Cluster I configuración de mandíbula. Figura de análisis realizado por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal.	51
Figura 18	Consensos de mandíbula por grupos de maloclusion. Figura de análisis realizado por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal.	55
Figura 19	Disposición de la fosa craneal media, respecto a la posición mandibular. Figura diseñada por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal.	59

RESUMEN
ANÁLISIS MORFOGEOMÉTRICO 2D DE LAS VARIACIONES MORFOLÓGICAS
MANDIBULARES EN MALOCCLUSIONES ESQUELÉTICAS I, II Y III

INTRODUCCION El estudio de las variaciones morfológicas craneofaciales es útil en la descripción y clasificación de relaciones esqueléticas. Este considera análisis univariados y multivariados, utilizando variables como distancias, ángulos y planos de referencia. Dichos métodos proporcionan una descripción parcial y localizada de la forma, mientras que los métodos basados en Morfometría Geométrica (MG) en dos o tres dimensiones (2D o 3D) permiten un examen más sensible de las variables y una comprensión detallada de sus asociaciones. La MG constituye una nueva herramienta de análisis de las variaciones de forma y que representa un avance notable en relación con los métodos morfométricos tradicionales. **OBJETIVO:** Caracterizar la morfología mandibular en relaciones esqueléticas I, II, y III utilizando morfometría geométrica 2D. **METODOLOGIA:** A partir de estudio transversal analítico, se tomaron 60 radiografías laterales de cráneo (30 hombres/30 mujeres) con relaciones esqueléticas I, II y III de individuos colombianos entre 17 a 27 años, se obtuvieron coordenadas de 14 landmarks de polígono facial y 13 de mandíbula para describir estas dos estructuras, se determinó el error intra-examinador por medio de ANOVA-II y detección de datos atípicos por distribución en Bagplot bivariado. Se realizó Análisis Generalizado de Procrustes (AGP) sobre landmarks para obtener el Tamaño del Centroide (CS) y los componentes uniforme y no uniforme de la conformación (PW). La variación en el tamaño de las estructuras se evaluó por Kruskal-Wallis aplicado al CS; para evaluar la significancia de las diferencias conformacionales entre las estructuras se realizó análisis multivariado de varianza (Anova de Procrustes). La identificación de la variación de polígono facial y mandíbula se obtuvo mediante Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis de Variables Canónicas (AVC), la descripción y visualización de estas variaciones se llevó a cabo mediante Análisis de Deformaciones Relativas. Se realizó análisis discriminante a partir de las variables canónicas obtenidas. Finalmente se realizó análisis de cluster por K-medias ($k=4$), utilizando las deformaciones parciales de polígono facial y mandíbula. **RESULTADOS:** El error intra-observador fue menor al 28,5% en el punto prostion. En el ACP los componentes 1 y 2 explicaron una varianza del 80%. El AVC mostró separación entre grupos siendo clase II y clase III en polígono facial mujeres los más disimiles. El análisis discriminante mostró una capacidad clasificatoria alta. **CONCLUSIONES:** El estudio de la conformación utilizando MG 2D muestra adecuada sensibilidad para capturar y analizar la variación morfológica en las estructuras estudiadas. La variación conformacional en mandíbula se distribuye a lo largo de diversos componentes que deben evaluarse de manera sinérgica acumulando así mayores y mejores elementos de juicio en decisiones clínicas.

Palabras clave: Morfometría geométrica 2D, landmark, morfología, mandíbula, maloclusión.

ABSTRACT

2D MORPHO-GEOMETRIC ANALYSIS OF MANDIBULAR MORPHOLOGICAL VARIATION IN SKELETAL MALOCCLUSIONS I, II AND III.

INTRODUCTION: The study of cranio-facial morphological variations is useful for describing and classifying skeletal relations. It considers univariate and multivariate analysis using variables such as distances, angles and reference planes. These methods provide a partial and localized description of shape, while the methods based on geometric morphometrics (GM) in two or three dimensions (2D, 3D) allow a more sensible examination of variables and detailed comprehension of associations. The GM constitutes a new analysis tool of form variations representing a notable advance regarding other morphometric methods. **OBJECTIVE:** to characterize the mandibular morphology in I, II, III skeletal relations using 2D geometric morphometry. **METHODOLOGY:** from an analytical cross-sectional study, 60 cranial lateral images (30 males, 30 females) with I, II and III skeletal relations were taken from Colombians aged between 17 and 27 years. It yielded coordinates of 14 facial polygon landmarks and 13 mandibular, for the description of both structures. Intra-examiner error was determined with ANOVA-II and atypical data detection with bi-variate bagplot distribution. A generalized analysis of Procrustes (GPA) on landmarks in order to obtain the centroid size (CS) and the uniform and non-uniform components of conformation (PW). Size variation of structures was evaluated with the Kruskal-Wallis applied to the CS and conformational differences significance between structures with multivariate variance analysis (Anova of Procrustes). Facial polygon and mandible variations identification was obtained with a principal component analysis (PCA) and canonical variable analysis (CVA), description and visualization of these variations was done with a relative deformation analysis. A discriminant analysis from the obtained canonical variables was also carried out. Lastly, a K-medians clustering (k=4) analysis was carried out, using the facial and mandible polygon partial deformations. **RESULTS:** The intra-observer error was less than 28.5% at the prosthion point. On the PCA, components 1 and 2 support and 80% variance. The CVA showed separation between groups, with class II and class III in female facial polygon the most dissimilar. The discriminant analysis showed a high classification capacity. **CONCLUSIONS:** The conformation study using 2D GM showed an adequate sensibility for capturing and analyzing morphological variations of the assessed structures. Conformational variation of the mandible was distributed along several components, which must be evaluated in a synergic manner accumulating more and better elements of judgement for clinical decisions.

Key words: 2D geometric morphometrics, landmark, morphology, mandible, malocclusion

1. Introducción

La morfometría ha presentado una serie de transformaciones en las últimas dos décadas, desarrollando nuevos métodos para abordar las deficiencias en el análisis multivariante tradicional de distancias, ángulos e índices lineales. En un comienzo, la morfología se centró en la descripción de las estructuras y las comparaciones entre grupos o poblaciones y estas estaban basadas en el análisis de las diferencias de sus dimensiones lineales y la forma era considerada una cualidad de la estructura, más no se analizaba cuantitativamente. Tiempo después con el avance de las tecnologías y la estadística, la descripción pasó a la cuantificación y adquirió términos de mayor complejidad, donde no sólo se buscaba comparar parámetros entre grupos de estudio y control, sino que además se intentó buscar relaciones y asociaciones entre éstos, que permitieran explicar las diferencias observadas. (Castro et al, 2015, Freudenthaler et al., 2017, Espinosa et al., 2019).

Estadísticos como Pearson y Fisher a partir de 1930 desarrollaron métodos de análisis como el coeficiente de correlación, análisis de la varianza y análisis de componentes principales; pero fue hasta 1993 que Rohlf y Marcus denominaron a este enfoque “Morfometría Geométrica” o “morfometría multivariada” y comenzaron a utilizar los análisis estadísticos multivariados, análisis de componentes principales, de variables canónicas y función discriminante a grupos de variables cuantitativas, como largo, ancho, alto y ángulos esto con el objetivo de describir patrones de variación morfológicos intra e intergrupales, (Marcus, 1990; Rohlf et al., 1993; Adams et al., 2004).

La Morfometría Geométrica (MG) nace de la aplicación de los conocimientos entregados por la morfometría o biometría tradicional y los métodos de transformación de grillas cartesianas de

Thompson. Esta disciplina permite mediante el análisis de la forma, la comprensión de las diversas causas de la variación y transformación morfológica; así mismo, la aplicación de los diferentes métodos de la MG apoya la descripción de los componentes craneofaciales, así como la detección, diagnóstico temprano y tratamiento de anomalías orales y sistémicas.(Alarcon et al.,2011).

Los métodos cefalométricos convencionales combinan mediciones lineales y angulares o índices derivados de estas mediciones; sin embargo, pueden ser insuficientes para el análisis de los cambios de tamaño y forma de las estructuras anatómicas complejas, como son los componentes craneofaciales (Gkandis et al., 2011). No obstante, estas deficiencias se pueden superar mediante la MG, método que estudia la forma en un espacio bi o tridimensional, basándose en el desplazamiento de un conjunto de puntos morfométricos o landmarks a partir de una conformación promedio; esto, permite la caracterización y cuantificación de la variación morfológica, así como su asociación con otras variables. En MG la forma de un objeto se descompone en tamaño y forma pura (conformación), la conformación es definida como la información geométrica que permanece una vez que los efectos de translación, escalamiento y rotación han sido eliminados del objeto.

En esta investigación teniendo en cuenta las ventajas que ofrece la MG, se pretende identificar diferencias morfológicas mandibulares en maloclusiones Clase I, II y III esquelética, estableciendo patrones que permitan clasificar nuevos individuos a partir del modelo propuesto, mediante el método de Morfometría Geométrica. (Alarcon et al.,2011)

2. Marco teórico

El marco teórico de esta investigación se desarrolla en dos partes; la primera parte revisa los conceptos relacionados con la morfología mandibular, la relación de esta con los demás componentes craneofaciales, específicamente con la mandíbula, y su contribución en la constitución de las maloclusiones esqueléticas clase I, II, III. La segunda parte presenta la teoría del análisis morfogeométrico en dos dimensiones (2D).

- *Desarrollo craneofacial*

El desarrollo craneofacial ha sido tradicionalmente un campo de investigación en el que se expresan muchas opiniones divergentes y se presentan nuevas teorías para explicar las características normales y anormales observadas. Décadas de investigación han demostrado que el desarrollo craneofacial es una serie de complejos eventos que requieren interacciones celulares y moleculares inductivas y directivas para controlar el inicio, movimiento y diferenciación de varias poblaciones de células embrionarias a través de un continuo de tiempo espacial y temporal que da como resultado el correcto crecimiento, patrones e integración de tejidos necesarios para hacer una cara. (Rice et al., 2019, Castro et al., 2013)

El desarrollo Craneal y facial, es la unión de la morfogénesis y el crecimiento de tres componentes craneales provenientes embriológicamente de las Células de Cresta Neural Craneal (CCNC) y tejido mesodérmico paraxial, estos son: el neurocráneo, la cara y el aparato masticatorio. (Maneeshi et al 2018, Szabo et al.,2010, Bookstein et al., 2003)

La suma de las estructuras craneales por separado, considerando que cada una de estas partes es altamente diferenciada, y presenta un crecimiento que ocurre en diferentes rangos y direcciones, hace necesario el análisis de su tamaño y forma para la comprensión de sus relaciones; Igualmente este análisis es importante en la planeación de cirugía reconstructiva, en secuelas por trauma o malformaciones y en tratamiento de discrepancias esqueléticas; Además,

la literatura reporta su utilidad en la identificación forense (Randolph et al., 2009), en ortodoncia específicamente, es útil como coadyuvante en el diagnóstico del patrón de crecimiento y las diferentes anomalías que conllevan a una maloclusión, así, al conocer el origen, se puede planificar el tratamiento y realizar el monitoreo de los cambios durante y postratamiento. (Perinetti, 2019, Nuzzolese et al., 2019, Halazonetis, 2004, Nanda, 2000)

Existe una considerable variación individual en el momento, la duración y la intensidad del crecimiento que ocurre en el complejo craneofacial. Este, comprende una unidad funcionalmente integrada de los componentes craneofaciales que tienen características de crecimiento únicas y estos pueden verse afectados de manera diferencial en varios trastornos del crecimiento. La caracterización precisa de los parámetros que rigen las trayectorias ontogenéticas, como el inicio y el desplazamiento del crecimiento acelerado de la pubertad, así como el momento y la magnitud de las velocidades de crecimiento máximas, en individuos normales conducirán a una mejor comprensión de las alteraciones del crecimiento y los fenotipos resultantes en una variedad de condiciones patológicas. En un contexto más amplio, dicha caracterización permite examinar la heterocronía en la morfología comparada (Alberch et al., 1979). Todas estas interrelaciones pueden entenderse mejor con la observación de diferentes eventos que acompañan la postura vertical que caracteriza al hombre, pues ésta involucra una serie de adaptaciones anatómicas y funcionales sobre todo el cuerpo como resultado de una fuerte presión selectiva. Desde que el hombre adquirió esta postura, la cabeza tomó una posición balanceada sobre la espina dorsal, el cerebro sufrió un aumento de tamaño, causando una flexión de la base del cráneo, las órbitas rotaron hacia la línea media, con una reducción de la distancia intraorbital de la cara y un angostamiento de la nariz; dado que el paladar está en vecindad con el piso nasal, éste sufrió una reducción en sentido horizontal, acompañada de una rotación vertical. Todos estos eventos influyen directamente en la morfología final del tercio medio facial. El conocimiento de los factores que inciden en la variación craneoespinal mejora la comprensión de la variación morfológica, por lo que, tiene gran influencia en la conformación de las relaciones maxilares, oclusales, y funcionales. (Leander et al., 2011, Bastir et al., 2008)

De igual forma, existe una relación entre el crecimiento vertical anterior y posterior de la cara. Dice que cuando hay un desequilibrio entre el crecimiento vertical anterior y posterior hay un desplazamiento de la mandíbula. El crecimiento vertical anterior está representado por crecimiento entre Nasion y ENA (espina nasal anterior), crecimiento vertical del hueso maxilar superior, crecimiento del proceso alveolar superior ; crecimiento del proceso alveolar inferior y el crecimiento vertical posterior está representado por el crecimiento del cóndilo, al que hay que añadirle el descenso de la parte posterior de la fosa mandibular. (Shudy, 1964)

El crecimiento craneofacial surge a partir de tejidos cartilaginosos tales como la Sincondrosis esfeno occipital en la base craneal, el cartílago septal nasal en el complejo nasomaxilar y el cartílago condilar en la mandíbula, estos desempeñan papeles importantes como principales sitios de crecimiento de los componentes anatómicos respectivos. Así mismo, la dirección de crecimiento del cóndilo mandibular específicamente influye en su rotación y contribuye con el biotipo facial del individuo, el cual va a tener determinante influencia en la dirección y comportamiento del crecimiento la cara. (Perinetti, 2018, 2019, Monstasser, 2019, Hutchinson *et al.*, 2014)

- *Morfología Mandibular*

La mandíbula se forma por osificación membranosa a partir del mesénquima del primer arco faríngeo, pero además desarrolla cartílagos secundarios en el cóndilo, en el proceso coronoideo, en el ángulo mandibular y en la sutura intermaxilar (sínfisis). Estos cartílagos difieren en su origen, su estructura histológica y su respuesta a factores hormonales, metabólicos y mecánicos con respecto a los cartílagos primarios, presentes en los huesos largos. (Enlow, 1990. Montenegro, 2007. Martín *et al.*, 2014)

El crecimiento y desarrollo postnatal de la mandíbula está dado por una serie de interacciones que conllevan a que se establezcan patrones normales dentro de este crecimiento, o por el contrario alteraciones que inducen a que se presenten las maloclusiones, es por esto que es importante para el ortodoncista conocer los diferentes mecanismos asociados para poder establecer un adecuado diagnóstico y plan de tratamiento.

El crecimiento mandibular, involucra diferentes procesos como desplazamiento anteroinferior, recolocación de la rama ascendente, crecimiento del cuerpo mandibular en longitud y varios tipos de rotaciones óseas. La remodelación condilar y de la rama son relativos al desplazamiento mandibular, el cual puede ser primario o secundario; el primario es generado por un crecimiento intrínseco del hueso, mientras que el secundario se genera por influencia del crecimiento de las regiones laterales de la base craneal (principalmente la sincondrosis esenooccipital) (Bjork 1955, (Montenegro, 2007)

Otras características morfológicas de la mandíbula como su forma y tamaño son determinantes en la instauración de las maloclusiones; alteraciones en su crecimiento y desarrollo determinan modificaciones en la forma, función y estética del sistema estomatognático. (Ricketts, 1985) Así mismo, las variaciones morfológicas han sido estudiadas mediante análisis univariados y multivariados, y utilizan variables como distancias, ángulos y planos de referencia, que proporcionan una descripción parcial y localizada de la forma. Estos métodos pueden ser insuficiente para el análisis de los cambios de tamaño y forma de estructuras anatómicas complejas como la mandíbula, y en general de los componentes craneofaciales. (Choy ken Woon et al., 2019, Toro et al., 2010)

La mayoría de los análisis cefalométricos convencionales dependen de comparaciones con normas de población que se basan principalmente en planos y ángulos anatómicamente y morfogenéticamente remotos que no están involucrados en la adaptación de los componentes anatómicos que constituyen la cara. (Toro et al., 2010)

Enlow, 1992, indica que las maloclusiones clase I,II,III hacen parte de un grupo de alteraciones ocasionadas por componentes multifactoriales que juegan un papel muy importante durante el crecimiento craneofacial del individuo, y con esto hacen que las estructuras faciales sufran diferentes modificaciones esqueléticas y dentales que hacen que se establezca cierta maloclusión, los efectos de esta, pueden ser leves a severos y depender del carácter y la magnitud de las relaciones regionales y los ajustes compensatorios que se generan durante el crecimiento. En el crecimiento facial se requieren diversas relaciones entre los tejidos duros y blandos que lo conforman en un continuo estado de equilibrio estructural y funcional, sin embargo durante el

proceso evolutivo se pueden presentar diversas modificaciones que pueden generar variaciones en la forma cefálica y dimorfismos sexuales, los cuales pueden generar un cambio en el equilibrio regional que durante el crecimiento tenderán a compensarse. (Enlow, 1992)

Enlow (1982) en su análisis de las contrapartes, describe como varias estructuras anatómicas claves dentro de un individuo se comparan entre sí para determinar las zonas regionales de ajuste. Los límites de las partes están determinados por los perímetros de los diversos campos principales de crecimiento, remodelación y desplazamiento.

La clase I es un patrón craneofacial que puede presentar diversas variables en las relaciones anatómicas que pueden generar cambios principalmente en sentido anteroposterior de los maxilares, la cara y el cráneo, de esta manera este tipo de clasificación puede tender a convertirse en una Clase II o Clase III dependiendo de la variación que se presente en la desviación estándar de una Clase I. (Enlow, 1992)

En la maloclusión clase II, la determinación de la alineación de la fosa craneal media en relación con el maxilar y la mandíbula proporciona una evaluación más sensible de su influencia básica en la construcción facial. Está maloclusión en una mayor frecuencia en tipo craneal dolicocefalo, se encuentra, una inclinación anterior de la fosa craneal media causando una retrusión mandibular, así mismo en el tipo craneal dolicocefalo una frecuencia menor para una inclinación posterior (protrusión mandibular) que la cabeza braquiocefálica(Figura 1A). En los pacientes clase III la fosa craneal anterior tiende a ser más ancha y corta (braquiocefálica); por tanto, esto determina que el paladar y el arco superior sean cortos, pero más anchas, en el arco inferior en pacientes clase III es horizontalmente largo en relación con el arco superior (Figura 1B).

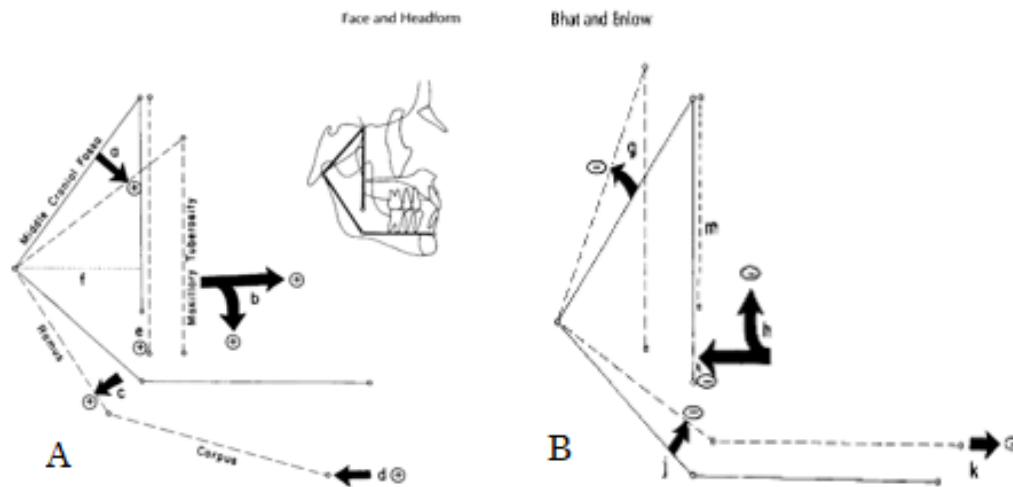


Figura 1. Figura tomada del libro ENLOW, Donald H.; TR SAPIÑA RENARD, SANTIAGO. *Crecimiento maxilofacial*. 1992. Tercera edición, capítulo 7. Orientación vertical de la fosa craneal media. A Pacientes con maloclusión clase II. B. Pacientes con maloclusión clase III.

- *Teoría del análisis morfométrico*

La necesidad de cuantificar las proporciones de las estructuras y el organismo en general se desarrolla desde muy temprano en la humanidad; en un comienzo utilizaban cuadrículas y proporciones estandarizadas para formulación de descripciones de ambos sexos. A partir del siglo XIX Adolph Quetelet, contribuyó con el pensamiento biométrico, promoviendo desde la estadística, la recolección de datos basados en normas, métodos y definiciones; Al inicio del siglo XX, el análisis de las formas biológicas experimenta una transición del campo descriptivo hacia otro más científico y cuantitativo. Desde entonces, la morfometría no solo es cualitativa, sino que, además, incluye variables, que son medidas en valores medios y luego comparadas. Estos estudios aumentaron su eficacia por el desarrollo de métodos estadísticos como el coeficiente de correlación (Pearson, 1895) el análisis de la varianza (Fisher, 1935) y el análisis de componentes principales (Pearson, 1901; Hotelling, 1933).

En 1993, Rohlf y Marcus denominaron a este enfoque “Morfometría Geométrica”, este método propuso un cambio en la forma de cuantificar y analizar las estructuras biológicas con el objetivo de describir patrones de variación morfológicos intra e intergrupales. (Toro *et al.*, 2010)

La gran dificultad de la morfometría clásica está relacionada con el alto grado de correlación que existe entre las medidas de distancias lineales y el tamaño, sesgando por lo tanto los patrones de variación en la forma (Bookstein et al. 1985). Otra de las dificultades es establecer homologías entre distancias lineales, porque muchas distancias como el ancho máximo no se definen por puntos homólogos, por último, en la morfometría clásica usualmente no es posible generar representaciones gráficas de los cambios en la forma porque las relaciones geométricas entre las variables no se conservan después de los análisis estadísticos. (Choy ken Woon et al., 2019, Freudenthaler et al 2017, Vimla S et al.,2010, Toro, 2010)

- *Morfometría Geométrica*

El término "morfometría" proviene de las raíces griegas de "morphe" que significa forma y "metria" que significa medición. En su sentido más amplio, la morfometría es simplemente la cuantificación y comparación del tamaño y la forma de los objetos.

La morfometría Geométrica (MG) es la descripción cuantitativa, análisis e interpretación de la forma de los organismos y su variación (Rohlf, 1990), mediante la combinación de la Biología, la Geometría y la Estadística (Bookstein, 1996). Los objetivos del estudio morfométrico no son las formas en sí, sino más bien sus asociaciones, causas y efectos (Bookstein, 1991). Para ello, se emplea un conjunto de métodos que llevan a cabo la adquisición, procesamiento y análisis de las variables de la forma, conservando siempre, toda la información geométrica contenida. Dichos métodos morfométricos se basan en las coordenadas cartesianas de determinados puntos anatómicos elegidos en función de la región anatómica a investigar, el material de estudio del que se dispone, el equipo para la adquisición de los datos o la propia experiencia del investigador (Choy ken Woon et al., 2019, Vimla S et al.,2010, Toro, 2010Slice, 2005).

Esta técnica ha revolucionado el estudio de estructuras biológicas, ya que se propone estudiar los cambios a partir del desplazamiento en el plano (2D) o en el espacio (3D) de un conjunto de puntos morfométricos o "landmarks" (caracteres de referencia anatómica), los cuales siempre se

conservan a lo largo de todo el análisis, lo que permite “reconstruir” con precisión la forma y el tamaño de la estructura estudiada. Esta técnica tiene dos objetivos principales importantes los cuales son: Primero, cuantificar la estructura morfológica de los organismos; segundo, presentar y explicar los resultados de estos análisis. (Freudenthaler et al 2017, Toro, 2010, Zelditch *et al.*, 2004)

Algunas de las ventajas de la aplicación de este método en comparación con aquellos obtenidos mediante morfometría tradicional; son la posibilidad de describir cómo se modifica la forma de una estructura durante las distintas etapas de la vida, dónde se localizan estos cambios dentro de esta área y cuáles son esos cambios, ya que pueden ser visualizados. (Franchi *et al.*, 2001; Bastir *et al.*, 2006; Cobb & O’Higgins, 2007).

Finalmente, los análisis estadísticos multivariados permiten comparar cuantitativamente las diferencias entre los grupos y determinar el nivel de significancia de estas diferencias entre los grupos (Zelditch et al., 2004 ; Tabatabaei Yazdi & Alhajeri, 2018).

- *Landmarks*

Los landmarks o puntos de referencias, corresponden a la posición de un rasgo en particular en un objeto específico; no son dimensiones lineales, sino caracteres basados en coordenadas, de los cuales se puede deducir la forma de los organismos y luego estudiarla y compararla por medio de los métodos apropiados para describir y analizar las diferencias. Además, estos puntos, conforman datos primordiales en el estudio, entregando una matriz de coordenadas en un plano cartesiano que localizan en el plano (x, y) o en el espacio (x, y, z) con respecto a un sistema de ejes, en donde se define una configuración determinada propia de cada individuo. (Choy Ker Woon et al., 2019)

Estos puntos de referencia se clasifican, en 3 tipos según su localización y forma de ser contruidos, han sido descritos por varios autores como Bookstein(1991), Dryen y Mardia (1998),

Lele y Richstmeier (2001), donde la selección de estos indicadores es dependiente principalmente de tres aspectos tales como el conocimiento del investigador, la muestra disponible y el planteamiento del estudio. (Torcida y Perez, 2012)

El conocimiento del investigador, la muestra y el problema de interés son factores decisivos en la selección de los *landmarks*, los cuales deben ser idealmente tipo I, ya que así se reducen las fuentes de variación y se facilita la discusión e interpretación de los resultados en un marco biológico. Así mismo, no deben alterar la posición topológica relativa de otros *landmarks* y deben cumplir con criterios de repetibilidad. Estos puntos de referencias idealmente deben encontrarse equidistantes o bien aumentar su densidad en aquellas zonas donde la curvatura del contorno sufra cambios más bruscos, cuidando de no sobrecargar de coordenadas el contorno a fin de no generar información redundante (Rohlf, 1990).

- *Tipos de Landmark descritos por Bookstein:*
 - Landmark Tipo I de Bookstein: corresponden a los Landmark Homólogos "", 1991, "Tradicionales" de Richstmeier, 2001 o "Anatómicos" de Dryden, 1998. Son puntos matemáticos cuya homología de un individuo a otro está respaldada biológicamente. Estos Landmark tienen un significado estructural, funcional, evolutivo, filogénico y de desarrollo ontogénico. Tienen además los mayores índices de precisión en todos los ejes de coordenadas comparados con los otros dos tipos de landmarks. (Bookstein, 2003)
 - Landmarks tipo II de Bookstein o Landmark Operacionales: son puntos matemáticos cuya supuesta homología es de tipo posicional, no necesariamente de tipo biológico, son definidos por una estructura biológica en una región determinada, ocupando un área que es mayor a dicho punto, lo que dificulta su ubicación precisa debido a los cambios que pueden ocurrir en algunos de los ejes de coordenadas. (Bookstein, 1989)

- Landmarks tipo III o Pseudolandmark: Corresponden a los “Construidos” (Richstmeier, 2001). Se localizan sobre superficies amplias o en el extremo de una estructura, por lo que puede presentar un intervalo marcado de variación en todos los ejes.

A fin de evitar un efecto significativo del error del observador e Inter observador, es importante para las pruebas de repetibilidad, describir los landmark para que sea fácil la localización y que esté lo más claramente definido. Si sólo un punto o un subconjunto de puntos cercanos del mapa de homologías tiene un problema relacionado con su repetibilidad los resultados finales estarán afectados por error sesgado, lo cual dificulta el análisis de los resultados en un marco biológico. Así se entiende la importancia de estimar el efecto del error del observador en Morfometría Geométrica. El criterio de repetibilidad se relaciona con el de homología, pero no necesariamente se dan juntos.

- *Conceptos de forma y tamaño*

La Morfometría Geométrica, por definición, comprende el estudio cuantitativo de la forma, que, al extraer el tamaño, nos da la conformación; esta última es la información geométrica que permanece una vez eliminados del objeto los efectos de traslación, rotación y escala. (Figura2)

El término "forma" se utiliza para describir las propiedades geométricas generales de la morfología. Sin embargo, la forma en realidad se compone de dos distintos elementos geométricos: en inglés, form es igual a size + shape, y forma es simplemente shape), es importante resaltar que no existe una traducción exacta para la palabra shape en español por lo que será utilizado el término *conformación*. (Choy Ker Woon et al.,2019)

En cuanto a la definición de tamaño, Kendall en 1984, menciona la escala como uno de los efectos que debe ser removido para extraer diferencias en la forma entre dos configuraciones. La

implicación de esta afirmación es que la escala proporciona una definición de tamaño que es independiente de la definición de forma. (Choy Ker Woon et al.,2019, Zelditch 2004)

- *Estudio de las conformaciones:*

Cada una de las configuraciones de Landmarks están formadas por K cantidades de Landmarks, cada uno de las cuales tiene a su vez M coordenadas. De este modo cada matriz de configuraciones de coordenadas Cartesianas esta formadas por K filas y M columnas. Por lo tanto, el espacio de las configuraciones contiene, todas las formas posibles que comparten la misma matriz KM. (Choy Ker Woon et al.,2019, Zeldicht et al., 2004)

Las diferentes conformaciones que se analizan, se les aplica un análisis generalizado de Procrustes que es el análisis principal de la MG, mediante el cual se transforman las coordenadas de Landmarks; esta serie de procedimientos tiene como fin la obtención de conformaciones promedio (*Consenso*), tal como se muestra en la figura 2.

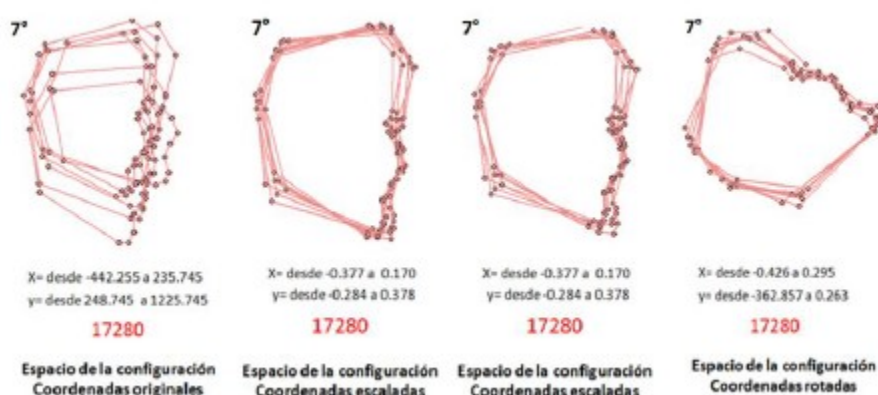


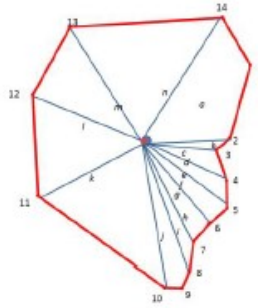
Figura 2, Transformaciones de las coordenadas crudas u originales. (Castro N.2013)

El primer espacio morfométrico es el de las configuraciones: este espacio presenta las coordenadas originales ubicadas en el plano de digitalización. Éste es un espacio de dimensiones, dado que la ubicación de cada *landmark* es descrita por coordenadas. En este espacio, se llevan

a cabo dos transformaciones: traslación y escala (Figura 2). Durante la traslación, los centroides de las configuraciones son llevados a un punto común. Cada configuración de *landmarks* tiene un centro geométrico o “centroide”, que es el punto que describe su posición en este espacio matemático. El tamaño en MG o “tamaño de centroide” corresponde a un concepto geométrico independiente de la conformación de la estructura (Figura 3). Una vez obtenido el tamaño del centroide, las configuraciones son escaladas, llevándolas a un tamaño común.

Así, después de realizar la traslación y escala, se obtiene un segundo espacio, el de la *pre-forma*, de dimensiones. Este espacio tiene menos dimensiones que el espacio de las *configuraciones*, ya que debido al escalado se resta 1 dimensión y en la traslación 2. Sobre este espacio se realiza la última transformación: la rotación que resta 1 dimensión más, generando áreas del espacio pre-Kendelliano en las que se puede rotar una configuración hasta llegar a un punto en que todas las configuraciones se encuentren lo más cerca posible de una forma consenso y, por ende, sus diferencias morfológicas estén libres de los efectos ya mencionados. Mitteroecker,(2009)

Una vez realizadas las transformaciones, se genera un tercer espacio: el espacio de la conformación o “espacio de Kendall”. Éste tiene menos dimensiones que el pre-Kendelliano, ya que la rotación en formas planas puede darse sólo sobre un eje; entonces, los cálculos desde el primer espacio, al espacio de la forma, serían para 2D: dimensiones (es decir, por escala, por traslación y por rotación). El número de dimensiones se va a relacionar con el número de variables dependientes, o componentes de la conformación, que son los datos que van a describir las características de cada configuración.



Definición de tamaño de centroide (TC). Región craneofacial general

$$TC = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 \dots \dots d_n^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^n d_j^2}$$

Figura 3. Definición del tamaño de centroide. figura diseñada por Nancy Castro.

- *Visualización de los cambios morfológicos:*

Para visualizar los cambios en la morfología de las conformaciones se utiliza la función de placa delgada TPS (Thin Plate Spline), que corresponde a una función de interpolación que permite representar cambios entre una conformación y otra. (Zelditch et al., 2004 Bookstein 1989)

La aplicación del método de deformación de thin-plate spline (TPS) permite la visualización global de los cambios entre configuraciones de landmarks, mediante una función de interpolación que representa la relación de los desplazamientos de los landmarks entre sí. Esta función fue desarrollada por (Bookstein, 1989, 1991) y estaba dirigida a resolver tanto el problema de integrar la información de las posiciones relativas de cada landmark, como el problema clásico (D'Arcy Thompson, 1942), de expresar las diferencias de forma entre dos especímenes como un mapa global de coordenadas cartesianas (Slice, 2005). La teoría se basa en la metáfora de una placa metálica infinitamente delgada en la que se encuentra localizada la configuración de landmarks. Para deformar dicha lámina y que se asemeje a la forma consenso es necesaria una fuerza que se mide en energía de torsión (del inglés, bending energy); si los landmarks se encuentran alejados, la energía necesaria para curvar la placa

metálica será baja, si los landmarks están muy cerca la energía necesaria será mucho mayor (Marcus et al., 1990. Cuanto más juntos están los puntos mayores es la energía necesaria.

- *Fundamentos de los equipos y software utilizados*

- *Equipo Radiográfico*

Para este estudio, se utilizó la radiografía de perfil la imagen diagnóstica que permite el estudio de las estructuras craneofaciales y su relación con las alteraciones verticales y sagitales, para lo cual se tomaron en un único equipo de rayos X Veraviewepocs de J Morita modelo X550, Tipo EX-1, el cual tiene disponible un aparato cefalométrico que usa la fuente de rayos X panorámica. Para el posicionamiento del paciente, realiza un enfoque automático usando el sensor de luz para la medición de la distancia y un sistema de posicionamiento eléctrico. El software de aplicación para el procesamiento de imágenes o la base de datos es el I-Dixel de J. Morita Mfg. Corp. También fue incorporado un testigo métrico.

- *Consideraciones técnicas para la adquisición de las imágenes 1:1.*

Los parámetros mecánicos utilizados para la obtención de imágenes 1:1 fueron una distancia entre la fuente y la imagen de 1.650 mm y una amplificación de 1.1X.

- *Software*

FACAD: Este software fue utilizado para medir distancias y ángulos en radiografías de perfil con fines clasificatorios. <https://www.facad.com/wp/>

Past (Box M): Prueba de Homocedasticidad, Paquete estadístico Paleontológico versión 2.06 (177);R: versión 2.12.2 15/03/11 (<http://www.statistik.tuwien.ac.at/public/filz/>) "mvoutlier"

(cuantil adaptativo sobre partial warps), “mvnrmtest” (Shapiro multivariado para normalidad sobre residuales partial warps) y “yacca” (análisis de correlación canónica).

Tpsutil: Utilizado para la creación de archivos .tps, este archivo se crea a partir de las imágenes como archivo de texto, y en él se consignan las coordenadas.

TpsDig2: Se usó para la digitalización de los 14 landmarks en el análisis de las estructuras craneofaciales y 13 landmark en morfología mandibular.

PADWin: Programa elaborados por Jean Pierre Dujardin, (IRD. Montpellier, Francia) de libre distribución en internet <http://www.mpl.ird.fr/morphometrics/>. Utilizado para realizar los análisis discriminantes.

TPSRelw se utilizó para realizar un GPA y explorar gráficamente las variaciones conformacionales a través de la muestra.

3. Planteamiento del problema

3.1. Descripción del problema

La cuantificación y análisis de la conformación, tamaño y posición de los componentes craneofaciales, es fundamental en la comprensión de las relaciones funcionales de estas estructuras. La MG es aplicada en diferentes campos de la medicina, odontología y ciencias forenses, para guiar procesos diagnósticos, reconstructivos o de identificación. Este análisis es útil para conocer la morfología del complejo maxilomandibular de un individuo, con el fin de determinar el tratamiento más adecuado para lograr balance facial, el conocimiento del comportamiento de la mandíbula en presencia de maloclusiones esqueléticas de Clase I, II, III mejora la proyección del tratamiento temprano. Las maloclusiones, especialmente las Clase II y III, se asocian con anomalías de crecimiento craneofacial y presentan prevalencias importantes en la población colombiana.

El estudio de los componentes craneofaciales se ha realizado tradicionalmente a través de modelos de regresión univariados y multivariados, utilizando variables cefalométricas o antropométricas que en general pretenden determinar la velocidad, cantidad y dirección del crecimiento. (Nanda, 1955). Estos métodos utilizan medidas lineales y angulares que no se relacionan con los cambios generales de la forma y proporcionan solo una descripción parcial y localizada de ésta, a la vez que incorporan un plano de referencia común que no permite la valoración de la asociación de todas las estructuras. (Alarcón et al., 2011)

La utilización de la Morfometría Geométrica (MG), se ha convertido en una importante herramienta de ayuda en diagnóstico, pronóstico y seguimiento de la condición del individuo. Ésta permite el estudio cuantitativo más cómodo y preciso de las estructuras anatómicas, ya que los diversos paquetes de software desarrollados en la actualidad permiten realizar

mediciones más exactas que disminuyen las pérdidas en la precisión y confiabilidad en la medida.

La MG capta la mayor cantidad de información en un menor número de variables tomadas sobre la estructura anatómica que se va a estudiar, lo cual resulta en un mayor poder estadístico para evaluar visual y analíticamente las variaciones morfológicas. Por lo que, este estudio aborda el problema de la variación morfológicas mandibulares en las maloclusiones esqueléticas de Clases I, II y III; los análisis se orientaron para dar respuesta a las preguntas planteadas acerca de la existencia de estas diferencias conformacionales de la región del tercio inferior facial entre los individuos de las tres maloclusiones, y explorar la posibilidad de discriminar, a partir de la conformación, individuos con maloclusiones Clases I, II y III.

3.2. Pregunta de investigación

¿Se puede clasificar las maloclusiones esqueléticas a partir de la morfología mandibular, mediante el método de morfometría geométrica 2D?

4. Justificación

Para un adecuado diagnóstico y tratamiento de las maloclusiones, interviene el conocimiento profundo de los componentes craneofaciales, tanto óseos como dentales involucrados en el desarrollo de éstas; la clasificación de las maloclusiones se ha determinado a partir de la comparación entre las características dentales, óseas y de tejidos blandos, partiendo de un parámetro de normalidad considerando características dentales, esqueléticas, funcionales y mixtas.

La mayoría de los estudios presentan reportes de cambios dentales, esqueléticos, verticales y anteroposteriores en pacientes en crecimiento, mediante la aplicación de mediciones lineales y angulares, y determinando planos de referencia. Estudios convencionales de las discrepancias esqueléticas han sido realizados a través de modelos de regresión univariados y multivariados, utilizando variables cefalométricas o antropométricas, cuyo objetivo ha sido determinar la velocidad, cantidad y dirección del crecimiento, sin describir los cambios generales de la forma en un área localizada de ésta, dejando de lado la asociación de todas las estructuras. (Freudenthaler et al 2017, Castro, 2013, Alarcón et al., 2011)

La (MG), es un método que permite reconocer variaciones en la forma de los organismos o de sus partes; por ejemplo, se pueden analizar diferencias en la forma por dimorfismo sexual; también permite evaluar cambios en la forma en una estructura determinada. Los análisis estadísticos en MG utilizan las coordenadas Procrustes de la forma, que conservan la geometría del organismo durante todo el análisis estadístico, siendo esto uno de los principales aspectos que la hace diferente de la morfometría tradicional (Klingenberg, 2010). Además de esto la MG en combinación con métodos como el análisis de conglomerados (Cluster) permite definir la estructura de los datos colocando las observaciones más parecidas en grupos con el propósito de identificar esquemas conceptuales útiles que expliquen el agrupamiento de algunos objetos. Permite también la formulación de hipótesis mediante la descripción y exploración de los grupos conformados. Este método es usado en las ciencias forenses cuando se requiere reconstrucción

de estructuras, ya que permite una identificación con menos probabilidad de error que los métodos convencionales.

Por lo que se puede concluir que la Morfometría Geométrica es una herramienta fundamental de investigación para el análisis de las variaciones de forma debido a la naturaleza de los datos y una amplia aplicabilidad en los estudios de las ciencias morfológicas, su aprendizaje no sólo es importante como técnica de análisis, sino que también lo es como parte integral del conocimiento general, fundamental en la formación del estudiante investigador.

5. Situación actual en el área de investigación

El uso de la MG, en el estudio de las variaciones morfológicas del complejo craneofacial, se han llevado a cabo numerosas investigaciones, como lo vemos a continuación:

Franchi et al. (2002) realizaron un estudio en el cual el objetivo era identificar los cambios a largo y corto plazo en las estructuras craneofaciales inducidos por tratamiento con expansión maxilar rápida (EMR) en la conformación de las estructuras maxilares y circunmaxilares, utilizando morfometría geométrica en radiografía postero-anterior y evaluando los efectos producidos por diferentes expansores en el tercio medio facial. El análisis morfométrico reveló cambios significativos en la forma del grupo tratado, un desplazamiento hacia arriba y lateral de las dos mitades del complejo naso-maxilar, así mismo un incremento de tamaño de las cavidades nasales comparadas con su conformación inicial.

Halazonetis (2004) utiliza métodos morfométricos aplicándolos a la ortodoncia; en el estudio participaron 150 individuos y se usó análisis Generalizado de Procrustes, análisis de Componentes Principales y el análisis cefalométrico. En este estudio se reportan ventajas del método de morfometría geométrica con: lograr una descripción exhaustiva de la conformación craneofacial con un menor número de mediciones, las cuales no están relacionadas estadísticamente; mejorar la precisión en la identificación de los *landmark*, permitir la evaluación más fácil del grado de variación con respecto al promedio. En este estudio concluyen que los métodos morfométricos pueden proporcionar un complemento útil para evaluar el patrón esquelético

Alarcón et al., (2010) realizaron un estudio cuyo objetivo fue utilizar morfometría geométrica para evaluar los cambios en la forma de la mandíbula de los niños prognáticos tratados con mentonera, este estudio tuvo dos grupos el primero eran los niños tratados y el segundo eran los niños no tratados como resultados no mostraron diferencias significativas en la forma mandibular antes y después del tratamiento con mentonera, estos hallazgos respaldan que el tratamiento temprano

de mentonera modifica ampliamente la forma mandibular en niños pragmáticos de manera que mejore la maloclusión de Clase III a corto plazo.

Castro N.(2014) realizó un estudio en la Universidad Nacional de Colombia en el cual el objetivo fue identificar la variación de patrones morfológicos de la estructura Craneofacial General(CFG) en relaciones esqueléticas I, II y III, utilizando morfometría geométrica 2D, en este estudio se tomaron 272 radiografías laterales de cráneo (140 hombres/132 mujeres) de individuos colombianos entre 17 y 25 años como resultado determinó que en la estructura craneofacial general se encontraron diferencias conformacionales y una capacidad de buena clasificación en las tres maloclusiones, además se identificaron cuatro patrones craneofaciales; tres evidenciaron relaciones esqueléticas clásicas, y el otro identificó un nuevo grupo combinado de Clase I/II. De este artículo se concluyó que 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.

Bertl et al., (2016) realizaron un estudio cuyo objetivo fue comparar la forma mandibular utilizando morfometría geométrica entre pacientes con agenesia del segundo premolar inferior y un grupo de control sin agenesia, para ello se digitalizaron con 23 puntos de referencia y se superpusieron con un análisis generalizado de Procrustes. Como resultados se observa que las secciones transversales mandibulares fueron más estrechas y más cortas en pacientes con agenesia en comparación con la del grupo control, además el grupo de agenesia presento una fosa submandibular pronunciada. Clínicamente, deben esperarse dimensiones reducidas y mayor variabilidad de la forma mandibular, así como una fosa submandibular pronunciada, estos hallazgos se deben tener en cuenta durante la planificación del tratamiento de pacientes con agenesia .

Josef Freudenthaler (2017), en este estudio evaluaron el papel de la forma craneofacial en la maloclusión mediante la aplicación de morfometría geométrica a un conjunto de puntos de referencia bidireccionales y semiclasificaciones obtenidas de las radiografías laterales de cráneo para ello se asignaron registros de radiografías cefalométricas de 88 caucásicos no tratados y se clasificaron en cuatro grupos según su oclusión: neutroclusión, distroclusión, mesioclusión y

mordida abierta anterior, posteriormente usaron 66 landmarks , que se sometieron a un análisis de Procrustes y análisis de componentes principales , como resultados obtuvieron que la posición y la forma de la mandíbula contribuyeron a las diferencias entre los grupos de distoclusión y mesioclusión, mientras que la forma maxilar mostró una menor variación. La alteración de la forma relacionada con el crecimiento durante la adolescencia fue más pronunciada en el grupo de mesioclusión y menos pronunciada en el grupo de neutroclusión. El grupo de mordida abierta se asoció con una orientación alterada del cuerpo mandibular y el maxilar mostró el patrón maxilomandibular más hiperdivergente, pero no era una entidad esquelética propia. En este estudio se puede concluir que la morfometría geométrica fue una herramienta de investigación poderosa para el diagnóstico de maloclusiones individuales.

Kermani (2019), este estudio tuvo como propósito evaluar la precisión de la estimación de la edad dental por el método de Demirjian y examinar la aplicabilidad del método de Demirjian a los niños y adolescentes iraníes. Para hacerlo, investigaron la relación entre la edad cronológica y dental en un total de 158 niños (81 mujeres y 77 hombres) de Shiraz. Allí, por primera vez, emplearon la morfometría geométrica, para ofrecer una evaluación cuantitativa precisa del método de Demirjian. El coeficiente de correlación entre la edad cronológica y la edad dental mostró una relación significativa entre la edad dental y la edad cronológica. El promedio de la diferencia de edad cronológica entre niñas y niños al momento de alcanzar las mismas etapas de desarrollo dental fue de 0,77 años, lo que significa que las niñas alcanzaron cada etapa del desarrollo dental 9 meses antes que sus pares masculinos. Según los resultados de este estudio, aunque el uso del método de Demirjian para estimar la edad de los niños en la ciudad de Shiraz tiene una precisión aceptable, se recomiendan estudios más precisos para calibrar el método y desarrollar una tabla ajustada para reflejar el desarrollo en la población iraní.

Choy Ker Woon et al., (2019) realizaron un estudio cuyo objetivo fue determinar las diferencias de la forma craneofacial en la maloclusión mediante la aplicación de morfometría geométrica 2D y agrupar una base de datos para cada maloclusión en una población adulta de Malasia: para tal fin usaron radiografías laterales de 381 pacientes (de 18 a 45 años) estas se evaluaron retrospectivamente y se asignaron a tres grupos según su oclusión: clase I, clase II y clase III. El

análisis de morfometría geométrica fue realizado mediante 9 landmarks, en los resultados del análisis de la función discriminante se encontró una precisión del 80% en la clasificación entre las maloclusiones después de la validación cruzada y determinaron diferencias significativas para ANB todos los grupos de maloclusión, en los pacientes clase II presentaron un ángulo ANB más amplio, mientras que la clase III un ángulo ANB más agudo. Así mismo la forma esquelética se asoció claramente con la maloclusión dental y mostró una variación considerable, los autores evidencian la morfometría geométrica como una herramienta de investigación alternativa y se puede utilizar para diagnosticar la clasificación individual para cada maloclusión.

6. Objetivos

6.1. *Objetivo general:*

Caracterizar la morfología mandibular en relaciones esqueléticas I, II, y III sobre imágenes radiográficas de perfil, por medio de morfometría geométrica 2D.

6.2 . *Objetivos específicos:*

- Caracterizar las diferencias en tamaño y conformación de la mandíbula en Clase I, II y III esquelética
- Describir los patrones de conformación mandibular, en las relaciones esqueléticas identificadas.
- Clasificar nuevos individuos dentro de los grupos de conformación establecidos para Clase I, II y III.

7. Metodología del proyecto

7.1 Tipo de estudio

Transversal analítico.

7.2 Población y muestra

La población de estudio consistió en pacientes que asistieron a las clínicas odontológicas de la Universidad El Bosque, para iniciar tratamiento de ortodoncia; 60 individuos, hombres (n=30) y mujeres (n=30), en edades entre 17 a 27 años. Los pacientes fueron clasificados de acuerdo con la maloclusión existente, dividido de la siguiente manera 20 pacientes con maloclusión clase I (10 mujeres, 10 hombres), 20 pacientes con maloclusión clase II (10 mujeres, 10 hombres) y 20 pacientes con maloclusión clase III (10 mujeres, 10 hombres).

- *Criterios de selección:*

- Hombres y mujeres de 17 a 27 años.
- Pacientes con maloclusión clase I, II y III esquelética.
- Pacientes que acepten el consentimiento informado.

- *Criterios de exclusión:*

- Pacientes con tratamiento ortodóntico previo u ortopédico
- Pacientes con tratamiento activo de ortodoncia
- Pacientes con anomalías congénitas
- Pacientes con exodoncias previas
- Presencia de enfermedades sistémicas
- Pacientes con tratamientos de rehabilitación

7.3. Métodos y técnicas para la recolección de la información

- Obtención de datos

Para el estudio fueron utilizadas las radiografías perfil de los sujetos seleccionados, las cuales fueron obtenidas mediante un equipo radiográfico estandarizado, que cumplía todas las normas requeridas por la secretaria de salud, estas fueron tomadas 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, 3mAm y 4s, por radiografía. Las radiografías se tomaron con posición natural de cabeza (PNC) y oclusión habitual, adicionalmente, se utilizó testigo métrico, para obtener imágenes 100% (1:1).

- Medición del error por cefalometría convencional (FACAD)

Con el fin de determinar los errores entre operadores, fueron realizadas las mediciones de 10 trazos cefalométricos, utilizando diferentes medidas cefalométricas (ángulo Goniaco, S-Ar, SNA, SNB, ANB, Interincisal, SN-OCL, SN-GoGn, sup-PP, inf- GoGn, Max-Mand) por parte de cada examinador (Examinador 1 y Examinador 2). El entrenamiento consistió en una medición ciega con codificación aleatoria en 10 radiografías; el procedimiento se repitió 3 veces con intervalos de 1 semana para evaluar la consistencia y el acuerdo intra-evaluador. Adicionalmente las mediciones fueron realizadas por el investigador principal y comparados con las mediciones de cada examinador para evaluación de exactitud; cada una de las evaluaciones para cada medición cefalométrica se realizó utilizando el coeficiente de correlación intraclase (ICC) con un nivel de confianza del 95%. Los resultados sugieren un rendimiento de acuerdo casi perfecto para los examinadores en relación con la evaluación de exactitud y precisión.

- Clasificación de muestra

La muestra fue clasificada mediante el método de cefalometría convencional, utilizando el software FACAD, donde, se utilizó el ángulo ANB, para obtener una muestra balanceada y conseguir un número similar de individuos por grupo de maloclusión, (Tabla 1). La muestra fue distribuida en los tres grupos de maloclusión y su respectivo género.

	Valores límites		
Clasificación	Clase I	Clase II	Clase III
Angulo ANB	0,4°	≥4	≤0

Tabla 1. Clasificación esquelética según ángulo ANB. Tabla diseñada por Nancy Castro.

- Selección de variables

Las variables del estudio fueron landmarks correspondientes a dos estructuras de estudio: la primera polígono facial (PF) la cual permitió la clasificación esquelética de la muestra por MG y la segunda mandíbula (Md) permitió el análisis morfogeométrico e identificación de variaciones de esta estructura en las tres maloclusiones esqueléticas.

Para elegir las variables, se determinaron 13 puntos cefalométricos en mandíbula (figura5) y 14 puntos en polígono facial, (figura4) para una correcta ubicación de los puntos se realizó un instructivo con la descripción y diagramación de cada Landmark para mejorar la precisión en su ubicación durante el procedimiento de la digitalización. (anexo 1)

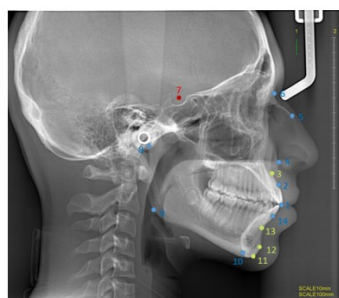
- Obtención de datos

Los datos utilizados para este análisis corresponden a un conjunto de landmarks representativos del polígono facial y la mandíbula, donde, el conjunto de coordenadas corresponde a los datos

primarios que son sometidos a análisis. Para la definición del conjunto de landmarks de cada conformación se tuvieron en cuenta criterios de Homología, consistencia en la posición relativa, cobertura adecuada de la forma, y repetibilidad. En esta investigación se utilizaron landmarks tipo I, II y III, los cuales se muestran en la tabla 2 a continuación.

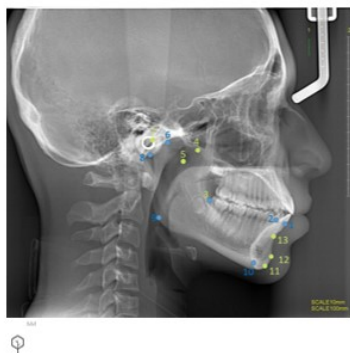
Tipo de Landmark	TIPO I	TIPO II	TIPO III
MANDIBULA	Infradental interno, Infradental externo, POAM, articular anterior, articular posterior.	Condileon, gonion, Gnation , Pogonion, punto B, apófisis coronoides, escotadura mandibular.	
POLIGONO FACIAL	Borde incisal del incisivo superior, prostion, Infradental interno, espina nasal anterior, rhinion, nasion, POAM, articular anterior, articular posterior ,	Condileon, gonion ,Gnation , Pogonion ,punto B, punto A	Silla

Tabla 2: Tipos de Landmarks tipo I,II y III usados en la digitalización del polígono facial y mandíbula. tabla diseñada por Paula Cuenca y Lorena Vanegas.



Numero	Landmark
1	Borde incisal del incisivo superior
2	Prostion
3	A
4	Espina nasal anterior
5	Rhinion
6	Nasion
7	Silla
8	Articular posterior
9	Goniaco
10	Menton
11	Gnation
12	Pogonion
13	B
14	Infradental

Figura 4. Polígono Facial por configuración de landmark mencionados en tabla 2 en radiografía de perfil. Figura con rx perfil de la muestra del estudio ,diseñada por Paula Cuenca y Lorena Vanegas.



Número	Landmark
1	Infradental externo
2	Infradental interno
3	Poam
4	Apófisis coronoides
5	Escotadura mandibular
6	Articular anterior
7	Condileo
8	Articular posterior
9	Gonion
10	Mentón
11	Gnation
12	Pogonion
13	Punto B

Figura 5. Morfología Mandibular por configuración de landmark mencionados en tabla 2 en radiografía de perfil. Figura con rx perfil de la muestra del estudio ,diseñada por Paula Cuenca y Lorena Vanegas.

- Obtención de la información de la conformación:

Una vez definidos los landmarks para las dos estructuras de estudio, estos fueron digitalizados utilizando el software TpsDig2. A partir de los datos obtenidos, se crearon archivos .TPS mediante el software Tps útil para cada configuración de Landmark correspondientes a las 2 estructuras de estudio PF y Md; estos archivos se crearon a partir de las imágenes como archivo de texto y en ellos se consignaron coordenadas con los que posteriormente se identificaron patrones de clasificación de la muestra.

Para la aplicación de los procedimientos estándar de la MG los archivos TPS fueron convertidos a formato NTS. Finalmente fueron visualizadas las variaciones morfológicas de la mandíbula para cada maloclusión, mediante la exploración gráfica de esta región a través de la muestra, se utilizó el software TPSRelw con el cual se hizo el análisis generalizado de Procrustes obteniendo la información del consenso, deformaciones parciales (Partial Warps-PW) y deformaciones relativas (Relative Warps-RW) .

- Visualización de los cambios morfológicos.

En cuanto al análisis y visualización de los cambios morfológicos, una vez realizada la superposición de las configuraciones de landmarks, cada individuo fue representado como un punto en un espacio curvo, no Euclidiano, llamado espacio de la forma o de Kendall. La distancia entre estos puntos en este espacio se denomina distancia de Procrusto, y de acuerdo con esta distancia que los diferentes individuos, (matrices de morfocoordenadas) se ubicaron respecto del consenso, situado en el centro del bivariado en este espacio.

Debido a las propiedades matemáticas que presenta el espacio de Kendall, los análisis estadísticos multivariados convencionales no pueden llevarse a cabo en él, por lo que debe realizarse una aproximación de este espacio de las formas no Euclídeo a un espacio tangente que presente una geometría Euclídea, quedando estas matrices ordenadas en un plano bidimensional. En este nuevo espacio se proyectaron los individuos que se encontraban en el espacio de Kendall. El punto de tangencia se ubicó en la configuración de consenso.

Para visualizar este espacio tangente, se utilizó el algoritmo Thin plate splines, basado en el estudio de la deformación de finas láminas metálicas sobre las deformaciones de las formas biológicas. Para poder realizar lo anterior, se crea y minimiza la energía de torsión necesaria de deformación, que debe generar la lámina para transformarse desde el consenso hasta cada uno de los individuos de la muestra (bending energy matrix); luego de una serie de transformaciones a partir del cálculo de esta matriz, cuyo fin fue dar una base ortogonal para la descripción de las diferencias de la configuración en el espacio tangente (principal warps) y representar las

modificaciones de la forma de cada individuo respecto a la configuración consenso (weight matrix), se realizó un análisis de componentes principales de la distribución de las configuraciones en este espacio tangente (relative warps). De esta forma, fue posible observar la variación de un individuo a otro como un continuo, lo que se conoce en la literatura anglosajona como morphing. Para la exploración gráfica de las variaciones conformacionales de polígono facial y mandíbula, se utilizó el software TPSRelw.

7.4 Hipótesis estadística:

- Ho: No hay diferencias significativas entre los vectores de las medias de cada grupo de maloclusión.
- Ha: Si hay diferencias significativas entre los vectores de las medias de cada grupo de maloclusión.

7.5. Plan de tabulación y análisis estadístico de mg landmarks:

Todas las pruebas estadísticas fueron reportadas considerando un error tipo I α del 5%

-Calibración de error intra e inter examinador

Para la medición del error inter-examinador se utilizó el software Tpsdig2 para digitalizar de los landmarks, se seleccionó el 17 % de la muestra (que correspondía a 10 individuos), los cuales fueron tomados aleatoriamente. Dos investigadoras realizaron la digitalización de estos landmarks dos veces con un intervalo de 8 días entre cada digitalización. Para determinar la medición del error interexaminador se realizó una prueba (ANOVA) de dos vías la cual permitió obtener la proporción entre las mediciones de cada individuo y la varianza total. (Lele S, 1995).

- Análisis del tamaño y la conformación

Para el análisis de distribución de normalidad y homocedasticidad de la muestra se realizaron las pruebas de Shapiro Wilks para las dos estructuras evaluadas PF y Md, esta es una prueba especializada de equivalencia de las matrices de covarianza para dos conjuntos de datos multivariantes.

Para comparar el tamaño de las estructuras entre los grupos de maloclusión, se usó el estimador isométrico tamaño de centroide (CS), derivado de las coordenadas de datos. Se realizó exploración de CS por medio de Box-Plot en las tres maloclusiones. Se evaluó estadísticamente con la prueba de Kruskal-Wallis para los datos que seguían la distribución normal y Anova para los que no seguían la distribución normal.

-Análisis discriminante

Se hizo un análisis discriminante para conocer las posibles diferencias entre los grupos de maloclusión este análisis tiene como objetivos, 1. Separación o discriminación de grupos , es de carácter descriptivo y trata de encontrar diferencias entre los grupos de maloclusión a través de una función discriminante que compara estos grupos con relación a sus centroides estadísticos, utilizando Distancias de Mahalanobis(DM) las cuales permiten conocer que tan alejada esta cada conformación de la media de su grupo, permitiendo construir una nueva clasificación, 2. El segundo objetivo es clasificatorio y corresponde a la asignación de un individuo teniendo en cuenta sus características conformacionales en uno de los tres grupos de maloclusión previamente definidos. La significancia estadística de las DM durante en análisis discriminante Probabilidad ($p < 0.05$) de que un porcentaje de individuos sea clasificado en el grupo en el que se asignó originalmente se hará por medio de pruebas de permutación.

-Diferencias de conformación:

Tras obtener las configuraciones alineadas, escaladas y rotadas mediante el GPA, se graficaron los espacios de deformación de cada grupo (sexo y maloclusión). Se realizó, a través de un análisis de componentes principales (PCA), un análisis cualitativo de ordenamiento. Se utilizó una Anova de Procrustes con el propósito de evaluar, las diferencias entre tipos de maloclusión.

La evaluación de características morfológicas mandibulares se hizo mediante un análisis de componentes principales que permite reducir el número de variables sin pérdida de información. Finalmente, para visualizar las variaciones en la morfología mandibular se utilizó la función de placa delgada TPS (Thin Plate Spline) que permite representar cambios entre una conformación y otra.

-Análisis MG –Landmarks- para clasificación de nuevos individuos

Con el objetivo de clasificar nuevos individuos dentro de los grupos establecidos para maloclusiones Clase I, II y III esquelética, se realizó la evaluación morfológica de la conformación de Md y PF. Se escogió un nuevo individuo al cual se le realizó una clasificación previa por cefalometría convencional utilizando el ángulo ANB. Luego se clasificó mediante MG un nuevo individuo con los grupos de maloclusión I, II y III mediante el análisis discriminante, el cual cumple una finalidad predictiva al proporcionar procedimientos de clasificación sistemática de nuevas observaciones de origen desconocido en uno de los grupos analizados.

8. Consideraciones éticas

8.1. Sustento legal

En esta investigación se realizó con las radiografías de perfil tomadas en seres humanos y se respetarán los principios éticos, estos principios éticos son:

- El respeto a la autonomía que establece la necesidad de respetar la capacidad de las personas autónomas para tomar decisiones.
- No maleficencia se refiere obligación a no hacer daño o mal intencionadamente, de prevenirlos, evitarlos o rechazarlos y de hacer o promover el bien y prevalece sobre el de beneficencia.
- Beneficencia es la adjudicación de beneficios, el análisis perjuicio beneficio y costo.
- Justicia: es la garantía de distribución justa de beneficios, riesgos y costos. La Justicia distributiva busca solidaridad social, mediante la distribución igual, equitativa y apropiada de bienes materiales, derechos y responsabilidades.

El proyecto se registró mediante la resolución número 8430 de 1993 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud la cual clasifica este estudio como investigaciones con riesgo mayor que el mínimo.

Asia como lo establece el artículo 4 la investigación comprenderá el desarrollo de acciones que contribuyan a:

- El conocimiento de los procesos biológicos y psicológicos en los seres humanos.
- El conocimiento de los vínculos entra las causas de enfermedad, la práctica médica y la estructura social.
- El estudio de técnicas y métodos que se recomienden o empleen para la prestación en el servicio de salud.

La información obtenida para cada participante se mantendrá en reserva, prevalecerá el criterio del respeto a su dignidad y protección a los derechos y bienestar dando cumplimiento al artículo 5 del capítulo I.

Así mismo se contó con un consentimiento informado por escrito del sujeto de investigación (Artículo 6, Capítulo I)

El beneficio de esta investigación para los individuos radica en una mayor precisión diagnóstica basada en los resultados globales del estudio con un menor costo por este servicio. el riesgo que implica la investigación se justifica, ya que la población de estudio para nuestro trabajo de investigación requiere tratamiento ortodóntico para este fin es necesario que el paciente se realice los registros diagnósticos, dentro de los cuales está la radiografía de perfil (utilizada en esta investigación) para la elaboración de un correcto diagnóstico y plan de tratamiento ortodóntico.

En cuanto a los beneficios para la comunidad, estas técnicas de análisis permiten considerar la variabilidad biológica en las maloclusiones teniendo en cuenta su prevalencia, para ser empleadas en métodos de identificación y clasificación que toma importancia dentro del marco de violencia que el país ha vivido así mismo este estudio tendrá beneficio para futuras investigaciones, ya que puede ser utilizada en nuevos proyectos para muestras grandes.

Esta investigación fue avalada por el comité de ética de la Universidad El Bosque el día 24 de mayo de 2019 con el código NUR 059-2018.

9. Resultados

9.1 Repetibilidad de MG

La prueba de repetibilidad se realizó sobre los 14 landmarks correspondientes a PF y 13 landmarks a Md, (tabla 1). Teniendo en cuenta que el valor mayor de precisión es 1, la mayoría de los landmarks presentaron una precisión > de 0.99 (Tabla 3 a-b).

El análisis de repetibilidad en la radiografía de perfil en PF se determinó una variación máxima debido a la digitalización (error del observador) inferior al 28.4% en la coordenada X y 2.11% en la coordenada Y del landmark 2 (Prostion) ($p < 0.05$), siendo este el punto con mayor error de localización. Por lo anterior, este landmark fue tratado como slider en el AGP. (Tabla 3a)

En Md, la variación en la ubicación de los puntos asociada al error intra-observador la aportó 12,27% en el eje X y 14,18% en el eje Y del landmark 11(Gnation). ($p < 0.05$), siendo este el punto con mayor error de localización. Por lo anterior, este landmark también fue tratado como slider en el AGP (Tabla 3b)

R E P E E T A B I L I T Y				R E P E E T A B I L I T Y			
LM	X coordinate	Y coordinate		LM	X coordinate	Y coordinate	
1	0.830690	0.984728		1	0.955785	0.959697	
2	0.715730	0.979924		2	0.935858	0.976314	
3	0.936866	0.896683		3	0.986207	0.931638	
4	0.859771	0.757035		4	0.921494	0.817871	
5	0.986272	0.971570		5	0.911947	0.782709	
6	0.826666	0.984542		6	0.950620	0.901397	
7	0.917234	0.968853		7	0.938446	0.875739	
8	0.978120	0.927385		8	0.938511	0.876959	
9	0.871598	0.987829		9	0.921737	0.996817	
10	0.919056	0.898427		10	0.921166	0.959056	
11	0.966230	0.932746		11	0.877315	0.858262	
12	0.951684	0.931359		12	0.889715	0.926634	
13	0.835964	0.935852		13	0.964761	0.842950	
14	0.890155	0.969839					

a) Polígono facial

b) Mandíbula

TABLA 3. Reporte de repetibilidad radiografías de perfil. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

9.2 Detección de datos atípicos.

En cuanto a la detección de datos atípicos se realizó un análisis de Bagplot en el que se pudo evidenciar que los datos del estudio están en la primera malla y no se evidencian datos atípicos.(Fig. 6)

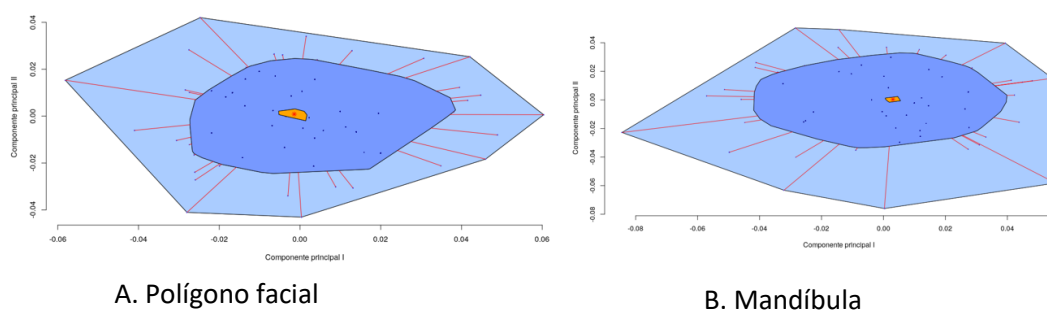


Figura 6. Bagplot para datos atípicos de PF y Md. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

9.3 Analisis de tamaño

Para analizar el tamaño se realizaron graficas de cajas y bigotes en las cual en mandíbula y polígono en mujeres se evidencia una mediana uniforme en clase las 3 maloclusiones I,II,III , en mandíbula hombres y mujeres se observa una mediana mucho más alta en clase III.(figura 5)

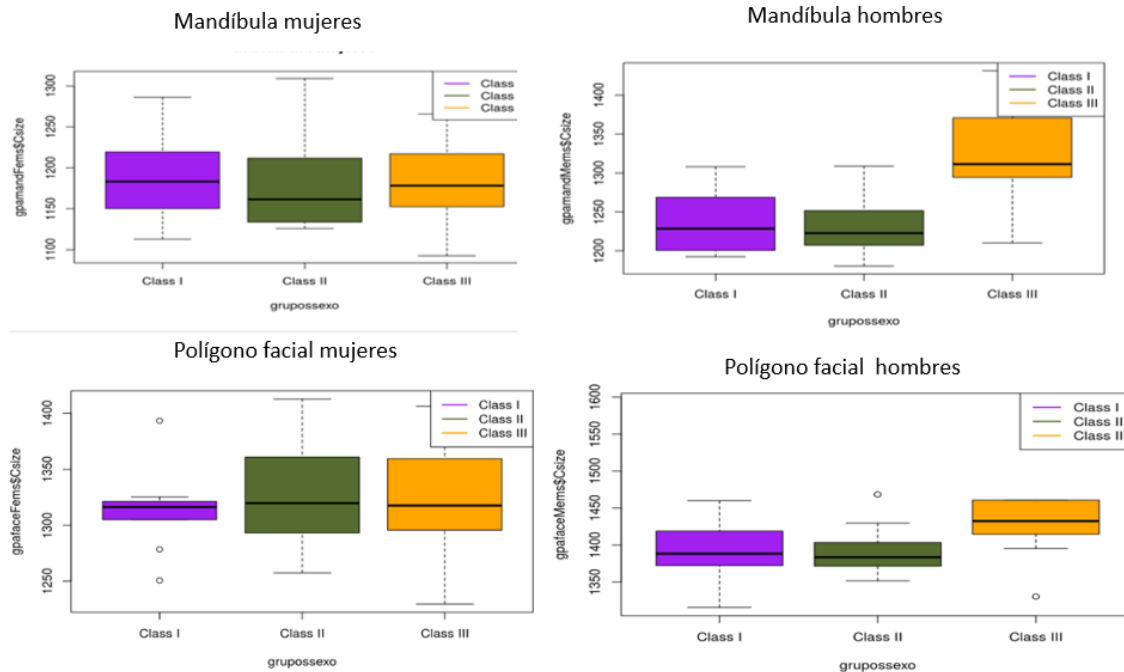


Figura 7. Graficas de cajas y bigotes para las conformaciones de Md y PF en hombres y mujeres. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

El análisis estadístico de tamaño, se realizó mediante la prueba de normalidad de shapiro wilks para los 4 grupos (Md mujeres, Md hombres, PF facial mujeres y PF hombres), en los cuales se evidencio que tanto para mujeres Md y PF los datos siguen una distribución normal y sus varianzas son homogéneas , en PF y Md hombres los datos no siguen la distribución normal pero sus varianzas son homogéneas ,así pues posteriormente a PF y Md en hombres se les realizó una prueba de krustal walis para identificar diferencias en la variable evaluada entre los grupos, en los que se observó un valor de ($p= 0,0041$) (tabla 4) ,los resultados de mandíbula hombres se relacionan con las gráficas de cajas y bigotes (figura 7) pudiendo inferir que la clase III es la que tiene un tamaño diferente.

En el caso de PF y Md mujeres , se realizó una prueba de Anova para evaluar las diferencias en tamaño en los grupos observados ya que los datos seguían la distribución normal, los resultados indican que no hubo diferencia en el tamaño entre los grupos.(tabla 5)

	M. Mujer	P. mujer
Prueba Shapiro-Wilk	0,22	0,33
ANOVA	0.927	0.821

Tabla 4. Diferencias de tamaño mujeres. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes

	M. hombre	P. hombre
Prueba Shapiro-Wilk	*0,057	0,0118
Prueba Krustall-wallis	*0,0041	0,065

Tabla 5. Diferencias de tamaño mujeres. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes

9.4 Analisis de la conformación

El análisis de la conformación se hizo mediante un análisis de variable canónica en el cual en el eje X se encuentra la variable canónica 1 y en el eje y la variable canónica 2, los puntos son la configuración de cada individuo que están separados por distancias de Mahalanobis , los individuos están identificados por un código de colores dependiendo de la maloclusión original y los cuadrados corresponden a los centroides de cada grupo.

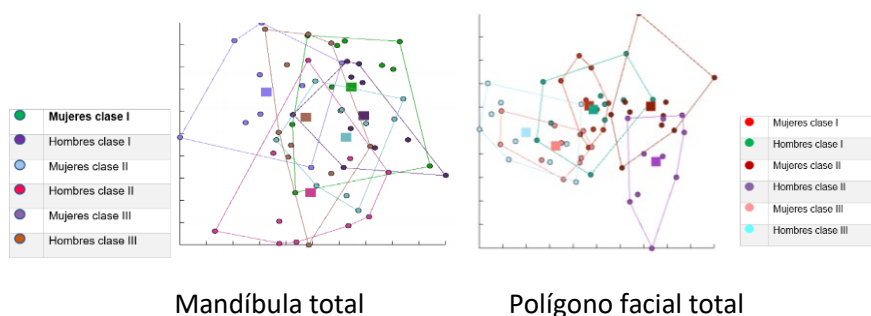


Figura 8. Análisis de la conformación Md y PG . Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes

Inicialmente se hicieron grupos pequeños de 10 individuos por cada maloclusión, y se evidencio tanto en Md como en PF bastante solapamiento entre los individuos y los centroides de cada maloclusión. (figura 8), cuando son separados únicamente por maloclusión se observa menos solapamiento entre los grupos. (figura 9). Se encontraron diferencias significativas en el análisis de conformación de las 3 maloclusiones $p=0,001$.



Figura 9. Análisis de la conformación dividida por maloclusión . Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes

En el análisis de variable canónica dividido por género en las dos estructuras evaluadas , se evidenció que tanto en Md hombres, como en PF hombres y mujeres la maloclusión clase I tiene un continuo y se ubica entre la clase II y la clase III siendo una clasificación intermedia entre la clase II y III ; al contrario en Md mujeres en el eje X la maloclusión clase I no sigue ese continuo y se ubica a un extremo entre las otras 2 maloclusiones, esto se puede deber a que los individuos clase I podrían tener compensaciones dentales de clase II y clase III.(figura 8)

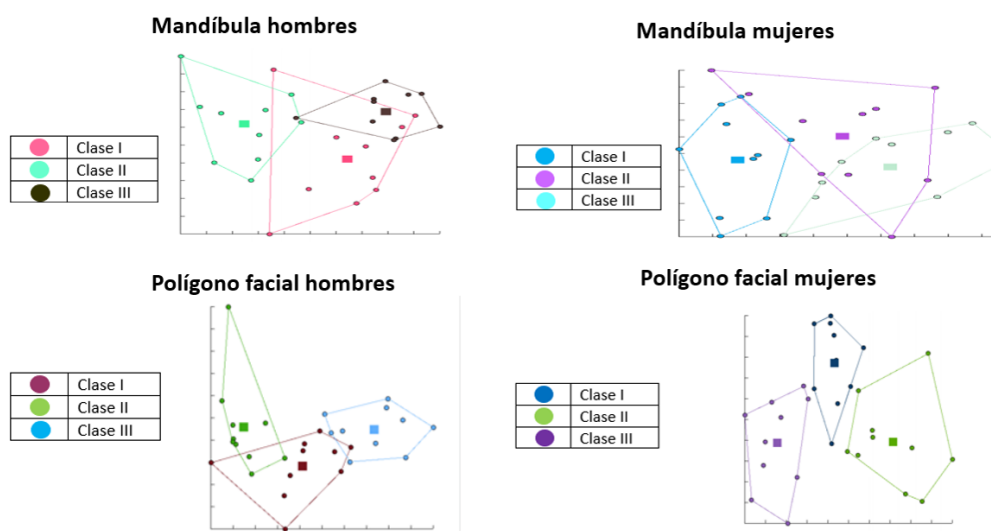


Figura 10. Análisis de variable canónica dividida por género, Md hombres, Md mujeres, PG hombres, PG mujeres. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

En cuanto a las distancias de Mahalanobis entre centroides estadísticos de las estructuras de Md y PF podemos observar que la mayor distancia fue en PF mujeres entre clase II y clase III la cual fue de 4,68 (tabla 6). En cuanto al porcentaje de clasificación para las dos estructuras, la mayoría tuvo un porcentaje de clasificación alto, sin embargo, en Md mujeres clase III y clase II se evidencia un porcentaje menor ya que algunos de estos individuos son clasificados para la clase I. (tabla 7)

DISTANCIAS MAHALANOBIS	DE	Mandíbula hombres	Mandíbula mujeres	Polígono facial hombres	Polígono facial mujeres
Entre I-II		2,68	2,51	2,20	3,01
ENTRE I-III		1,62	1,80	2,52	2,07
Entre II-III		3,41	1,04	4,11	4,68

Tabla 6 : Distancias de Mahalanobis reportadas entre los centroides para cada grupo. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes

GRUPOS	MANDIBULA HOMBRES		MANDIBULA MUEJRES		POLIGONO FACIAL HOMBRES		POLIGONO FACIAL MUJERES	
	#individuos clasificados	% clasificación	#individuos clasificados	% clasificación	#individuos clasificados	% clasificación	#individuos clasificados	% clasificación
CLASE I	7/10	70%	9/10	90%	8/10	80%	10/10	100%
CLASE II	10/10	100%	6/10	60%	9/10	90%	9/10	90%
CLASE III	9/10	90%	5/16	50%	10/10	100%	8/10	80%

Tabla 7: Porcentaje de clasificación por permutaciones de Md y PG. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

9.5 Mapas de factores de expansión mandíbula

Se realizaron mapas de calor para establecer las zonas de mayor variación con respecto al consenso en Md, la variación se distribuyó por colores siendo el color rojo la mayor variación, amarillo y azul claro variación intermedia y azul oscuro baja variación. Al evaluar esta variación en mandíbula se puede observar que la clase III presenta una mayor variación en rama y sínfisis, y la clase II en cóndilo, en la clase I hay una variabilidad general esto se relaciona con los resultados obtenidos en el análisis de variable canónica ya que la clase I presenta una mayor dispersión, ya que es una configuración intermedia entre la clase II y III.(figura 11)

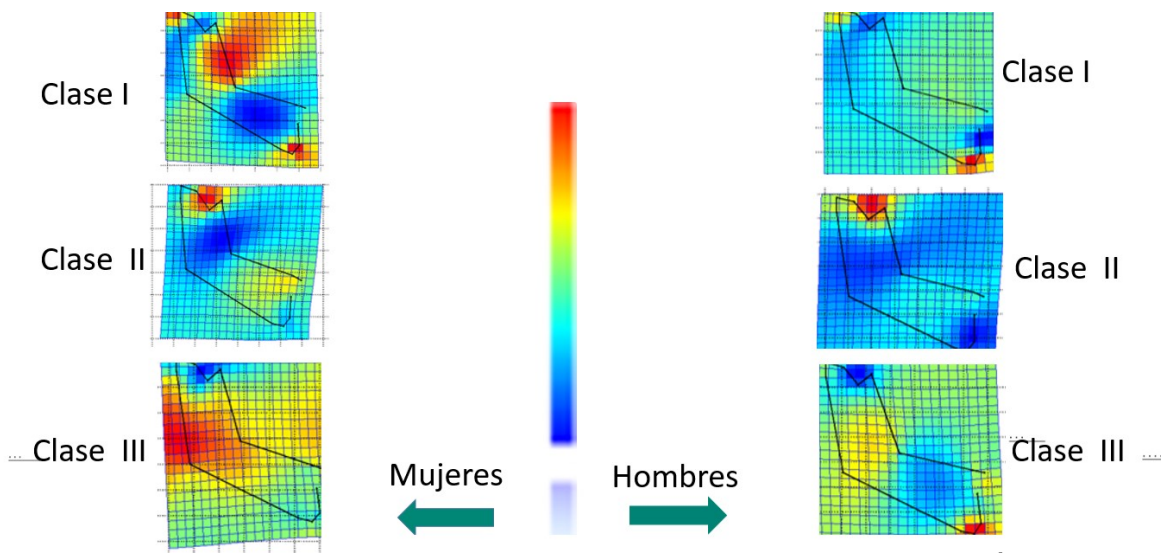


Figura 11 : Mapas de calor de la conformación de Md. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

9.6 Clasificación de nuevo individuo

Dando respuesta al tercer objetivo, se realizó la clasificación previa del individuo nuevo por medio cefalometría convencional utilizando el ángulo ANB, individuo que fue clasificado como clase II con un ANB de 6°, después se obtuvieron las conformaciones de las dos regiones de estudio, PF y Md, para ello, se utilizó MG de *landmarks*. Este análisis reportó que la conformación de PF fue predominantemente para clase II, por lo cual presentó coincidencia con la clasificación inicial. (figura 10)

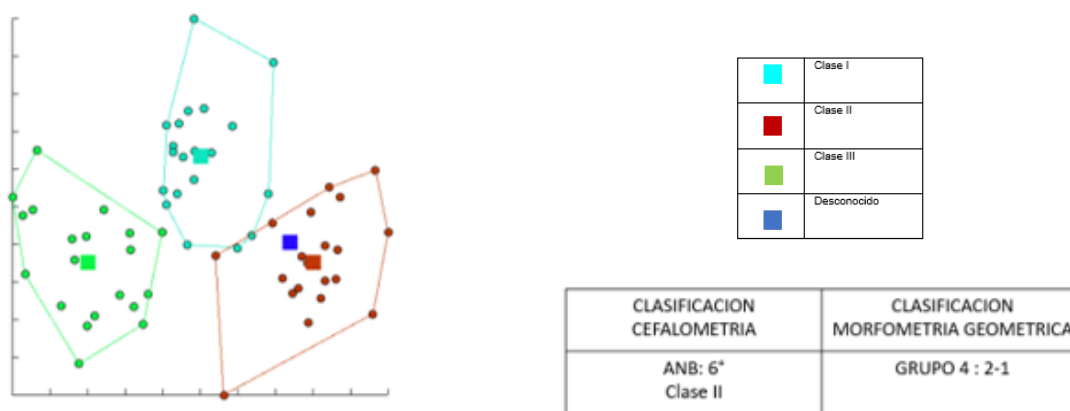


figura 12. Clasificación de un nuevo individuo en grupo 4. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

9.7 Analisis de patrones de conformacion

Se tomo la matriz de parcial warps , donde, inicialmente se realizó un analisis de componentes principales y se tomaron los valores propios de los 2 componentes principales cuyas varianzas son mayores a un porcentaje determinado en nuestro caso los dos primeros componentes principales representaban el 80% , sobre estos se hizo un analisis de conglomerados de k-medias. Este analisis, es un método de agrupamiento, que tiene como objetivo la partición de un conjunto de n observaciones en k grupos en el que cada observación pertenece al grupo cuyo valor medio es más cercano.

Se obtuvieron 4 conglomerados para cada región, El primer grupo(azul) se observa mas amplia y se observó un predominio de individuos clase II, y un grupo con pocos individuos clase III;el segundo (naranja) constituido en su mayoria por individuos clase III; el tercero (verde) presentó una combinación de individuos clase I y II, y por ultimo el grupo 4(rojo)compuesto por individuos de clase I.(figura 13)

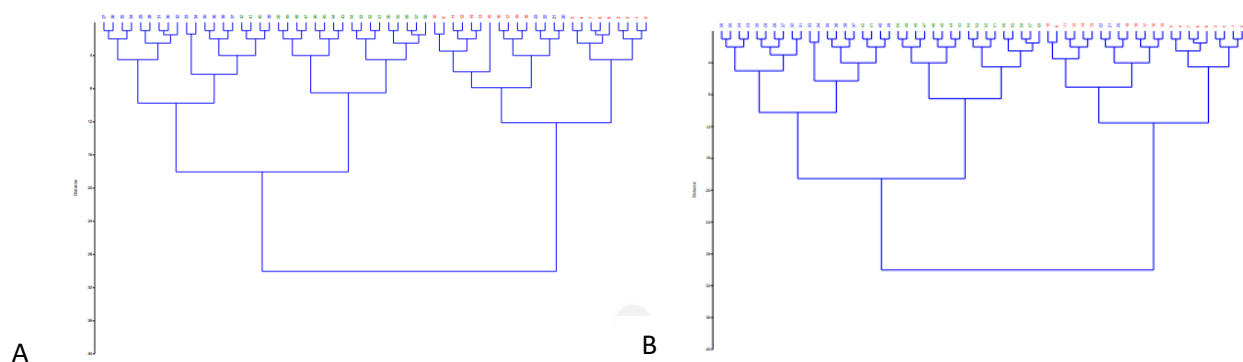


Figura 13. Cluster por K-medias de la clasificación de los individuos por conformación A. Md, B. PG . Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

9.8 Exploración gráfica de polígono facial y mandíbula

El análisis y visualización de los cambios morfológicos de la conformación PF en los cuatro grupos de maloclusión se llevó a cabo mediante Análisis de Deformaciones Relativas, efectuado sobre los consensos de cada grupo, para poder identificar las tendencias de los datos. Los consensos son configuraciones de referencia que en este caso resumen la conformación para cada grupo de maloclusión y fueron obtenidos con el programa TPSRelw. (Figura 14) Los detalles de las variaciones de conformación se muestran en las deformaciones de la rejilla función TPS, en las cuales se analizó también el comportamiento de la conformación de Md y PF.

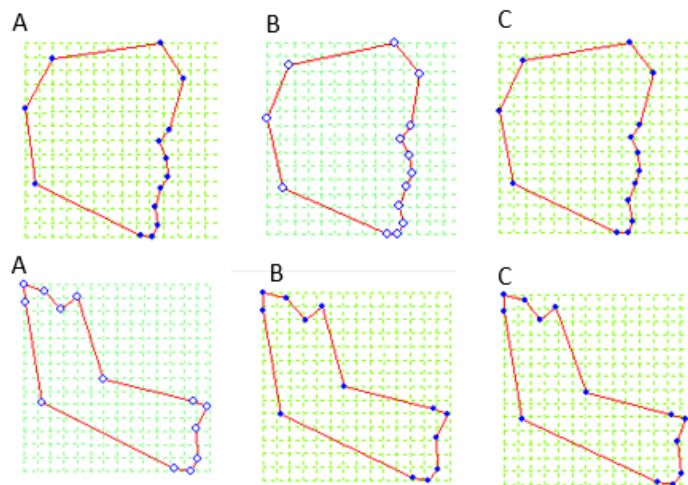


Figura 14. Consensos de las regiones craneofaciales por grupos de maloclusión. Análisis estadístico realizado por Carlos Morantes.

En la figura 14, se muestra tres de los cuatro grupos obtenidos con el análisis de cluster, y los consensos correspondientes a cada grupo, (A. Clase I, B. Clase II, C. Clase III). La rejilla muestra una primera variación relacionada con la altura facial anterior, y la segunda variación contrasta la altura facial posterior con la posición mandibular, específicamente del área de la sínfisis. La

correspondencia entre estas variaciones es la siguiente: el aumento en la altura facial posterior se asocia con la contracción del tercio medio facial en el plano sagital, mientras que se observa expansión del tercio medio facial a medida que decrece la altura facial posterior, de igual forma a nivel mandibular, se evidencia una deformación de la rejilla en pacientes clase II (Figura 14B) hacia posterior en el área de la sínfisis, mientras que en paciente clases III (Figura 14C) está deformación es hacia anterior.

En un individuo con una base craneal alta (Figura 15A), causa una rotación posterior y retrusión de la mandíbula, de igual forma una deformación de la rejilla en el tercio inferior hacia posterior. A diferencia, de los individuos con base craneal baja como en la clase III, Se evidencia una rotación anterior y protrusión mandibular con una deformación de la rejilla en el tercio inferior hacia adelante. (figura 15B)

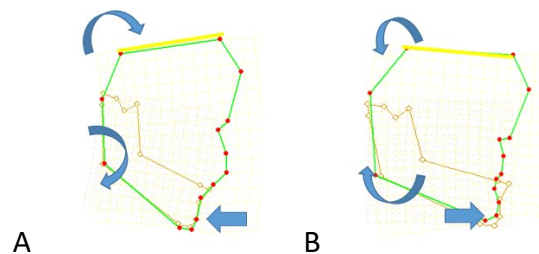


Figura 15: A:clase II, B:clase III. Figura diseñada por Paula Cuenca Campos.

El reporte del análisis de los cambios morfológicos se realizó para cada cluster de cada configuración, obteniendo resultados similares. Como ejemplo de explicación, se tomó en base a los resultados de los cluster por K-medias (Figura 13, color azul). Siendo el cluster 1 (Figura 16), constituido en su mayoría por individuos Clase II, se evidencia en el diagrama de dispersión (Figura 16) asociado a la rejilla TPS exploró la variación de la conformación dentro del grupo, proporcionando una aproximación de baja dimensión (a través de un ACP) del espacio tangente, que también muestra una estimación de la conformación de un individuo en diferentes lugares de este espacio. Para el análisis se eligieron 4 individuos, los cuales fueron ubicados alrededor del consenso de este grupo con el fin de observar patrones morfológicos del polígono facial especialmente en el área mandibular, dentro de esta agrupación (Figura 16). El individuo 4, rejilla central superior, presentó la máxima puntuación positiva en el RW1 (eje Y); el individuo 16, rejilla

central inferior, tuvo la máxima puntuación positiva para RW1; el individuo 13, rejilla central derecha, correspondió al máximo puntaje positivo del RW2 (eje X); y el individuo 6, rejilla izquierdo, presentó la puntuación máxima negativa de RW2.

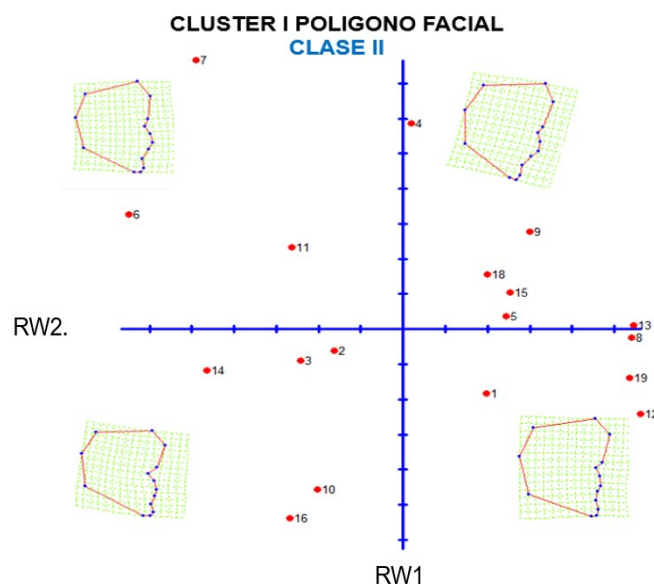


Figura 16. Cluster I de la configuración Polígono facial. Gráfica de dispersión del análisis de componentes principales asociados a los individuos que son representados por cada punto, donde, se observa la variación y la distribución con respecto al consenso, ubicado en la intersección de RW2 (eje X), y RW1 (eje Y). Análisis realizado por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal .

La rejilla muestra una primera variación relacionada con la altura facial anterior, y la segunda variación contrasta la altura facial posterior con retrognatismo del tercio inferior facial y prognatismo del tercio medio facial. 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 tercio medio facial en el plano sagital, mientras que se observa expansión del tercio medio facial a medida que decrece la altura facial posterior.

Como observamos en la figura 16, se observó una distribución de la muestra en el espacio de la forma que corrobora gráficamente esta composición: en los cuadrantes izquierdos, se presentó una alta concentración de individuos con características de Clase II, en el cuadrante inferior derecho se ubicaron los individuos cuyas conformaciones son de Clase III. En RW1 (eje Y) se

observó variación en la verticalidad, entre más distantes del consenso se ubiquen los individuos, a sea hacia valores negativos o positivos, esta se modifica; adicionalmente, la rejilla presenta diferentes grados de deformación en zonas específicas. Este comportamiento de las alturas verticales podemos corroborarlo al comparar el individuo 4 que se encuentra en la parte superior de este eje en donde su verticalidad esta aumentada evidenciando una base craneal alta y una rotación posterior mandibular, con el individuo 17 ubicado en la parte inferior de este eje mostrando una importante disminución en la verticalidad y una rotación anterior de la mandíbula.

9.9 Exploración grafica de mandíbula

Se realizó el reporte de la variación morfológica, para cada cluster obtenido de la configuración de Md. Tomando como ejemplo, el cluster 1 (Figura 13B, color azul), constituido en su mayoría por individuos Clase II, y su distribución en el diagrama de dispersión (Figura 17) asociado a la rejilla TPS.

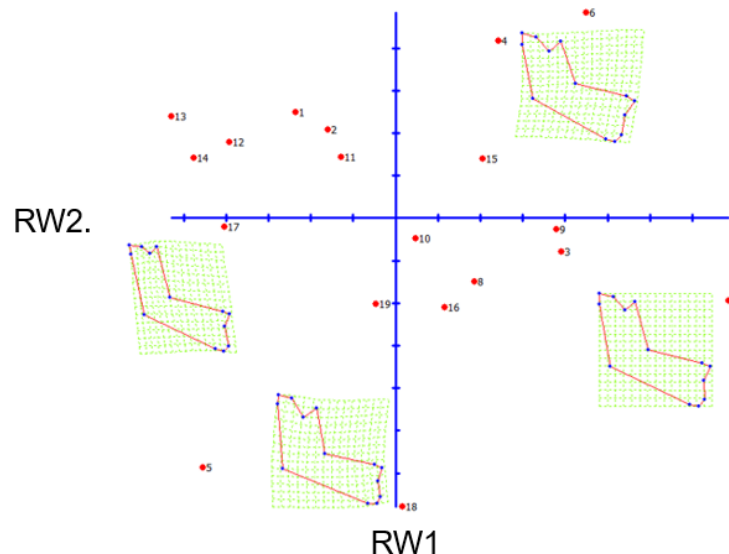


Figura 17. Cluster I configuración de la Md. Análisis realizado por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal.

Para el análisis se eligieron 4 individuos, ubicados alrededor del consenso de este grupo con el fin de identificar patrones de variación mandibular, dentro de esta agrupación (Figura 17). El individuo 7 obtuvo el mayor valor positivo sobre eje X (RW2), evidenció una mandíbula ortognática con mínimas áreas de deformación de la rejilla. En comparación con el individuo 17, quien obtuvo el mayor valor negativo sobre este eje, presentó una morfología mandibular con característica retrognática y una deformación evidente en esta rejilla hacia posterior.

Los individuos localizados sobre el eje Y (RW1), muestran diferencias en su verticalidad. Siendo el individuo 4, quien obtuvo el mayor valor positivo sobre este eje presenta una mandíbula retrognática, con un importante aumento en la altura del cuerpo en comparación con los otros individuos estudiados y una deformación a nivel de la sínfisis mandibular hacia posterior. El individuo 18 obtuvo el máximo valor negativo en este mismo eje, su morfología muestra una rama mandibular ancha con característica prognática, y con un cuerpo mandibular ortognático. Este patrón de variación morfológica mandibular explicado en el ejemplo anterior, se observó en las cuatro cluster obtenidos en este estudio.

10. Discusión

En esta investigación se utilizaron los siguientes criterios específicos para la selección de los individuos a estudiar: sujetos de ambos sexos en edades entre 17 y 27 años con maloclusiones de Clases I, II y III esquelética y dentición permanente completa, sin tratamientos ortodónticos y de rehabilitación previos, ni enfermedades sistémicas, congénitas o adquiridas. El estudio se realizó sobre radiografías de perfil de 60 individuos seleccionados: hombres (n=30) y mujeres (n=30).

Los datos utilizados para el análisis de la muestra correspondieron a un conjunto de *landmarks* representativos de dos regiones: mandíbula (Md) y polígono facial (PF).

En esta investigación, se utilizó la MG teniendo en cuenta que el Análisis Convencional Cefalométrico este utiliza planos de referencia lineales y las interpretaciones de los resultados varían de acuerdo con la orientación de estos planos de referencia y los análisis estadísticos muestran una variación de tamaño y no el de la conformación, esto hace que sus resultados sean más complejos de interpretar y las relaciones espaciales entre las estructuras son difíciles de obtener. En contraste a lo anterior La MG ofrece la posibilidad de realizar análisis cuantitativos y multivariados, mejorando la visualización de los resultados y mostrando aspectos adicionales de la morfología que no son obtenidos por un análisis cefalométrico convencional. (lee et al., 2008),(Alarcón et al.,2011).

Antes de iniciar el estudio, el investigador fue sometido a un test de calibración intra-observador y consecuentemente se considera que el riesgo de error del método es mínimo, teniendo en cuenta los resultados de la prueba de repetibilidad ($p<0.05$).

Este estudio aborda el problema de la variación morfológica de la conformación de la mandíbula en las maloclusiones esqueléticas de Clases I, II y III; los análisis se orientaron para dar respuesta a las preguntas planteadas acerca de la existencia de estas diferencias conformacionales de la región mandibular entre los individuos de las tres maloclusiones, y explorar la posibilidad de discriminar, a partir de la conformación, individuos con maloclusiones Clases I, II y III. Se dio

respuesta a estos interrogantes mediante el desarrollo de los tres objetivos específicos que fueron distribuidos de la siguiente manera :

- Caracterización de las diferencias en tamaño y conformación de mandíbula y polígono facial.

Se examinaron los patrones de variación de las conformaciones de 2 regiones craneofaciales, con el fin de evaluar el efecto individual de la mandíbula en los tres grupos originales de maloclusión y sus diferencias con los efectos de las otras estructuras sobre cada grupo, para ello se realizó una exploración cualitativa a partir de boxplots de la variable Tamaño Centroide (TC), así mismo, se realizó una prueba de hipótesis para diferencias entre las tres maloclusiones. cada sexo se analizó de manera independiente. Si se rechazó la hipótesis en la prueba de normalidad (*Shapiro wilks*), el análisis realizado fue Kruskal-Wallis de lo contrario si no se rechazó la hipótesis de normalidad, se utilizó Anova de una vía.

Para el grupo de mandíbula hombres la prueba de shapiro wilks rechaza la hipótesis nula $p=0,05$, posteriormente se hizo la prueba de Kruskal-Wallis $p=0,0041$, así mismo ocurrió en polígono facial hombres , prueba de shapiro wilks $p=0,011$ y Krustall-wallis $p=0,065$.

A.C. Oettle' et al., (2005) observaron que existe tendencia a que las ramas mandibulares de los hombres estén más hiperflexionadas y mayores en tamaño si se compara con las ramas mandibulares de las mujeres; más tarde los mismos autores en el 2009, observaron que los hombres tenían una forma más variable, mientras que las mujeres eran más similares entre sí, así mismo, se observó una rama mandibular más pequeña en las mujeres, dichos hallazgos concuerdan con nuestro estudio en el cual hubo diferencias significativas respecto al tamaño en el grupo mandíbula hombres, quienes presentaron un tamaño mayor.

Castro N(2013) evaluó la morfología mandibular mediante MG y observo diferencias estadísticamente significativas ($p<0.0001$) en los tres grupos de maloclusión así mismo Jin-Yun Pan, (2006) En su estudio encontraron *que* la morfología mandibular fue significativamente

diferente entre estos dos grupos de hombres y mujeres adultos y niños ($p < 0.0001$) y se observó un alargamiento anteroposterior de la mandíbula a lo largo del eje condilion-gnathion, mostrando una extensión en las regiones del cóndilo mandibular y la rama, y de la porción anteroinferior de la sínfisis mandibular en grupos de clase III. Las deformaciones de la rejilla en los sujetos con maloclusión de clase III pueden representar un alargamiento del desarrollo de la mandíbula antero posteriormente, lo que conduce a la aparición de un perfil mandibular prognático, característica similar encontrada en las rejillas para este estudio, como se puede observar en el consenso de la maloclusión clase III (figura 18C); por el contrario, en un paciente con maloclusión clase II (figura 18.B) se evidencia un desarrollo anteroposterior de la mandíbula menor con una deformación de la rejilla menor.

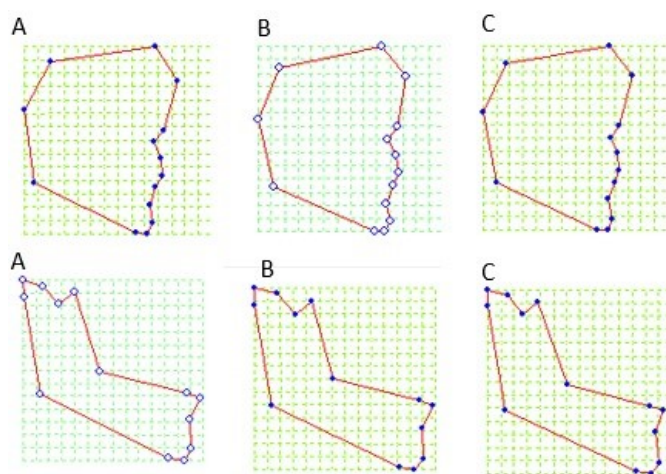


Figura 18. Consensos de mandíbula por grupos maloclusión, a)clase I, b)clase II, c)clase III . Análisis realizado por Paula Sthepanny Cuenca Campos y Cindy Lorena Vanegas Bernal.

De igual forma, Alarcón et al., (2011) observaron en las deformaciones de la rejilla una configuración mandibular más rectangular, orientación cóndilo hacia adelante, compresión del cuello del cóndilo, compresión del área gonial y estrechamiento de la sínfisis en pacientes clase III; como se evidencia en la gráfica de los consensos en las tres maloclusiones (figura 16).

- Análisis discriminante de los grupos de maloclusión originales

Continuando con el estudio de la conformación, se realizó el análisis discriminante de estas dos regiones craneofaciales para evaluar: 1) Separaciones morfológicas entre grupos de maloclusión asignados originalmente utilizando las distancias de Mahalanobis y 2) asignación de un individuo teniendo en cuenta sus características conformacionales en uno de los tres grupos de maloclusión; para esto se realizó análisis de Permutaciones ($n=60$), basados también en las distancias de Mahalanobis.

En la función discriminante se evidenciaron las distancias de Mahalanobis más altas en la región de mujeres polígono facial (4,68) entre individuos clase II y clase III, con respecto a esta descripción anterior, en la mayoría de grupos se evidencio la maloclusión clase I presenta un continuo entre las otras dos maloclusiones, dichos resultados son similares con el análisis contrapartes de Enlow (1982), en la que individuos de Clases I y II comparten características similares, como la inclinación de la fosa craneal media la cual contribuye para la composición de patrones de Clase II o tendencias a estos de algunos individuos de Clase I.

Singh et al.,(2012). Utilizaron el método de MG en su estudio, para cuantificar y analizar los patrones de covariación de la forma de tres regiones: cara, base del cráneo y bóveda, sugiriendo en sus resultados cambios generales de la forma entre las regiones craneales mostrando un patrón uniforme de integración, estos aspectos están relacionados principalmente con los cambios en la forma entre las diferentes regiones y no con su posición relativa, siendo coherentes con resultados reportados en el análisis discriminante de este estudio, la región de PF y Md mostró una separación precisa de los grupos de maloclusión, respondiendo de manera global al concepto de integración morfológica, que explica la fuerte conexión entre los elementos esqueléticos.

Choy Ker Woon et al.,(2019) reportaron en su estudio, diferencias conformacionales importantes entre las maloclusiones clase II y III mostrando unas distancias de Mahalanobis altas entre estas

dos maloclusiones en la población estudiada. El análisis de la función discriminante mostró que el alto porcentaje de clasificación (80%) entre las maloclusiones corroborado con validación cruzada, estos resultados son similares a los de nuestro estudio en el cual las mayores distancias de Mahalanobis fueron para PF clase II, III y en cuanto a las funciones discriminantes nuestro estudio mostro porcentajes de clasificación hasta del 100%.

Nuzzolese Emilio et al., (2019) realizaron un análisis con MG en mandíbula en el cual encontraron un nivel alto de clasificación basado en 25 landmarks(92.5% en general, 91.0% de los hombres, 94.0% mujeres). Estos resultados son similares con el presente estudio ya que se logró una caracterización de las diferentes maloclusiones; al analizar las conformaciones de PF y Md divididas por sexos, se encontraron porcentajes altos de asignación de individuos en los grupos originales de maloclusión, la región PF evidenció porcentajes con alto grado de exactitud en la clasificación tanto en hombres (80%,90% y 100%), como en mujeres (100%,90%y 80%) para Clase I, II y III respectivamente.

- Clasificación de nuevos individuos dentro de los grupos de conformación establecidos originalmente para clase I, II y III.

El desarrollo de este objetivo dio respuesta a una de las preguntas de investigación: ¿es posible discriminar a partir de la conformación individuos con maloclusiones Clases I, II y III? Para ello, se utilizaron las conformaciones de las dos regiones de un individuo nuevo.

La clasificación para el primer individuo clasificándolo en MG se encontró entre clase I y clase II, lo que concuerda con la clasificación cefalométrica convencional en la cual se había clasificado como clase II .

Choy Ker Woon et al.,(2019) observaron que la clase II tiene el ángulo ANB más amplio, mientras que la clase III tiene el ángulo ANB más cerrado. La forma esquelética se asoció claramente con la maloclusión dental y mostró una variación considerable, estos resultados son similares a nuestro estudio ya que se clasificó un nuevo individuo dando un ANB amplio correspondiente a clase II y la clasificación con morfometría geométrica corrobora.

- Patrones de clasificación de polígono facial y mandíbula

Para dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿existen diferencias significativas entre las conformaciones de mandíbula en los individuos con maloclusiones tipo I, II y III? El primer paso fue investigar la variación en la conformación de la región polígono facial ; en las tres maloclusiones se realizó análisis de componentes principales y se aplicó análisis de Cluster por K-medias.

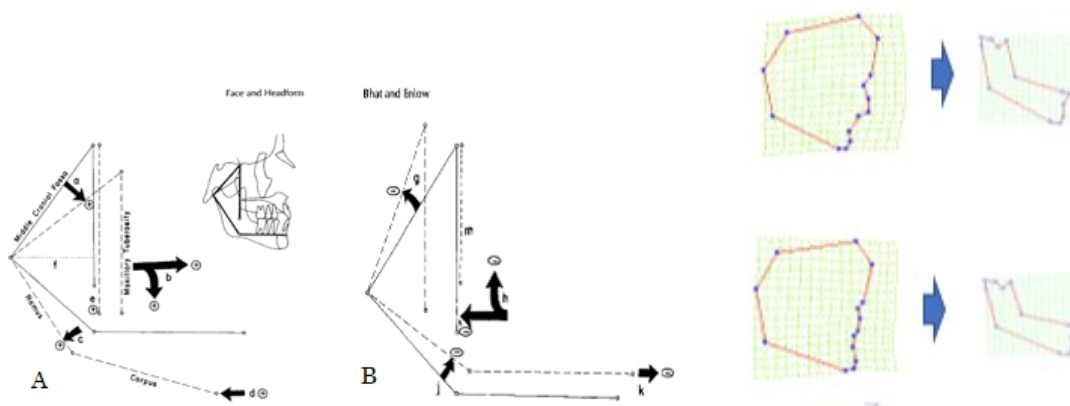


Figura 19: A). La fosa craneal media más horizontal a) produce un efecto protrusivo del tercio medio facial y una ubicación más baja de éste con respecto al cóndilo, ocasionando una rotación hacia abajo y atrás de la rama mandibular (c), lo que favorece un efecto retrusivo en el cuerpo mandibular (d). Un efecto similar sobre la mandíbula se presenta cuando la altura posterior de complejo nasomaxilar se aumenta (e). B). La fosa craneal media más vertical (g) ocasiona una posición más alta y retrusiva del Tercio Medio Facial (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 tercio medio facial disminuye causa un efecto similar sobre la mandíbula (m).

Markus Bastir., (2005) observó una integración morfológica estadísticamente significativamente entre la fosa craneal media y la rama mandibular así mismo Rosas (2005) y Halazonetis (2004) identificaron que la posición sagital está relacionada con las alturas anteriores y posteriores, que a su vez se encuentran influenciadas por la inclinación de la fosa craneal media, toda la evidencia está directamente relacionada con los análisis de contrapartes expuestas por Enlow (1982) en la cual expone que la ubicación más horizontal de la fosa craneal media ocasionara una rotación hacia abajo y hacia atrás de la rama mandibular, lo que favorece a un efecto retrusivo de la mandíbula, al contrario si la fosa craneal media está más vertical, provocara una rotación hacia arriba y delante de la rama mandibular produciendo un efecto protrusivo en el cuerpo mandibular. (figura 15)

Cuatro nuevos grupos de maloclusión se obtuvieron a partir de los análisis realizados a las regiones de PF y Md. Estos resultados sugieren que a pesar de que la cefalometría convencional

ofrece información importante sobre la morfología craneofacial, el uso de este tipo de metodología no puede extraer toda la información de la forma. Los sujetos de la muestra que se cambiaron de grupo de maloclusión debido a lo expresado anteriormente mostraron, en el análisis detallado de su conformación, compensaciones dentoalveolares y verticales que, aunque logran ser registradas por los métodos convencionales cefalométricos, no clasifican de forma determinante la maloclusión. Por ejemplo, el sujeto # 22 , cuya clasificación inicial fue de Clase I utilizando cefalometría convencional, presentó un ángulo ANB positivo 3,5 fue clasificado como Clase I y ubicado en el cluster 1 con una conformación de Clase II esto se puede deber a la compensación dentoalveolar inferior IMPA (101,5°).

11. Conclusiones

- ❖ La morfometría geométrica es un método específico, que puede caracterizar una maloclusión, utilizando la conformación del polígono facial y mandíbula.
- ❖ Se avanzó en el conocimiento de métodos de estudio que permiten describir patrones de conformación de los componentes craneofaciales, apoyando las limitaciones de los métodos convencionales.
- ❖ La morfometría geométrica permite la clasificación de nuevos individuos, dentro de los grupos de conformación establecidos para cada maloclusión.
- ❖ El estudio de la conformación utilizando MG 2D muestra adecuada sensibilidad para capturar y analizar la variación morfológica en las estructuras estudiadas. La variación conformacional en mandíbula se distribuye a lo largo de diversos componentes que deben evaluarse de manera sinérgica acumulando así mayores y mejores elementos de juicio en decisiones clínicas.

12. Aplicatividad clínica

- ❖ La morfometría geométrica es una herramienta que permite analizar, cuantificar y explorar la variación morfológica, que puede ser utilizada para la descripción de las características de crecimiento en las diferentes maloclusiones y para evaluación de los efectos terapéuticos del tratamiento de ortodoncia.
- ❖ La morfometría geométrica permite una visualización explicativa de las diferencias morfológicas, localizando los sitios reales en los que los cambios en tamaño y en forma ocurren.
- ❖ La MG es empleada en diferentes disciplinas aparte de la ortodoncia como biología, antropología, ecología, genética, cirugía reconstructiva por secuelas de trauma o malformaciones y áreas forenses, entre otros.
- ❖ Es importante que para próximas investigaciones se usen tamaños de muestra superiores y así se podrán obtener resultados más robustos .

13. Referencias bibliográficas

1. Alberch P, Gould SJ, Oster GF, Wake DB. Size and shape in ontogeny and phylogeny. *Paleobiology*. 1979;5:296–317
2. Alarcón JA, Bastir M, Rosas A, Molero J. Chincup treatment modifies the mandibular shape in children with prognathism. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;140(1):38-43. doi:10.1016/j.ajodo.2009.10.046
3. 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):[15-9 pp.].
4. Bastir M, Rosas A. Hierarchical nature of morphological integration and modularity in the human posterior face. *American Journal of Physical Anthropology*. 2005 ,128:26–34.
5. Bernal V. Size and shape analysis of human molars: Comparing traditional and geometric morphometric techniques. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*. 2007;58(4):279-96.
6. Bertl mh, bertl k, Wagnxer m, Gahleitner a, Stavropoulos a, ulm c, et al. Second premolar agenesis is associated with mandibular form: a geometric morphometric analysis of mandibular cross-sections. *International journal of oral science*. 2016; 8(4):254.
7. Bookstein F. Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*. 1989;2(6):567-85.
8. Bookstein FL, Gunz P, Mitteroecker P, Prossinger H, Schæfer K, Seidler H. Cranial integration in Homo: singular warps analysis of the midsagittal plane in ontogeny and evolution. *J Hum Evol*. 2003;44(2):167-87.
9. Bookstein F.L. Thin-Plate splines and the atlas problem for biomedical images. In: Colchester A.C.F., Hawkes D.J. (eds) *Information Processing in Medical Imaging*. IPMI 1991. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 511. Springer, Berlin, Heidelberg
10. Bookstein, F.L. Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape, *Medical Image Analysis*, Volume 1, Issue 3, 1997, Pages 225-243, ISSN 1361-8415, [https://doi.org/10.1016/S1361-8415\(97\)85012-8](https://doi.org/10.1016/S1361-8415(97)85012-8).

11. Bjork A. Cranial base development. *Am J Orthod.* 1955; 41(198): 198-225.
12. Castro G. Nancy., Muñoz J., 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.
13. Castro Guevara Nancy Esperanza. Modelo de identificación de patrones del tercio medio facial en clase I, II y III esquelética: un análisis morfogeométrico. 2013;159.
14. Cobb S, O'Higgins P. Hominins do not share a common postnatal facial ontogenetic shape trajectory. *J. Exp. Zool. B: Mol. Dev. E* vol. 2004; 302B:302–321.
15. Cheverud J. Phenotypic genetic and environmental morphological integration in the cranium. *Evolution* [Internet]. 1982; 36(3): p. 499-516.
16. Choy Ker Woon, Jamal NAA, Mohd Noor MNI, Abdullah SM, Ibrahim NM, Norman NH, et al. Geometric morphometric analysis of malocclusion on lateral cephalograms in Malaysian population. *Anatomy & Cell Biol.* 2019 Dec;52(4):397.
17. Diaz Alejandro, Manriquez G. Morfometría geométrica: una nueva herramienta en ortodoncia. *Revista chilena de ortodoncia.* 2006. 23(1)6-12.
18. Dean C. Adams, F. James Rohlf & Dennis E. Slice (2004) Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution', *Italian Journal of Zoology*, 71:1, 5-16, DOI: [10.1080/11250000409356545](https://doi.org/10.1080/11250000409356545)
19. Dujardin J. The MOG software. ed. Unité de Recherches 062- Unité Mixte de Recherches UMR9926, Institut de Recherches pour le Développement (IRD, France).199. Version 2. p.19-29
20. Enlow DH, Pfister C, Richardson E, Kuroda T. An Analysis of Black and Caucasian Craniofacial Patterns. *Angle Orthod.* 1982;52(4):279-87.
21. Enlow DH, Kuroda T, Lewis AB. The morphological and morphogenetic basis for craniofacial form and pattern. *Angle Orthod.* 1971;41(3):161-88.
22. Franchi I, baccetti t, cameron cg, kutcipal ea, mcnamara jr ja. Thin-plate spline analysis of the short- and long-term effects of rapid maxillary expansion. *European journal of orthodontics.* 2002;24(2):143-50

23. Freudenthaler J, Čelar A, Ritt C, Mitteröcker P. Geometric morphometrics of different malocclusions in lateral skull radiographs. *Journal of Orofacial Orthopedics / Fortschritte der Kieferorthopädie*. 2017;78:11-20.
24. Gkantidis N, Halazonetis DJ, Alexandropoulos E, Haralabakis NB. Treatment strategies for patients with hyperdivergent Class II Division 1 malocclusion: Is vertical dimension affected? *Am J Orthod Dentofacial Orthoped*. 2011;140(3):346-55.
25. Halazonetis DJ. Morphometrics for cephalometric diagnosis. *American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics*. 2004;125:571-581.
26. Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontología Electrónica*. 2001;4((1).
27. Hutchinson EF, Kieser JA, Kramer B. Morphometric growth relationships of the immature human mandible and tongue. *European Journal of Oral Sciences*. 2014;122:181-189.
28. Henry A, Thongsripong P, Fonseca-Gonzalez I, Jaramillo-Ocampo N, Dujardin JP. Wing shape of dengue vectors from around the world. *Infect Genet Evol*. 2010;10(2):207–14.
29. Kendall DG. Shape-Manifold Procrustean Metrics and Complex Projective Spaces. *Bulletin of the London Mathematical Society* [Internet]. 1984; 16:[81-121 pp.].
30. Kermani M, Tabatabaei Yazdi F, Abed Haghighi M. Evaluation of the accuracy of Demirjian's method for estimating chronological age from dental age in Shiraz, Iran: Using geometric morphometrics method. *Clin Exp Dent Res*. 2019;5:191–198. <https://doi.org/10.1002/cre2.169>
31. Klingenberg C. What is morphometrics?, Manchester University, England. 2010.
32. Leander, Deepu. (2011). Role of Growth Factors in the Development of Mandible. *The Journal of Indian Orthodontic Society*. 45. 51-60. 10.5005/jp-journals-10021-1010.
33. Lee Y, Schmid MJ, Marx DB, Beatty MW, Cullen DM, Collins ME, et al. The effect of local simvastatin delivery strategies on mandibular bone formation in vivo. *Biomaterials*. 2008;29(12):1940-9.
34. Lele S, Richtsmeier JT. Euclidean distance matrix analysis: Confidence intervals for form and growth differences. *Am J Phys Anthropol*. 1995;98(1):73–86.

35. Maneeshi S. Prasad, Rebekah M. Charney, Martín I. García-Castro. Specification and formation of the neural crest: Perspectives on lineage segregation. R01DE017914, F32DE027862 2018.
36. Marcus, L. F. Traditional morphometrics. En: Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop. Rohlf, F. J. & Bookstein, F. L. (Eds). Special Publication Number 2. Ann Arbor, Michigan, The University of Michigan Museum of Zoology, 1990. pp.77-122.
37. Martin A, Pani M, Holgado N, Miranda L, Meheris H, Garat J. Facial development disorders due to inhibition to endochondral ossification of mandibular condyle process caused by malnutrition. *Angle Orthod*. 2014;84:473–478
38. McNamara Jr JA, Lozan off S. Craniofacial heterogeneity of prepubertal Korean and European-American subjects with Class III malocclusions: procrustes, EDMA, and cephalometric analyses. *Int J Adult Orthod and Orthog Sur*. 1998;13(3):227-40.
39. Mitteroecker, P., Gunz, P. Advances in Geometric Morphometrics. 2009. *Evol Biol* 36, 235–247.
40. Montasser, Mona A. Craniofacial growth spurt in Class I subjects. 2009. Volume 155 ISSUE 4, P473-481.
41. Montenegro R. Factores que regulan la morfogénesis y el crecimiento mandibular humano. *Int J Odontostomat*. 2007; 1(1): 7-15.
42. Nanda RS. The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms. *Am J Orthod*. 1955;41(9):658-73.
43. Nuzzolese E, Randolph-Quinney P, Randolph-Quinney J, Di Vella G. Geometric morphometric analysis of sexual dimorphism in the mandible from panoramic X-ray images. *Journal of Forensic Odonto-Stomatology*. 2019. 37(2):35.
44. Oettle´ A, E. Pretorius, M. Steyn. Geometric Morphometric Analysis of Mandibular Ramus Flexure. *American Journal Of Physical Anthropology* 2005.128:623–629.
45. Oettle´ A , E.Pretorius,M.Steyn. Geometric morphometric analysis of the use of mandibular gonial eversion in sex determination. *Journal of Comparative Human Biology*. 2009. 60 (29–43).
46. Pan J-Y, Chou S-T, Chang H-P, Liu P-H. Morphometric Analysis of the Mandible in Subjects with Class III Malocclusion. *Kaohsiung J Med Sci*. 2006;22(7):331-8.

47. Perinetti g. craniofacial growth spurt in class i subjects: data vs conclusions. 2019. Volumen 156. ISSUE 3, PS97-298.
48. Randolph-Quinney P, Mallett X, Black SM. Antropología Forense. En: Jamieson A, Moenssens A (ed) *Wiley Encyclopedia of Forensic Science* , John Wiley and Son Ltd, Londres; 2009. pp 152-78.
49. Rice, David. Sperber G.Craniofacial Embryogenetics and Development, European Journal of Orthodontics, 2010, Volume 41, Issue 5, Page 557.
50. Ricketts RM, Planning treatment on the basis of the facial pattern and an estimate of its growth. *The Angle Orthod.* 1957; 27(1):14-37.
51. Rohlf, F., & Slice, D. Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks. *Systematic Zoology*, 1990. 39(1), 40-59. doi:10.2307/2992207
52. Ross CF, Henneberg M, Ravosa MJ, Richard S. Curvilinear, geometric and phylogenetic modeling of basicranial flexion: is it adaptive, is it constrained? *J Hum Evol.* 2004;46(2):185-213
53. Sato S. Case Report: Developmental characterization of skeletal Class III malocclusion. *Angle Orthod.* 1994;64(2):105-11.
54. Singh N, Harvati K, Hublin J-J, Klingenberg CP. Morphological evolution through integration: A quantitative study of cranial integration in Homo, Pan, Gorilla and Pongo. *J Hum Evol.* 2012;62(1):155-64.
55. Singh GD, McNamara Jr JA, Lozanoff S. Craniofacial heterogeneity of prepubertal Korean and European-American subjects with Class III malocclusions: procrustes, EDMA, and cephalometric analyses. *Int J Adult Orthod and Orthog Sur.* 1998;13(3):227-40.
56. Szabo-Rogers HL, Smithers LE, Yakob W, Liu KJ. New directions in craniofacial morphogenesis. *Dev Biol.* 2010;341(1):84-94.
57. Sung-Jin Kim ·Kyung-Ho Kim ·Hyung-Seog Yu Compensación dentoalveolar según discrepancia esquelética y sobrecarga en pacientes esqueléticos de clase III. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014 Mar;145(3):317-24. doi: 10.1016/j.ajodo.2013.11.014.
58. Tabatabaei Yazdi, F., & Alhajeri, B. H. (2018). Sexual dimorphism, allometry, and interspecific variation in the cranial morphology of seven Meriones species (Gerbillinae, Rodentia). *Hystrix*,

- Ital J Mammal, 2018, 29(2). <https://doi.org/10.4404/hystrix-00018-2017>
59. Torcida, S., & Perez, S. I. (2012). Análisis de Procrustes y el estudio de la variación morfológica/ Procrustes analysis and the study of morphological variation. *Revista Argentina De Antropología Biológica*, 14(1), 131-141. Disponible: <https://revistas.unlp.edu.ar/raab/article/view/537>
60. Toro, I. M. V.; Manriquez, S. G. & Suazo, G. I. 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.
61. Thompson, D 'Arcy. 1917. On growth and form. Capítulo IX. Sobre la teoría de las transformaciones, o la comparación de formas correlacionadas. pp. 259-281 y 298-312.
62. Van der Molen S, Martínez N, Gonzalez R. Introducción a la morfometría geométrica, centro Nacional patagónico, Universitat de Barcelona. 2007.
63. Vimla S. Aggarwal, Courtney Carpenter, Laina Freyer, Jun Liao, Marilena Petti, Bernice E. Morrow. Mesodermal Tbx1 is required for patterning the proximal mandible in mice. 2010. 2(3): p. 16-20.
64. Walker GKC. Computer morphometrics in craniofacial biology. *Computers in biology and medicine*. 1992; 2(3): p. 235-249.
65. Zelditch M. Developmental regulation of skull morphology. I. Ontogenetic dynamics of variance. *Evolution & Development*. 2004. 6:3, 194–206.