EVALUACIÓN MORFOGEOMÉTRICA DE CUELLO Y CÓNDILO MANDIBULAR EN MALOCLUSIONES CLASE I, II, III CON RADIOGRAFÍA DE PERFIL.

Diana Pamela Alarcón Mendoza
Daniela Barrera Castillo

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
PROGRAMA DE ORTODONCIA - FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
BOGOTÁ DC.- JULIO - 2022

HOJA DE IDENTIFICACIÓN

Universidad	El Bosque
Facultad	Odontología
Programa	Ortodoncia
Título:	Evaluación morfogeométrica de cuello y cóndilo mandibular en maloclusiones clase I, II y III con Radiografía de perfil.
Línea de investigación:	Línea diagnóstica en paciente sano.
Tipo de investigación:	Posgrado/ línea docente
Residentes:	Diana Pamela Alarcón Mendoza Daniela Barrera Castillo
Director:	Dra. Sonia Guevara
Asesor metodológico	Dra. Ingrid Mora
Asesor estadístico	Carlos Fabian Morantes Ariza

DIRECTIVOS UNIVERSIDAD EL BOSQUE

OTTO BAUTISTA GAMBOA	Presidente del Claustro
JUAN CARLOS LÓPEZ TRUJILLO	Presidente Consejo Directivo
MARIA CLARA RANGEL GALVIS	Rector(a)
NATALIA RUÍZ ROGERS	Vicerrector(a) Académico
RICARDO ENRIQUE GUTIÉRREZ MARÍN	Vicerrector Administrativo
MIGUEL OTERO CADENA	Vicerrectoría de Investigaciones.
CRISTINA MATIZ MEJÍA	Secretaria General
JUAN CARLOS SANCHEZ PARIS	División Postgrados
MARIA ROSA BUENAHORA TOVAR	Decana Facultad de Odontología
MARTHA LILILIANA GOMEZ RANGEL	Secretaria Académica
DIANA MARIA ESCOBAR JIMENEZ	Director Área Bioclínica
ALEJANDRO PERDOMO RUBIO	Director Área Comunitaria
JUAN GUILLERMO AVILA ALCALÁ	Coordinador Área Psicosocial
INGRID ISABEL MORA DIAZ	Coordinador de Investigaciones Facultad de Odontología
IVAN ARMANDO SANTACRUZ CHAVES	Coordinador Postgrados Facultad de Odontología
DIRECTOR DE PROGRAMA	Gabriel Eduardo Restrepo
COORDINADOR DE PROGRAMA	María Inés Lemos

“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”.

GUÍA DE CONTENIDO

Resumen

Abstract

	Pág.
Introducción	**1**
2. Marco teórico	**2**
3. Planteamiento del problema	**12**
4. Justificación	**15**
5. Situación Actual	**16**
6. Objetivos	**18**
6.1 Objetivo general	**18**
6.2 Objetivos específicos	**18**
7. Metodología del Proyecto	**19**
7.1. Tipo de estudio	**19**
7.2. Población y muestra	**19**
7.3. Métodos y técnicas para la recolección de la información	**20**
7.4. Hipótesis de estudio	**28**
7.5 Plan de tabulación y análisis.	**28**
a. Hipótesis estadísticas	**28**
8. Consideraciones éticas.	**29**
9.Resultados	**30**
9.1 Formas promedio	**30**
9.2 Análisis Basado en Landmarks	**32**
9.2.1 Análisis Discriminante	**35**
9.3 Análisis de Fourier Elíptico	**37**
10. Discusión	**42**
11. Conclusiones	**44**
12. Referencias bibliográficas	**45**
13. Anexos	**49**

LISTADO DE TABLAS

		Págs.
Tabla 1	Resultado de comparaciones múltiples. Diseño de tabla por Alarcón et al., 2022.	**36**
Tabla 2	Resultado de comparaciones múltiples. Diseño de tabla por Alarcón et al., 2022.	**41**

LISTADO DE FIGURAS

		Págs.
Figura 1A,1B,1C	Formas promedio según la clase, el sexo y la clase I, II , III y el sexo. Datos y diseño por Morantes 2022.	**31**
Figura 2A,2B,2C	Análisis Basado en Landmarks, inclinación del cóndilo. Datos y diseño por Morantes 2022.	**33**
Figura 3A,3B,3C	Análisis Discriminante para clasificar la variabilidad de la forma del cóndilo, por sexo y por clase; F: femenino, M: masculino, Clase I, Clase II, Clase III. Datos y diseño por Morantes 2022.	**35**
Figura 4A,4B,4C,4D	Análisis de Fourier Elíptico, Componentes principales (PC) analizados la forma del cóndilo mandibular asociados al sexo, clase I,II,III, sexo y clase I,II,III. Datos y diseño por Morantes 2022.	**37**
Figura5A,5B, 5C.	Valor de predictibilidad para clasificar variabilidad de la forma del cóndilo, por sexo y por clase F: femenino, M: masculino, Clase I, Clase II, Clase III. Datos y diseño por Morantes 2022.	**39**

RESUMEN

EVALUACIÓN MORFOGEOMÉTRICA DE CUELLO Y CÓNDILO MANDIBULAR EN MALOCLUSIONES CLASE I, II, III CON RADIOGRAFÍA DE PERFIL.

Antecedentes: La morfometría geométrica (MG), se caracteriza por su capacidad de evaluación y visualización de los cambios de forma. Su principio se basa en la posición en formato de coordenadas 2D, 3D de puntos de referencia en las estructuras y así obtener contornos comparables. **Objetivo:** Evaluar la morfologia del cuello cóndilo mandibular en pacientes con maloclusion clase I, II y III a través de MG. **Materiales y Métodos:** Se analizó la forma del contorno condilar en radiografias de perfil. La clasificación de la muestra según la maloclusión se realizó mediante el programa FACAD por cefalometría convencional. Las radiografías se obtubieron de pacientes de la Universidad el Bosque que iniciaron tratamiento de ortodoncia, el tamaño de muestra: Hombres n=30 y Mujeres n=30 clasificados: Clase I (n=20) Clase II (n=20) Clase III (n=20), edades promedio 15 y 27 años. Se excluyeron pacientes con tratamientos de rehabilitación oral, hábitos parafuncionales severos o anomalías congénitas adquiridas. Se realizó análisis de contornos por MG sobre radiografías de perfil, se determinó el error de medición, se realizó un análisis exploratorio morfométrico por componentes principales (PC) puntajes de PC, sujetas a análisis de varianza en diseños univariados, multivariados y análisis de funciones discriminantes. **Resultados:** Se realizó calibración inter e intraexaminador para estandarizar la recolección de datos, este estudio esta basado en análisis de Landmarks donde MANOVA reveló en las variables sexo, clase, clase/sexo, no mostraron una forma condilar estadísticamente significativa; el análisis de Fourier ofrece la posibilidad de estudiar formas cercanas con un enfoque de contorno más exacto, MANOVA reveló de acuerdo a la clase, tiene alguna relación con la forma sobre todo en pacientes Clase II, este grupo tiene una morfología más típica entre ellos que el resto de clases. **Conclusiones**: Este estudio observó que la morfología condilar no tiene una relación estadísticamente significativa con relación a las maloclusiones evaluadas según análisis de Landmarks y Fourier; se evidenció que el sexo ni la clase tienen relación con la forma del cóndilo.

Palabras claves: morfometría geométrica, morfología cabeza y cuello condilar, landmarks, maloclusión.

ABSTRACT

GEOMETRIC MORPHOMETRIC EVALUATION OF THE MANDIBULAR CONDYLE AND CONDYLAR NECK IN CLASS I, II, III MALOCCLUSIONS USING LATERAL CEPHALOMETRIC RADIOGRAPH.

Background: Geometric morphometrics (GM) is characterized by its ability to evaluate and visualize changes in shape. Its principle is based on the position of 2D and 3D coordinates of reference points from anatomical structures to obtain comparable contours. **Objective:** To evaluate the morphology of the mandibular condyle neck in patients with class I, II, and III malocclusions through GM. **Materials and Methods:** The shape of the condylar contour in lateral cephalometric radiograph was analyzed. The classification of the sample according to the malocclusion was carried out using the FACAD® software by conventional cephalometric. The radiographs were obtained from patients that initiated orthodontic treatment at Universidad El Bosque. The sample size was Men n=30 and Women n=30, classified as Class I (n=20) Class II (n=20) Class III (n=20). The mean ages were 15 and 27 years old. Patients with oral rehabilitation treatments, severe parafunctional habits or acquired congenital anomalies were excluded. Contour analysis was performed by GM with lateral cephalometric radiographs and the measurement error was determined. An exploratory principal components (PC) morphometric analysis was performed by PC scores, subject to analysis of variance in univariate and multivariate designs and Discriminant function analysis. **Results:** Inter and intra-examiner calibrations were performed to standardize data collection. This study is based on Landmark analysis using MANOVA which shows no statistically significant differences in the condylar shape in the variables of sex, class, and class/sex. Fourier analysis offers the possibility of studying close shapes with a more exact contour approach. Regarding the type of malocclusion, MANOVA showed that there is some relationship with shape, especially with class II patients. This group has a more typical morphology among them than the rest of the classes. **Conclusions:** This study observed that condylar morphology does not have a statistically significant relationship with malocclusion evaluated according to Landmarks and Fourier analysis. It was evidenced that neither sex nor class is related to the shape of the condyle.

Keywords: geometric morphometric, condylar head and condylar neck morphology, landmarks, malocclusion.

1. INTRODUCCIÓN

La forma del cóndilo mandibular en la poblacion ejerce un papel importante en la estabilidad del tratamiento ortodóntico a largo plazo, esto se debe a que el cóndilo mandibular se remodela constantemente por estímulos continuos desde la infancia hasta la edad adulta siendo el centro primario de crecimiento mandibular, es por ello que la forma se puede relacionar con el tipo de maloclusión sagital esquelética.

Esta maloclusión tiene que ver con la posición de la mandíbula con respecto al maxilar o a la relacion de los dientes superiores o inferiores en sentido sagital, teniendo una repercusión en el aparato estomatológico y a su vez en los movimientos mandíbulares que son esenciales en la masticación. La morfometría ha tenido una serie de transformaciones en las últimas 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, realizaba comparaciones entre grupos o poblaciones basándose en el análisis de sus dimensiones lineales y la forma era considerada una cualidad de la estructura, más no se analizaba cuantitativamente; 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 también se buscó relaciones y asociaciones entre ellos, que permitieran explicar las diferencias observadas. (Ibacache *et al*., 2018). Estadísticos como Pearson y Fisher en 1930 desarrollaron métodos de análisis como el coeficiente de correlación, análisis de la varianza y análisis de componentes principales; solo hasta 1993 que Rohlf y Marcus denominaron a este enfoque "Morfometría Geométrica" o "morfometría multivariada", 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." (Marcus, 1990; Rohlf *et al.*, 1993; Adams *et al*., 2004).

Esta investigación busca identificar diferencias morfológicas en la cabeza y el cuello condilar mandibular en las maloclusiones Clase I, II y III, para establecer patrones que ayuden a clasificar y diferenciar individuos, mediante la utilización de Morfometría Geométrica.

2. MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual se presenta en dos etapas. La primera, contempla los conceptos relacionados con el desarrollo craneofacial y la contribución del cóndilo y cuello mandibular en la conformación de los diferentes patrones craneofaciales y las maloclusiones clase I, II y III. La segunda parte, consideró revisar los diferentes conceptos que componen la teoría del método que usaremos para el estudio de estas estructuras y las ventajas de la utilización de la MG de ladmarks y contornos frente a la Morfometría clásica

2.1 El desarrollo craneofacial

El desarrollo de la región craneofacial es un proceso continuo, individual, regulado por factores genéticos y funcionales; durante el periodo embrionario desde la cuarta hasta la octava semana de desarrollo, cada una de las capas germinativas (ectodermo, mesodermo y endodermo) da lugar a los tejidos y sistemas orgánicos mediante un proceso denominado organogénesis (Moss, 1972). (Szabo et al., 2010; Peláez et al., 2018)

Proceso en la cual ocurre la formación de los huesos del cráneo y la cara a partir de los arcos branquiales y un gran número de células de la cresta neural que emigran hacia ellos, para constituir los componentes esqueléticos de la cara; además cada arco posee un componente muscular, un componente arterial y un componente nervioso (Moss, 1972).

La formación del cráneo depende de una sincronización temporo- espacial de varios procesos, como son la proliferación, diferenciación y maduración, que se dan de forma constante y simultánea, lo que deriva en diferentes sucesos hasta la finalización de la organogénesis del cráneo, el cual se divide en dos partes: el neurocráneo, que forma la cubierta protectora para el encéfalo, y el viscerocráneo, que constituye el esqueleto de la cara. (Carlson et al., 2011)

El viscerocráneo se origina a partir del cartílago de los dos primeros arcos branquiales de modo que el cartílago del primer arco branquial da origen al esqueleto facial y a la mandíbula y el cartílago del segundo arco branquial da origen al estribo, la apófisis estiloides del hueso temporal y al hueso hioides. (Dixon et al., 2017)

El proceso frontonasal es una estructura destacada en las primeras fases del desarrollo facial, en donde mediante la interacción e información previa que reciben los tejidos dará lugar a diferentes

prominencias faciales, que se desarrollaran de forma simultanea con los procesos maxilares y mandibulares. (Dixon et al., 2017)

Cuando el embrión tiene cuatro a cinco semanas de desarrollo se distingue en el cartílago del primer arco branquial una porción dorsal, denominada proceso maxilar que se extiende hacia delante y por debajo de la región ocular, y una porción ventral denominada proceso mandibular o cartílago de Meckel; este cartílago se condensa y su osificación es intramembranosa, da origen a la mandíbula.

En cuanto al crecimiento del tercio medio facial ha sido estudiado por diferentes investigadores, denominándolo un comparador de entrada ya que dependiendo de su ubicación y desarrollo, la mandíbula crecerá, se desplazara y rotará en función de este; cabe resaltar que el crecimiento del cartílago del tabique nasal es importante en el control del crecimiento facial horizontal y vertical, y de esta forma el crecimiento facial está direccionado hacia adelante y hacia abajo. La morfología del Tercio Medio Facial puede estar influida por anomalías del desarrollo que pueden conducir a un aumento o retardo de su crecimiento; como la fisura y hendidura de labio y paladar; Es fundamental tener presente que el conocimiento de los componentes anatómicos de la cara y su proceso de crecimiento influyen en la identificación de los problemas de nuestros pacientes y el enfoque del tratamiento a seguir. (Carlson et al., 2011; Petrovic et al., 1986; Inoue, 2002)

Por su parte la mandíbula, es uno de los componentes del complejo craneofacial que representa el máximo potencial de crecimiento postnatal; presenta dos tipos de crecimiento: cartilaginoso, presente en las zonas del cóndilo mandibular, la sínfisis mandibular y el remodelamiento periostal-endostal en el angulo goniaco, apofisis coronoides y las apofisis dentoalveolares, ya que cambia el tamaño y la forma tanto el cuerpo como de la rama mandibular a lo largo del desarrollo. (Bjork, 1968).

Entre los módulos que explican el cambio de la mandíbula en forma y tamaño, están el ángulo goniaco, apófisis coronoides, sínfisis y el cóndilo; cada uno de estos módulos funcionales está influenciado en su patrón de crecimiento por una matriz funcional que actúa sobre el hueso: los dientes actúan como matriz funcional de la unidad alveolar; la acción de los músculos temporales influencia el proceso coronoides; los músculos maseteros y pterigoideo medio actúan sobre el

ángulo y la rama de la mandíbula; el pterigoideo lateral y el tejido ligamentoso retrocondíleo tienen influencia sobre el proceso condilar. (Bjork, 1968; Montenegro et al., 2007; Moss, 1969; Sicher, 1947).

El cóndilo mandibular es un cartílago secundario que se desarrolla independientemente del cartílago de Meckel; es esencial para la función articular de la ATM y los movimientos de la mandíbula; su crecimiento tiende a reaccionar ante la información de entrada en gran medida por estímulos mecánicos funcionales y hormonales tanto en el periodo de desarrollo como durante el crecimiento; no está rodeado por una matriz cartilaginosa, por lo tanto los factores locales pueden modificar su comportamiento; tanto en velocidad como en la cantidad de crecimiento de dicho cartílago. (Moss et al., 1972 ; Carlson et al., 2011 ; Petrovic et al., 1986)

El crecimiento del cartílago condilar puede actuar como una matriz funcional que tensiona el periostio y lo induce al alargamiento y la consiguiente formación ósea intramembranosa inferior. La formación de hueso dentro de la cabeza condilar causa que la rama mandibular crezca hacia arriba y hacia atrás desplazando toda la mandíbula en una dirección opuesta, hacia adelante y hacia abajo. (Peláez et al., 2018; Carlson et al., 2011; Inoue 2002; Sicher, 1947)

El cóndilo mandibular es considerado por varios investigadores (Bjork 1968, Petrovic 1986, Inoue 2002) el principal factor de crecimiento de la mandíbula por su influencia genética y su importancia en el tamaño mandibular, brinda un crecimiento adaptativo regional; investigaciones clínicas determinaron que el crecimiento craneofacial tiene una adaptación primaria con el componente dental y una adaptación secundaria en suturas y cartílago condilar; por lo tanto el cóndilo mandibular es un centro de crecimiento que aumenta su respuesta a alteraciones de oclusión y adaptación permanente. (Moss et al., 1972; Carlson et al., 2011; Petrovic et al., 1986; Bjork, 1968; Montenegro et al., 2007)

Es de suma importancia poseer amplio conocimiento sobre el crecimiento y desarrollo craneofacial, ya que a partir de éste, se identifican las circunstancias que alteran la relación armónica de los componentes estructurales de la cara y del cráneo. Con base a la obtención y análisis de los modelos dentarios, cefalométricos, radiografías ortopantomográficas y actualmente análisis de MG, se determina el diagnóstico de las maloclusiones dentarias y las

alteraciones esqueléticas de los maxilares, otorgando la consideración científica objetiva, para proporcionar la atención y tratamiento especializado.

2.2 Métodos de estudio

En la planificación del tratamiento en pacientes con determinadas maloclusiones es fundamental tener en cuenta las estructuras esqueléticas en dirección anteroposterior, vertical y transversal. La técnica de cefalometría convencional utiliza una combinación de medidas lineales o angulares de acuerdo a las mediciones realizadas, sin embargo esta técnica puede tener limitantes por la falta de descripción detallada de la morfología craneofacial, además se debe evaluar la claridad de la radiografía desde varios puntos de vista: posición, toma y revelado adicional de otros factores como la nitidez, claridad y contraste. Todas estas desventajas se pueden superar los métodos de Morfometría Geométrica "MG", estos métodos utilizan coordenadas cartesianas de puntos de referencia o landmarks. En un estudio para evaluar el papel de la forma craneofacial en la maloclusión se utilizó el método de MG. Fueron incluidos 88 individuos caucásicos sin tratamiento de ortodoncia en un rango de edad entre los 7 y 39 años; asignados en 4 grupos según la oclusión, en conclusión; el estudio determinó que la forma craneofacial está relacionada con la maloclusión dental, mostrando variaciones específicas. La MG puede considerarse como una herramienta de gran utilidad para el diagnóstico de la maloclusión individual. (Freudenthaler et al., 2017)

2.1.3 Análisis Morfométrico

Se define Morfometría Geométrica a la fusión entre la geometría y la biología, se refiere al estudio de la forma en un espacio bi o tridimensional (Bookstein 1982) de esta manera se puede investigar en profundidad los cambios morfológicos.

Podemos afirmar, que esta técnica crea muchas expectativas positivas en el campo de estudio de estructuras biológicas a partir de un cambio rotundo en la aproximación al tamaño y la forma de dichas estructuras (Brachetta et al., 2016)

La MG plantea estudiar cambios en el tamaño y la forma a partir del desplazamiento en el plano (2D) o en el espacio (3D) de un conjunto de puntos morfométricos o landmarks; que se definen como caracteres de referencia anatómica y se conservan a lo largo de todo el análisis, esto nos

permite reconstruir con exactitud la forma y el tamaño de las estructuras estudiadas. Dentro de los objetivos principales tenemos:

- Cuantificar la estructura morfológica de los organismos
- Presentar y explicar los resultados de estos análisis. (Hutchinson, et al., 2014)

Todo esto permite que haya una aproximación minuciosa y potente al estudio de la variación de la forma de dichas estructuras (Brachetta et al., 2016)

La MG utiliza técnicas biométricas ,instrumentos y paquetes de software que permiten la recolección y análisis en forma de matrices de morfocoordenadas, que representa la geometría del objeto de estudio y no se limitan a datos lineales que pueden presentar resultados sin precisión. (Brachetta et al., 2016; Enlow et al., 1965)

La geometría de la estructura se puede capturar mediante contornos o landmarks; lo que conlleva o dos métodos diferentes de análisis pero que siguen la misma secuencia para obtener la información requerida sobre forma y tamaño de la estructura en estudio estas son:

a) Obtención de datos.

b) Obtención de la información que describe la forma pura.

c) Análisis exploratorios y confirmatorios de la covariación de la forma. (Brachetta et al., 2016)

2.4 Coordenadas de landmarks.

Se refiere a coordenadas cartesianas que localizan la posición de cada landmark, en el plano (x, y) o en el espacio (x, y, z) con respecto a un sistema de ejes.

Estas se representan en forma de una matriz kxp, donde habrá algunas columnas como dimensiones (k=2 o k=3) y filas según los landmarks que se hayan registrado (Toro et al., 2010).

Estas coordenadas no son comparables a menos que sean transformadas de algún modo. Es decir, los datos en forma de coordenadas sin procesar dependen de la orientación,

tamaño, y desplazamiento del objeto y antes del análisis de la forma se debe eliminar estos factores.

La Morfometría, abarca el estudio cuantitativo de la forma, en la mayoría de estudios de MG, cuando nos referimos a la forma de un objeto podemos decir que se descompone en tamaño y en forma propiamente dicha (en inglés, form significa size + shape), cabe recalcar que no hay una traducción precisa para dicha palabra shape en español por lo que manejaremos la palabra conformación.

Se define conformación a la configuración de los landmarks, y los análisis posteriores se realizan sobre estas conformaciones completas. (Díaz et al., 2014)

Mencionaremos que la forma (shape) se refiere a toda la información geométrica que permanece una vez eliminados del objeto los efectos de traslación, rotación y escala (Bookstein 1991, Dryden y Mardia 1998)

Al momento de ubicar los landmarks en las estructuras anatómicas se producen ciertas diferencias entre las mismas que se deben a la orientación espacial de dichas estructuras.

Actualmente no existe una definición precisa de tamaño, en la mayoría de los análisis, el tamaño está representado por una sola medida. Ninguno de estos modos de medir el tamaño es intrínsecamente mejor que otro, pero la elección del tipo de medida es de suma importancia para obtener resultados relevantes según el análisis utilizado (Richtsmeier et al. 2002).

Kendall (1984) sugiere la escala como uno de los efectos que debe ser removido para extraer diferencias en la conformación entre dos configuraciones. La implicación de esta afirmación es que la escala proporciona una definición de tamaño que es independiente de la definición de conformación (Chang Chen et al.2006; Toro et al., 2010)

Siendo así que en MG, el evaluador de tamaño es el centroid size (cs), es igual a la raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado desde un conjunto de landmarks al centroide que ellos definen, de la misma manera, la raíz cuadrada de la suma de las varianzas de los landmarks alrededor del centroide en las direcciones x e y (Bookstein 1990, 1991). Es decir que el (cs) es la medida de tamaño que se usa para escalar una configuración de landmarks de tal forma que puedan ser proyectados como un punto en el espacio. (Díaz et al., 2014; Toro et al., 2010)

Cuando hemos obtenido todas las conformaciones del estudio debemos someterlas a un análisis generalizado de Procustes (AGP), este método contiene procedimientos que ayudan a la

obtención de configuraciones promedio y es utilizado en MG bajo el siguiente protocolo: se lo construye de la siguiente manera (Toro et al., 2010):

1. Obtención de los datos primarios, en forma de matrices de morfo coordenadas a partir Landmarks que posteriormente son sometidos a análisis.
2. Obtención de la información de tamaño de centroide: como habíamos mencionado es el estimador utilizado de tamaño, permite comparar los tamaños craneofaciales, maxilares, mandibulares, etc, en una muestra poblacional. (Toro et al., 2010)
3. Análisis exploratorios y confirmatorios de covariación de la forma y factores causales: las morfocoordenadas permiten probar las diferencias entre formas promedio, probar el grado de correlación y covariación de la forma con el tamaño, covariación de la forma con factores externos, la covariación entre formas distintas a través del análisis de mínimos cuadrados (Rohlf & Corti, 2000)

2.5 Landmarks Anatómicos

La manera de capturar la geometría, es mediante puntos morfométricos o landmarks, los cuales no son dimensiones lineales, sino coordenadas, lo que nos facilita a deducir la forma de las estructuras, estudiarlas y compararlas a través de métodos apropiados para describir y analizar diferencias (Brachetta et al., 2016; Enlow et al., 1965)

Siendo específicos un landmark es un punto en un espacio bi o tridimensional que corresponde a la posición de un rasgo en particular en un objeto, la elección de los landmarks o puntos morfométricos dependerá de la pregunta biológica que se desea responder. Siendo así, los landmarks pueden ser puntos precisos en el objeto que muestren algún significado filogenético, estructural, funcional o de desarrollo (Lele y Richtsmeier 2001).

Cuando capturamos la geometría de la estructura mediante landmarks debemos tener en cuenta que estos son puntos matemáticos que son los encargados no solo de capturar la geometría del objeto de estudio sino que además describen su posición en un espacio bidimensional o tridimensional . (Brachetta et al., 2016)

2.5.1 Tipos de Landmarks.

Se conocen tres tipos de landmarks, que mencionaremos a continuación:

Landmarks de tipo I, tradicionales o anatómicos:

Son puntos matemáticos donde la homología de un individuo a otro es respaldada por una sólida evidencia biológica, como un patrón local de aproximación de tejidos o por la intersección de suturas craneanas

Lele y Richtsmeier (2001) reconocen dentro de esta categoría dos subtipos de landmarks: aquellos cuya definición no depende de un sistema de coordenadas y aquellos cuya definición está sujeta a una orientación particular o a un sistema de coordenadas. (Brachetta et al., 2016) (Díaz et al., 2014)

Landmarks de tipo II, fuzzy o matemáticos:

Son puntos matemáticos donde la homología de un individuo a otro es respaldada únicamente por la geometría y no por evidencia anatómica.

Lele y Richtsmeier (2001) llaman fuzzy landmarks a aquellos puntos que son definidos por una estructura biológica que está en una región determinada pero que ocupa un área que es mayor a dicho punto (Brachetta et al., 2016; Díaz et al., 2014)

Landmarks de tipo III, construidos o pseudo-landmarks:

Definición propuesta por Lele y Richstemeier (2001, “construidos”) y Dryden y Mardia (1998, “pseudo-landmarks”) se refieren a puntos localizados en cualquier lugar a lo largo de un contorno o entre dos landmarks anatómicos o matemáticos. Por lo genera existen superficies de interés en las que no se pueden localizar landmarks tradicionales; ahí los landmarks pueden ser construidos, se puede construir un landmark usando la ubicación de dos landmarks tradicionales y conectando estos puntos por una curva ajustada al contorno. De esta manera, uno o varios puntos intermedios sobre dicha curva representan landmarks construidos o pseudo-landmarks (Brachetta et al., 2016; Toro et al., 2010; Castro, 2013).

Bookstein (1991), denomina landmarks de tipo III cuando poseen al menos una coordenada deficiente, se pueden localizar sobre superficies amplias o en el extremo de una estructura, por lo que puede presentar un intervalo marcado de variación en todos los ejes.

2.6 Análisis Generalizado de Procusto (AGP)

Este análisis se refiere a una serie de procedimientos que tienen el objetivo de obtener configuraciones promedio o de consenso a partir de la sobreexposición de matrices de datos 2D o 3D, de las que se capturan sus valores residuales mediante el método de mínimos cuadrados. (Brachetta et al., 2016; Toro et al., 2010)

Iniciamos con un registro de datos primarios en forma de matrices de morfocoordenadas a partir de landmarks anatómicos que recopilan la información espacial de dos o 3 dimensiones de los objetos biológicos. Posteriormente se obtiene un estimador de tamaño geométrico, el siguiente paso es la remoción de las diferencias debidas a escala, rotación, y traslación recuperando la información espacial en las estructuras a comparar y finalmente se registra la variación de la forma mediante la superposición de landmarks homologos. (Toro et al., 2010; Wellens, 2013)

2.7 Análisis de componentes principales

Cuando nos referimos al análisis de componentes principales (ACP) mencionamos que describe las variaciones de los individuos en un conjunto de datos, indicando las tendencias de cambio (Manly, 1994). Al usar las coordenadas de forma como variable morfológica, también se llama análisis de deformaciones relativas o “relative warp analysis” (Bookstein, 1991; Rohlf, 1993). Este análisis reduce las variaciones del conjunto de datos a un número de componentes que dan cuenta de distintos porcentajes de varianza en orden

decreciente, esto permite explorar los principales ejes de variación y reducir la dimensionalidad de los datos; de esta manera se puede describir la diversidad de formas de una muestra, reconociendo las principales variaciones morfológicas (Hutchinson, et al., 2014). Cada individuo tiene variaciones que son evaluadas a partir de la forma promedio, en MG siempre se utiliza la matriz de covarianza para efectuar el ACP [Mitteroecker, P., & Gunz, P, L. 2009].

2.8 Análisis de elipses de Fourier: Análisis elíptico de Fourier (AFE) (Kuhl y Giardina 1982)

Los orígenes del análisis de Fourier es una herramienta matemática que permite representar una función periódica como la sumatoria infinita de senos y cosenos, es decir es una herramienta poderosa, que se puede emplear en el tratamiento de imágenes, para mejorar su contenido o resaltar alguna información presente, lo que se consigue es un cambio de dominio, cambiando el paso de la información contenida en una señal del dominio temporal, o espacial, al de la frecuencia y viceversa, de modo que permita mejorar el análisis de dicha señal. [Toro, M., & Manrrique, G. 2010]. Este análisis no se basa en cada punto sino en toda la curva asociándose a elipses y realizando un análisis más completo del contorno. Para algunos estudios este análisis es matemáticamente más exacto y por lo tanto los resultados son más confiables. Con respecto al proceso primero se hace un procruster, luego un PCA, se puede decir que solo gráficamente son un poco diferentes, en cuanto a las formas.

En cuanto a los resultados las formas se acercan más a una elipse o a un círculo y ese círculo se va deformando de diferentes maneras a cada lado del componente principal. Cada individuo se ubica en un punto de acuerdo a lo más parecido que tiene su forma de cóndilo con respecto a estas elipses que nos genera el análisis, se podría decir que este análisis es un poco más abstracto, pero en cuanto a la agrupación proporciona mayor exactitud.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Durante el crecimiento, la mandíbula y el cóndilo experimentan cambios para producir los cambios de crecimiento tridimensional requeridos, su desarrollo está influenciado por la erupción dental, el desarrollo del cráneo y las fuerzas masticatorias, los principales factores sistémicos asociados son: la edad, el sexo, la calidad ósea, los niveles hormonales del metabolismo óseo y el nivel de calcio. (Remy et al., 2019)

El método más utilizado para explorar las variaciones de forma de una estructura anatómica, independientemente de las variaciones de tamaño, es la morfometría geométrica; que actualmente se ha convertido en una importante herramienta de ayuda tanto en el diagnóstico como en el pronóstico, ya que permite visualizar su contexto anatómico, y así proporcionar un seguimiento individualizado de la condición de cada paciente, es decir facilita tener un estudio cuantitativo más preciso y cómodo de las diferentes estructuras anatómicas; esto se realiza con la ayuda de los diferentes software que han sido desarrollados para este propósito.

La MG proporciona una amplia gama de aplicaciones en los campos de la biología, genética, filogenia, antropología y actualmente ortodoncia; para llevarlo a cabo se realiza mediciones indirectas con el uso de radiografías panorámicas o laterales; a diferencia de otros métodos este consigue una aproximación del tamaño y la forma en un espacio bidimensional; también se usa imágenes de tomografía computarizada dental que permite evaluar en 3D la morfología mandibular y condilar. (Pérez et al., 2019)

Actualmente no existen estudios sobre el tema a tratar o a su vez los estudios revisados están incompletos o generan controversia; Este trabajo es la segunda fase de una línea de investigación donde el tema que abordaron fue análisis morfogeométrico 2D de las variaciones morfológicas mandibulares en maloclusiones esqueléticas I, II y III, en la Universidad El Bosque.

El presente estudio abordará el problema de la variación morfológica del cuello y cóndilo mandibular en las maloclusiones esqueléticas de Clases I, II y III con este método de MG; los análisis se orientarán a dar respuesta a la pregunta de investigación planteada y de esta manera

explorar la posibilidad de discriminar, a partir de la conformación, individuos con maloclusiones Clases I, II y III.

3.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿La morfología del cuello y cóndilo influye en la conformación de las maloclusiones

Clase I, II y III?

4. JUSTIFICACIÓN

En un estudio realizado entre 1930 y 1965 se encontró una prevalencia de maloclusión es entre el 35% y 95%. En otro estudio realizado en niños de 9 a 12 años de edad presentaban maloclusiones en el 74% de los casos, siendo la más frecuente la Clase I con 56,1%, seguida de la Clase II con 25% y Clase III con 18,9%. (Wellens, 2013). Igualmente, en otro estudio se analizó 675 adolescentes con una edad comprendida entre 15-20 años de edad, en el que se determinó que la Clase de Angle I fue la más frecuente con un 73%, un 13% de Clase II y 10% de Clase III. (Bastir, 2006)

Así mismo la Organización Mundial de la Salud (OMS) llevo a cabo una escala de prioridades en cuanto a los problemas de salud bucal a nivel global, en donde la maloclusión se situaba en la tercera posición, superada por la caries dental y las periodontopatías. (Singh et al., 1997)

Algunos estudios concluyen que los métodos convencionales pueden ser insuficientes para el análisis de los cambios de tamaño y forma de estructuras anatómicas complejas como la mandíbula y de los componentes craneofaciales. (Cocos et al, 2017)

Es importante el diagnóstico temprano de las alteraciones y la aplicación de los diferentes métodos diagnósticos como la MG ya que permite la descripción de los componentes craneofaciales, apoyando la detección y el diagnóstico temprano para determinar el tratamiento de alteraciones cráneofaciales. En algunos estudios científicos se aplica esta herramienta de análisis, en relación con el crecimiento y desarrollo cráneo facial; con las diferentes investigaciones en la predicción de la forma facial, por medio de MG podemos brindar la caracterización y cuantificación rigurosa de la variación morfológica con estructura de covarianza, para la creación de patrones con alta capacidad de clasificación de nuevos individuos.

5. SITUACIÓN ACTUAL

Halazonetis (2004) utilizó métodos morfométricos aplicándolos a la ortodoncia; el estudio tuvo 150 individuos y se usó análisis generalizado de procrustes, análisis de componentes principales y al análisis cefalométrico. Se reportó ventajas del método de morfometría geometría para 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 *Landmarks,* permitir la evaluación más fácil del grado de variación con respecto al promedio; concluyendo que los métodos morfométricos pueden proporcionar un complemento exacto para evaluar el patrón esquelético

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 usaron 272 radiografías laterales de cráneo (140 hombres/132 mujeres) de individuos colombianos entre 17 y 25 años, como resultado determinaron que en la estructura craneofacial general hubo diferencias conformacionales y una capacidad de buena clasificación en las 3 clases 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.

Josef Freudenthaler et al., (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, distoclusión, mesioclusión y mordida abierta anterior, posteriormente usaron 66 landmarks , se sometieron a un análisis de procustes 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.

Sella Tanya et al., (2018) realizaron un estudio para obtener una mayor comprensión de las asociaciones entre las fuerzas musculares y la morfología mandibular a través de morfometría geométrica usando tomografías computarizadas para obtener mejores registros. Se incluyeron 382 personas con tomografías entre los años 2000 y 2012, evaluaron las formas mandibulares utilizando morfometría geométrica, encontraron que la forma mandibular varía hasta cierto punto en función de las fuerzas que le aplican los músculos temporal y masetero, se descubrió una asociación significativa entre la forma mandibular y muscular, es decir los musculos más grandes se asocian con una rama trapezoidal más ancha, la apófisis coronoides más pronunciada, un cuerpo más rectangular y un arco basal más curvo. En conclusión, este estudio demuestra una asociación entre la fuerza del músculo mandibular y la forma mandibular, que no se identifica tan fácilmente a partir de mediciones lineales.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

- Evaluar la morfología de cuello y cóndilo mandibular en maloclusiones clase I, II y III en radiografía de perfil, a través morfometría geométrica.

6.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las diferencias en tamaño y conformación de cuello y cóndilo mandibular.
- Determinar si existe asociaciones entre morfología del cóndilo y cuello mandibular en la conformación de maloclusiones clase I, II, III.
- Clasificar de acuerdo a los resultados, nuevos individuos dentro de los grupos conformados establecidos para Clase I, II y III.

7 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

7.1 TIPO DE ESTUDIO

Estudio descriptivo observacional retrospectivo

7.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La muestra se obtuvo a partir de radiografías laterales de perfil provenientes de pacientes de la clínica odontológica de la Universidad el Bosque que iniciaron tratamiento de ortodoncia, el tamaño de la muestra total de individuos fueron 60 pacientes (Hombres n=30) y (Mujeres n=30) clasificados en: Pacientes Clase I (n=: 20) Pacientes Clase II (n= 20) Pacientes Clase III (n=:20) con edades comprendidas entre 15 y 27 años.

Criterios de inclusión.

Entre los criterios de inclusión tenemos:

- Pacientes clase I, clase II y clase III diagnosticados clínica y radiográficamente, que no hayan tenido ortodoncia u ortopedia correctiva.
- Pacientes con dentición completa permanente y cierres apicales completos.
- Pacientes sin anomalías craneofaciales.
- Edades comprendidas entre los 15 a 27 años.
- Pacientes a los que se les haya aplicado un consentimiento informado.

Criterios de exclusión.

Entre los criterios de exclusión:

- Pacientes que hayan sido intervenidos con tratamientos de rehabilitación oral.
- Pacientes con hábitos parafuncionales severos.
- Pacientes con anomalías congénitas adquiridas.

7.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Toma muestras radiografías

Se utilizaron las radiografías laterales de cráneo solicitadas en el posgrado de ortodoncia, para el diagnóstico de la maloclusión de los pacientes que son atendidos en las clínicas odontológicas de la Universidad El Bosque, cumpliendo con los siguientes requisitos: posición natural de cabeza y oclusión habitual, la utilización de testigo métrico, para la obtención de las imágenes 100% (1:1); para la toma de estas radiografías utilizó un equipo estandarizado J morita modelo x550 J.

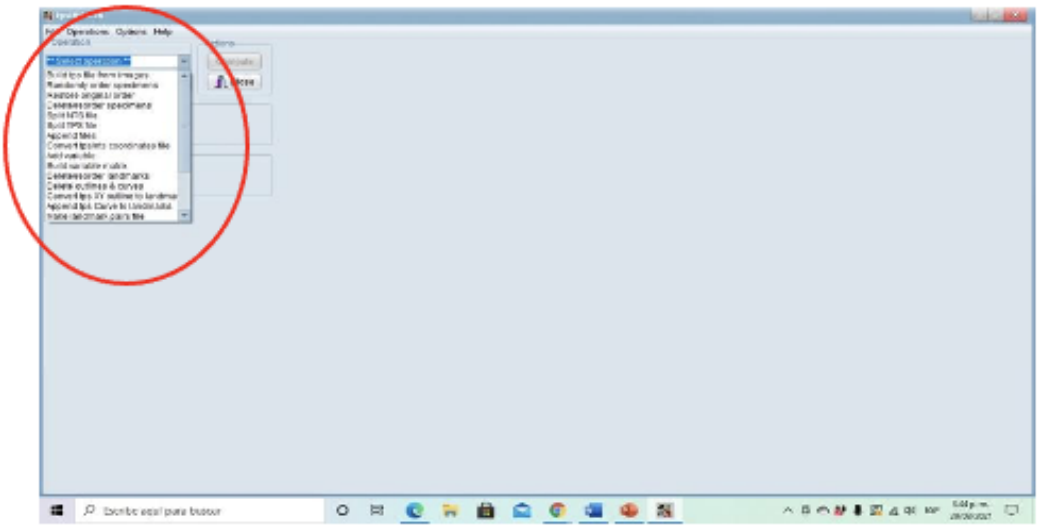
La clasificación de la muestra de maloclusión clase I, II y III fue realizada través de cefalometría convencional y se utilizó el programa FACAD; el mismo que permite la clasificación a partir de las mediciones del ángulo ANB.

PARAMETROS PARA ESTANDARIZACIÓN DEL PROGRAMA TPSUTIL Y TPSDIG2.

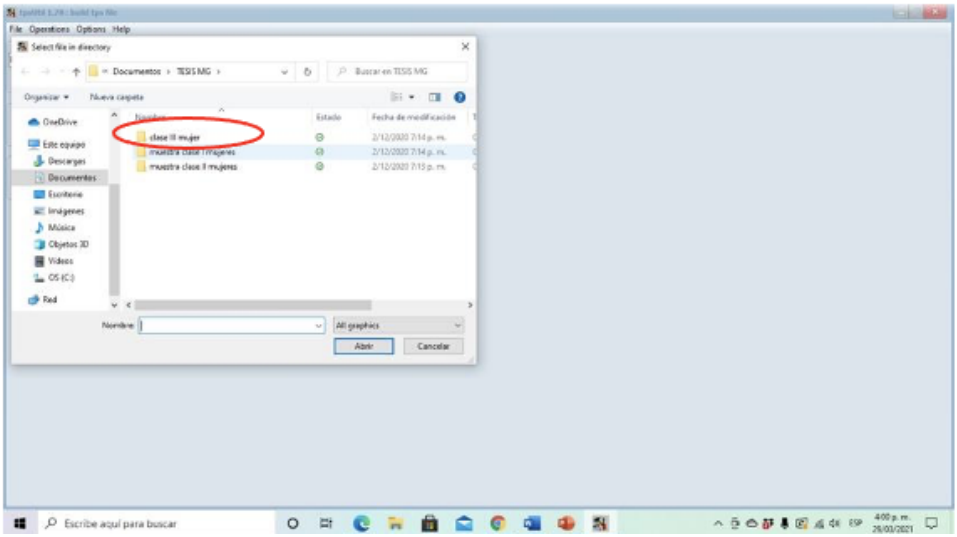
Para tener una idea global de los cambios en la forma se usó el programa TPS inglés «thin plate spline», que permite representar cambios entre una forma y otra, como deformación continua y se basa en la metáfora de una placa de metal infinitamente delgada donde se encuentra localizada una configuración de hitos. Como resultado, la placa "blanco" se deforma, lo que ocurrirá en mayor medida si las formas comparadas son muy distintas.

Algunos programas, como TPS otorgan la posibilidad de realizar análisis diferenciados de los dos componentes. Los números que describen los cambios morfológicos corresponden a los partial «warps scores». Los «partial warps» son los valores principales de la matriz de energía de torsión, por lo que los «partial warps» scores son valores expresados en los ejes X e Y.

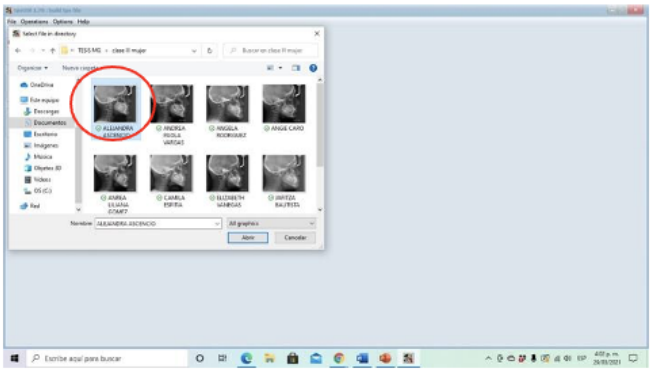
Siguiendo estos parámetros se instaló dos programas libres del sitio morfometría de Rohlf (http://life.bio.sunysb.edu/morph/), TpsUtil y TpsDig2, la primera herramienta utilizada para a detallar fue **TpsUtil** fueron creados los archivos de trabajo.

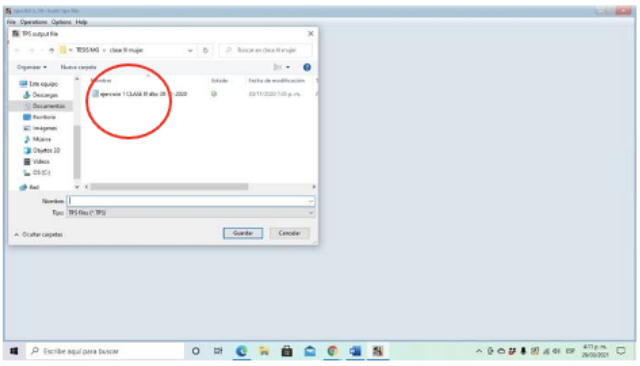


Se usó la primera opción que es construcción de filas desde imágenes, posterior se construyó la morfología se cada paciente, luego se seleccionó la opción **Input directory** que permite el acceso a la muestra según la clasificación que se estudió.

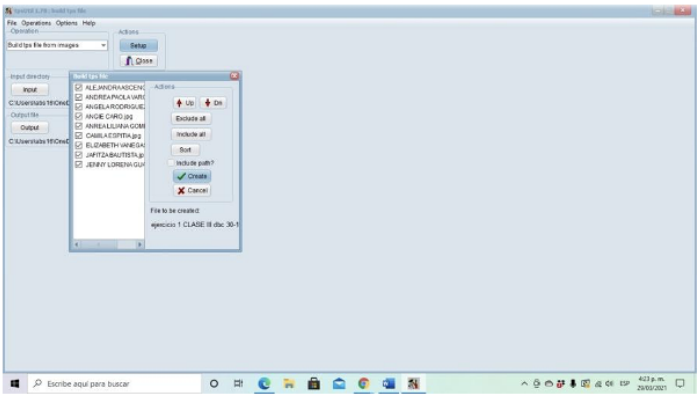


Se seleccionó cada espécimen, con un total de diez por cada grupo de maloclusión según el género y se seleccionó **abrir.**

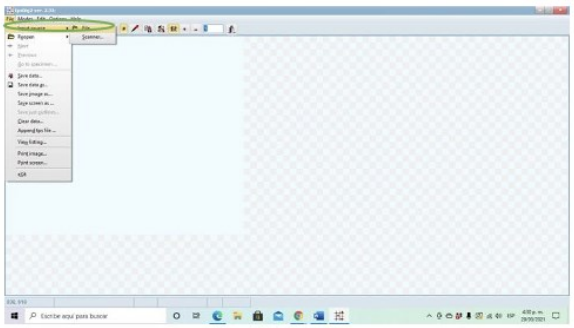


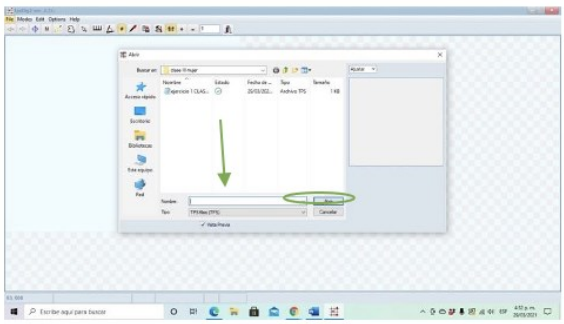


Se le dió un nombre a la información que se formó como una construcción de filas Tps y se seleccionó **output,** a continuación se oprimió **Septup** para revisar los datos guardados, incluir o excluir especímenes y por último **crear.**



Consecutivamente se describió el programa TpsDig2 que permitió traer el archivo llamado Input source y seleccionar File.

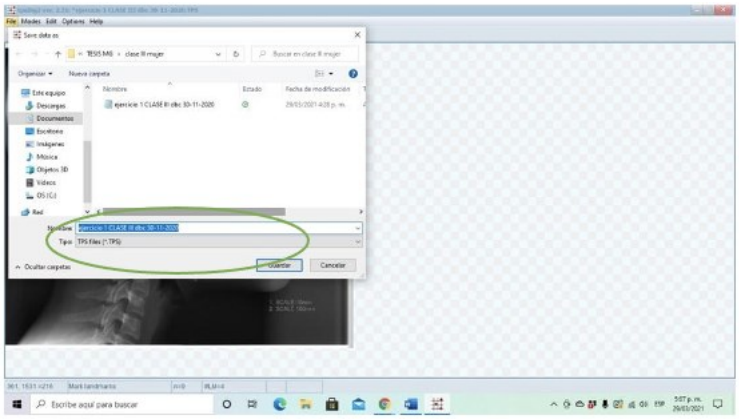




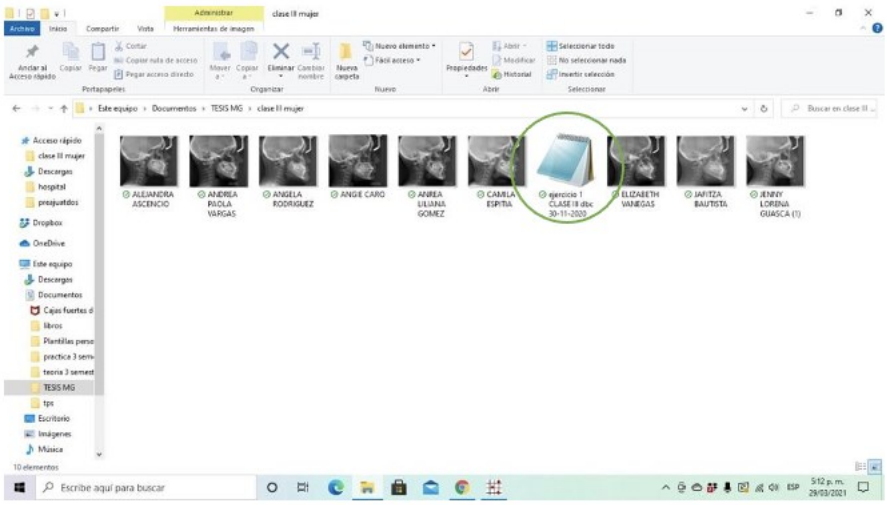
Apareció una imagen con el espécimen número uno, se digitalizo cada punto anatómico en un orden previamente establecido por el equipo de trabajo.

Se realizó el ejercicio, se debía contar con buena luz del computador, el ambiente donde se realizó estaba oscuro, de esta manera permitió que hubiera una prueba de respetabilidad mucho mejor.

Para que la digitalización de la muestra fuera coherente, se respetó el orden de la digitalización con una revisión estricta al finalizar cada grupo. Se continuaba con el siguiente espécimen y se repitió el mismo proceso respetando el orden establecido hasta culminar todos los especímenes, finalmente se seleccionó **save data as** y guardar en Tps files (*TPS).



Para finalizar se buscó el ejercicio y se abrió con **bloc de notas**, automáticamente apareció un archivo con el número de landmarks y el respectivo número de identificación.

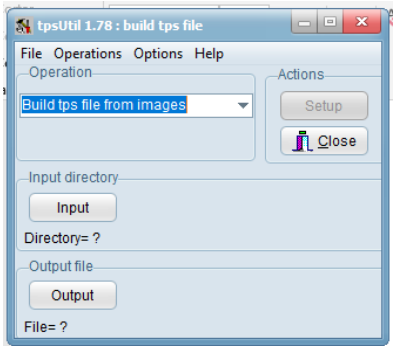


PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN INTER-EXAMINADOR.

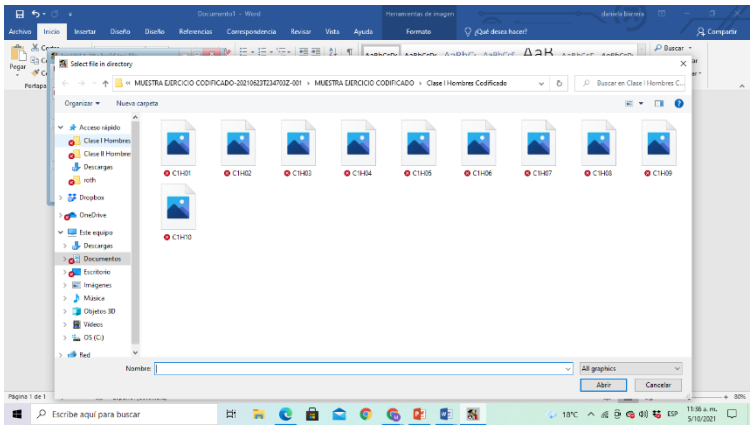
Se realizó la calibración inter e intra-observador con las 60 radiografias de perfil con los individuos de la muestra que cumplieron los criterios de inclusión. Se analizaron un total de 60 cóndilos, para llevar a cabo este proceso se diseñó un protocolo operacional previamente programado.

La prueba inter-observador se realizó entre la experta ortodoncista Sonia Guevara (directora del proyecto), Daniela Barrera y Pamela Alarcón (investigadoras principales, estudiantes de posgrado). Cada estudiante analizó la forma del cóndilo de manera individual y fueron comparadas entre sí. Para la prueba intra-observador se evaluaron los cóndilos de cada individuo en dos momentos diferentes con una semana de intervalo.

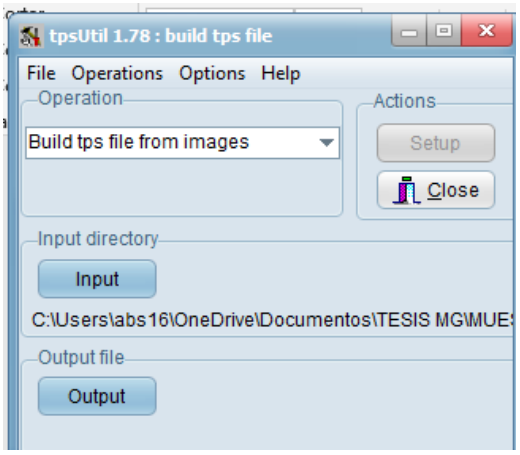
Se creó carpetas de repetibilidad uno y dos ingresando al programa TpsUtil, en operaciones seleccionamos el item **Build tps file from images**.

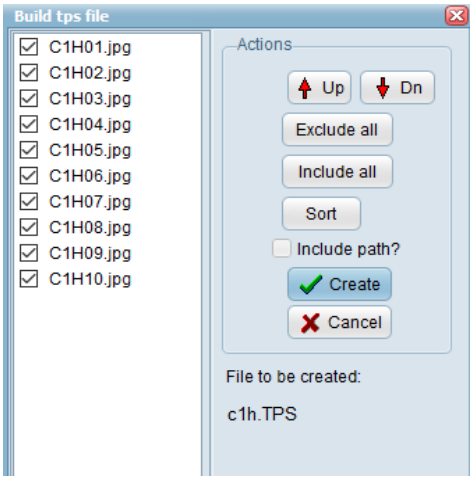


Luego se seleccionó **Input** carpeta de la primera muestra es decir los pacientes Hombres Clase I, se seleccionó una imagen y **Abrir.**

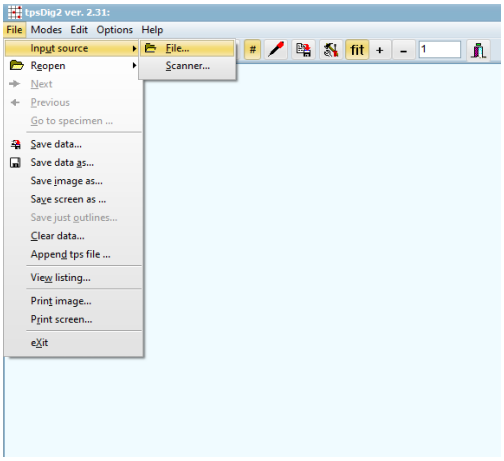


Posteriormente se escogió **Output** seleccionando la carpeta que previamente se había creado **Guardar,** posteriormente **Setup** y en la barra de opciones **Create**.

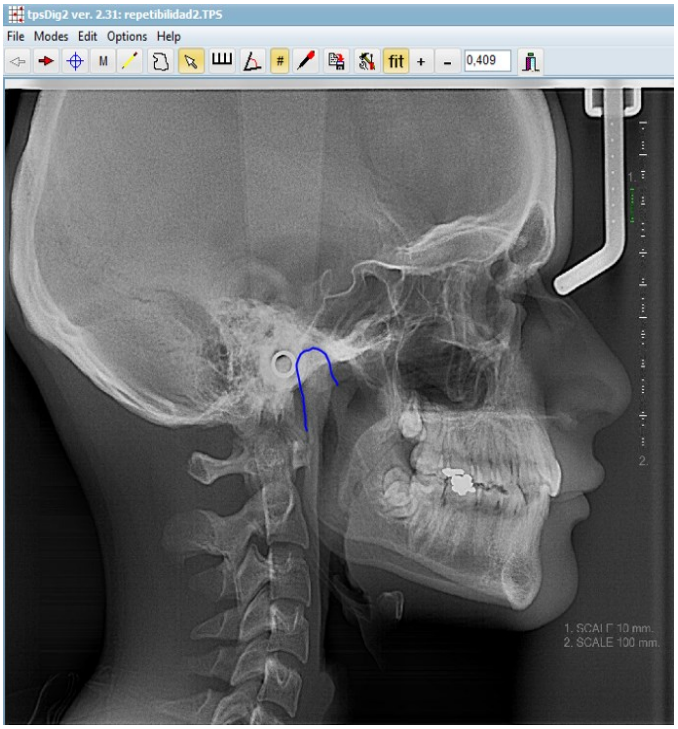




Esto se realizó para cada grupo Clase I, Clase II y Clase III y con cada sexo, una vez creadas las carpetas de cada grupo; seguidamente se usó el programa **TpsDig2** y se procedió de la siguiente manera; En la barra de opciones seleccionamos **File** se seleccionó **Input source** y nuevamente **File** con la respectiva carpeta Clase I, II, III. Se inició siempre en orden por el primer espécimen, teniendo en cuenta diversas características.



Las coordenadas de treinta puntos de referencia del cóndilo mandibular, se seleccionaron y digitalizaron para el análisis de morfometría geométrica. Los parámetros evaluados fueron: INICIAL en la intersección de la pared faríngea posterior y la escotadura sigmoidea, si no se viasualizó esta intersección se proyectó hacia el límite superior, desde la pared posterior faríngea. FINAL en la intersección del cuerpo de la primera vertebra cervical con el cuello mandibular, sino se visualizó esta intersección se proyectó la parte más superior del cuerpo del atlas hacia la parte anterior, sin olvidar verificar los 30 puntos Landmarks bien distribuidos.



Consecuentemente los primeros registros no fueron los deseados, ya que la repetibilidad fue muy baja. Resultados de primer ejercicio de calibración:

R E P E A T A B I L I T Y

LM	X coordinate	Y coordinate
1	0.575545	0.695704
2	0.594719	0.692352
3	0.606093	0.690744
4	0.612879	0.686741
5	0.622745	0.690601
6	0.624576	0.710299
7	0.616383	0.731976
8	0.629270	0.738050
9	0.653744	0.732653
10	0.683655	0.716814
11	0.717067	0.674951
12	0.736882	0.600087
13	0.749732	0.519100
14	0.754908	0.502629
15	0.754804	0.545039
16	0.747167	0.598167
17	0.734014	0.634657
18	0.716765	0.663915
19	0.688966	0.673508
20	0.640724	0.682373
21	0.567038	0.702730
22	0.517966	0.720565
23	0.558556	0.747129
24	0.646496	0.759485
25	0.697191	0.749579
26	0.718728	0.726968
27	0.728722	0.688658
28	0.733226	0.643154
29	0.732148	0.603591
30	0.732345	0.571374

Repetibilidad Total Pamela Alarcón

R E P E A T A B I L I T Y

LM	X coordinate	Y coordinate
1	0.297995	-0.123088
2	0.310937	-0.119176
3	0.327276	-0.118269
4	0.324449	-0.098314
5	0.331269	-0.101986
6	0.327346	-0.096987
7	0.317850	-0.052031
8	0.293281	0.018776
9	0.256832	0.141798
10	0.172823	0.346209
11	0.062792	0.421070
12	-0.036917	0.402981
13	-0.084835	0.337595
14	-0.082898	0.228568
15	-0.020850	0.117790
16	0.101738	0.019654
17	0.207552	-0.062780
18	0.292042	-0.115866
19	0.332053	-0.142416
20	0.329408	-0.138590
21	0.281937	-0.090220
22	0.206745	-0.036615
23	0.162850	0.066763
24	0.124456	0.191394
25	0.092086	0.303416
26	0.054755	0.367074
27	0.034252	0.363915
28	0.017249	0.360572
29	-0.002611	0.319115
30	-0.013478	0.307073

Repetibilidad Total Daniela Barrera

Resultados de segunda calibración, mejoraron sustancialmente.

R E P E A T A B I L I T Y DPAM

LM	X coordinate	Y coordinate
1	0.893476	0.967732
2	0.879252	0.962877
3	0.855128	0.959205
4	0.827996	0.959793
5	0.801187	0.955900
6	0.779815	0.951524
7	0.778633	0.938702
8	0.796736	0.921919
9	0.832164	0.888807
10	0.905142	0.861785
11	0.957873	0.831199
12	0.979428	0.807794
13	0.970341	0.799271
14	0.942394	0.824325
15	0.916118	0.868851
16	0.889390	0.923318
17	0.864871	0.952260
18	0.843856	0.958960
19	0.833069	0.957019
20	0.830455	0.948784
21	0.836705	0.938018
22	0.854472	0.922400
23	0.873130	0.905805
24	0.902758	0.888257
25	0.940929	0.867254
26	0.962951	0.851497
27	0.978469	0.844283
28	0.986460	0.843319
29	0.987507	0.847865
30	0.987386	0.849192

Repetibilidad Total Pamela Alarcón

R E P E A T A B I L I T Y DBC

LM	X coordinate	Y coordinate
1	0.729805	0.906332
2	0.719809	0.907623
3	0.714587	0.910093
4	0.684561	0.917943
5	0.642663	0.925561
6	0.608620	0.925301
7	0.610200	0.915118
8	0.638484	0.878400
9	0.697147	0.809309
10	0.780055	0.745798
11	0.850866	0.718751
12	0.899539	0.661671
13	0.913806	0.637394
14	0.888949	0.646888
15	0.869711	0.671546
16	0.827225	0.733514
17	0.767717	0.805577
18	0.714087	0.865571
19	0.662387	0.907507
20	0.645145	0.915807
21	0.643014	0.914469
22	0.640957	0.899292
23	0.672815	0.868658
24	0.731379	0.830230
25	0.793458	0.791232
26	0.846760	0.754503
27	0.889301	0.710517
28	0.912565	0.679640
29	0.929125	0.662183
30	0.940179	0.635691

Repetibilidad Total Daniela Barrera

7.4 HIPOTESIS

Existen diferencias estadísticamente significativas en la morfología del cuello y cóndilo mandibular que influyen en la conformación de las maloclusiones clase I, II y III.

7.5 PLAN DE TABULACION Y ANALISIS

A HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS

HIPOTESIS NULA.

La morfología del cuello y cóndilo mandibular no se relaciona en la conformación de las maloclusiones clase I, II y III.

HIPÓTESIS ALTERNA.

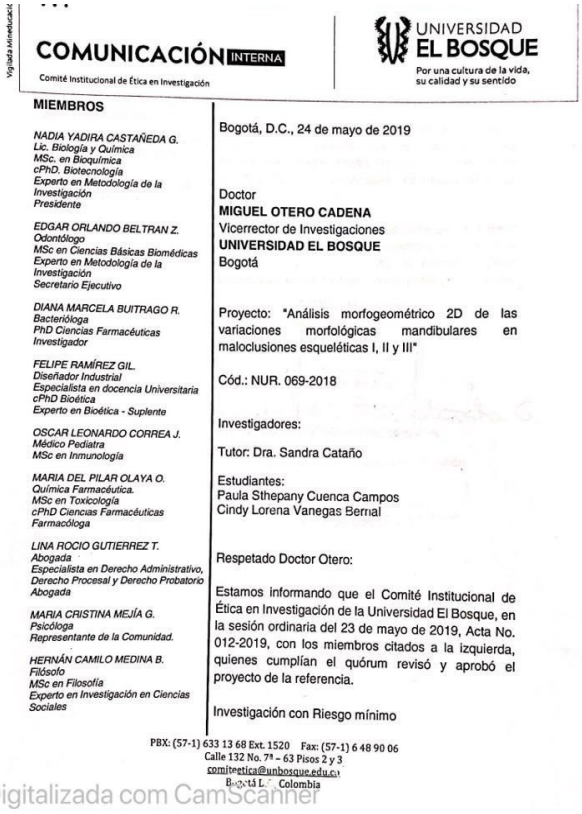
La morfología del cuello y cóndilo mandibular tiene una relación directa en la conformación de las maloclusiones clase I, II y III.

8. CONSIDERACIONES ÉTICAS

Esta investigación representa un riesgo mínimo ya que será realizada en seres humanos, se enfocará con principios científicos y éticos; además a cada paciente, se le entregará un consentimiento informado con su respectiva cartilla informativa los mismos que deberán ser leídos, analizados y firmados para contar con la autorización de cada paciente. Toda la información que recopilemos de cada paciente se mantendrá en absoluta reserva para dar cumplimiento al artículo 8 (Título II, capítulo 1) y sólo será utilizada para los fines estipulados en el estudio.

La información obtenida de este estudio estará dentro de las legislaciones nacional e internacional sobre investigaciones en el área de la salud.

Se manejan códigos y no nombres propios, de esta forma daremos confidencialidad y privacidad y la participación será estrictamente voluntaria. A continuación se anexa la aprobación del comité de ética.



Vigilada Mineducación

COMUNICACIÓN INTERNA

Comité Institucional de Ética en Investigación

UNIVERSIDAD EL BOSQUE

Por una cultura de la vida, su calidad y su sentido

MIEMBROS

NADIA YADIRA CASTAÑEDA G.
Lic. Biología y Química
MSc. en Bioquímica
cPhD. Biotecnología
Experto en Metodología de la Investigación
Presidente

EDGAR ORLANDO BELTRAN Z.
Odontólogo
MSc en Ciencias Básicas Biomédicas
Experto en Metodología de la Investigación
Secretario Ejecutivo

DIANA MARCELA BUITRAGO R.
Bacterióloga
PhD Ciencias Farmacéuticas
Investigador

FELIPE RAMÍREZ GIL.
Diseñador Industrial
Especialista en docencia Universitaria
cPhD Bioética
Experto en Bioética - Suplente

OSCAR LEONARDO CORREA J.
Médico Pediatra
MSc en Inmunología

MARIA DEL PILAR OLAYA O.
Química Farmacéutica.
MSc en Toxicología
cPhD Ciencias Farmacéuticas
Farmacóloga

LINA ROCIO GUTIERREZ T.
Abogada
Especialista en Derecho Administrativo, Derecho Procesal y Derecho Probatorio
Abogada

MARIA CRISTINA MEJÍA G.
Psicóloga
Representante de la Comunidad.

HERNÁN CAMILO MEDINA B.
Filósofo
MSc en Filosofía
Experto en Investigación en Ciencias Sociales

Bogotá, D.C., 24 de mayo de 2019

Doctor
MIGUEL OTERO CADENA
Vicerrector de Investigaciones
UNIVERSIDAD EL BOSQUE
Bogotá

Proyecto: "Análisis morfogeométrico 2D de las variaciones morfológicas mandibulares en maloclusiones esqueléticas I, II y III"

Cód.: NUR. 069-2018

Investigadores:

Tutor: Dra. Sandra Cataño

Estudiantes:
Paula Sthepany Cuenca Campos
Cindy Lorena Vanegas Bernal

Respetado Doctor Otero:

Estamos informando que el Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad El Bosque, en la sesión ordinaria del 23 de mayo de 2019, Acta No. 012-2019, con los miembros citados a la izquierda, quienes cumplían el quórum revisó y aprobó el proyecto de la referencia.

Investigación con Riesgo mínimo

PBX: (57-1) 633 13 68 Ext. 1520 Fax: (57-1) 6 48 90 06
Calle 132 No. 7ª – 63 Pisos 2 y 3
comiteetica@unbosque.edu.co
Bogotá D.C., Colombia

Digitalizada com CamScanner

9.- RESULTADOS

9.1 Formas Promedio

La forma se define como todas las características geométricas de un objeto excepto su tamaño, posición y orientación, la superposición de Procrustes nos permitió analizar la variación de forma en un conjunto de datos eliminando la variación de tamaño, posición y orientación, es decir llevo a todas las formas a una misma escala.

Como puede verse en las Figs. 1A, 1B, 1C, las formas promedio son significativamente diferentes entre los grupos, tanto por maloclusión como por sexo; fue posible producir diagramas que muestran los cambios observados. En la Figura 1A se encuentra representada la forma promedio de las maloclusiones clase I, II y III con respecto a la clase, la forma de los cóndilos tuvo variación en los pacientes Clase I, su forma fue similar a los Clase III siendo menos robustos y con tendencia horizontal, difiriendo de los Clase II que presentaron una forma más alargada y vertical. En la figura 1B visualizó de acuerdo al sexo, hombre (H) y mujer (M) donde los hombres presentaron un cóndilo más robusto. En la figura 1C, se redujo más el grupo por sexo y clase teniendo 6 grupos de 10 personas, se observó la variabilidad de la forma en cada grupo, los cóndilos más robustos lo presentaron las mujeres Clase III, los menos robustos las mujeres Clase II presentando un tamaño promedio en Clase I; por otra parte los hombres mantienen una morfología robusta y similar en todas las Clases.

Figura 1A.- Formas promedio clase I,II,III.

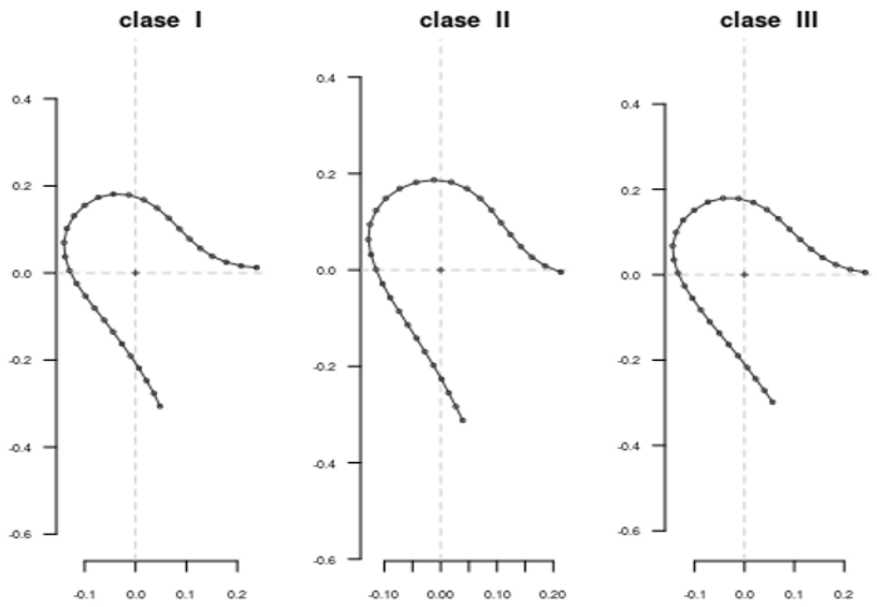


Figura 1 B.- Formas promedio según el sexo.

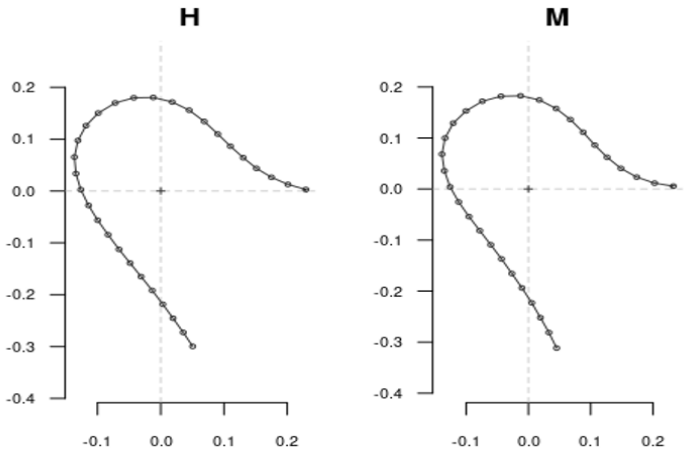
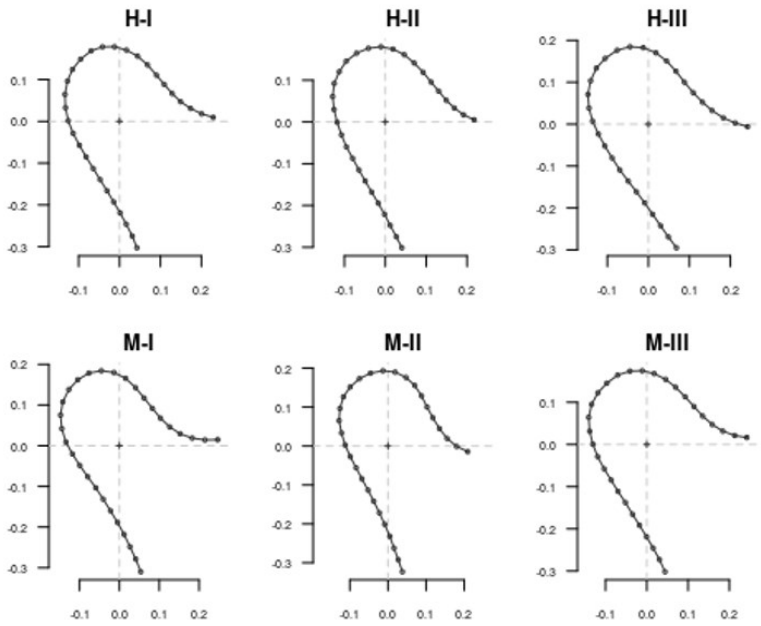


Figura 1 C.- Formas promedio según la Clase I, II, III y el sexo.



9.2 Análisis Basado en Landmarks

Para interpretar el cambio de forma, necesitamos interpretar los desplazamientos relativos de los puntos de referencia en el contexto de su disposición general. Esto se debe en parte a nuestra percepción, que requiere una forma como contexto para dar sentido a un cambio de forma.

Los análisis de componentes principales o de mínimos cuadrados parciales, proporcionan un sistema de nuevos ejes de coordenadas que tienen propiedades particulares. Debido a que estos ejes están en el espacio de tangente de forma, sus direcciones pueden interpretarse como características de variación de forma; junto con una magnitud y un signo, cada eje puede especificar una forma. (28)

En este estudio usamos el programa R que nos permite tener las formas promedio con el análisis de Procrustes. Los dos primeros PC representan el 92.4% de la variación de forma total. Las gráficas de puntajes de PC y los cambios de forma asociados al eje PC se muestran en las Fig. 2A.

PC1 representa el 69.4% que nos indica la inclinación del cóndilo y PC2 representa el 23% y representa principalmente cóndilos más verticales y delgados. (Fig. 2A – 2B - 2C).

De esta manera, hallamos los cambios morfológicos más evidentes en toda la muestra, identificamos que para cada Clase si hay cambios por curvaturas, alturas si son más grandes o pequeñas, de esta manera identificamos si estas características están asociadas a los diferentes grupos que tenemos.

Figura 2A.- Análisis Basado en Landmarks, inclinación del cóndilo.

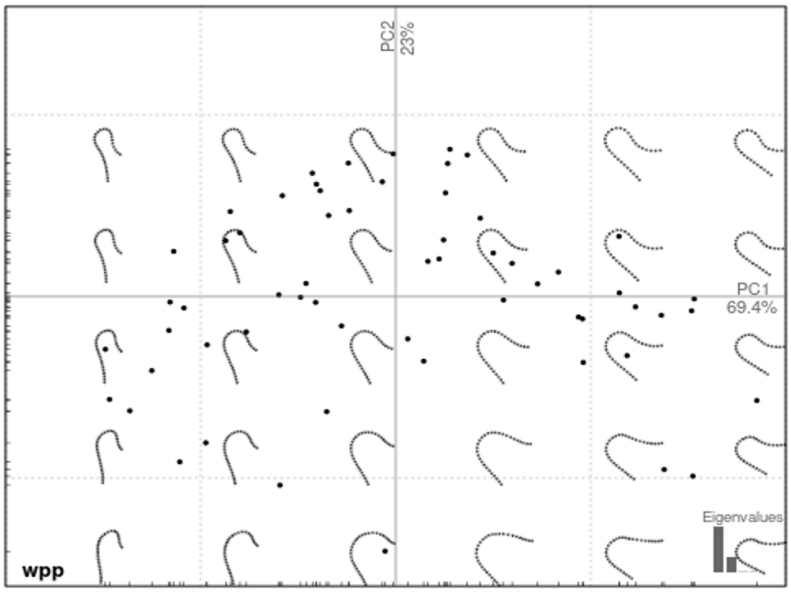


Figura 2B.- Análisis Basado en Landmarks, inclinación del cóndilo.

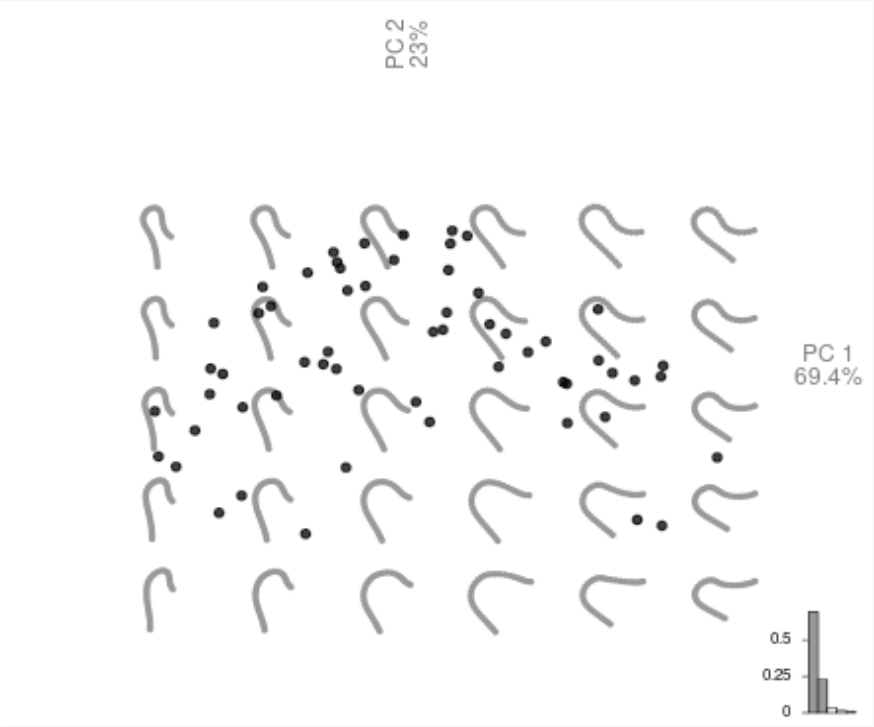
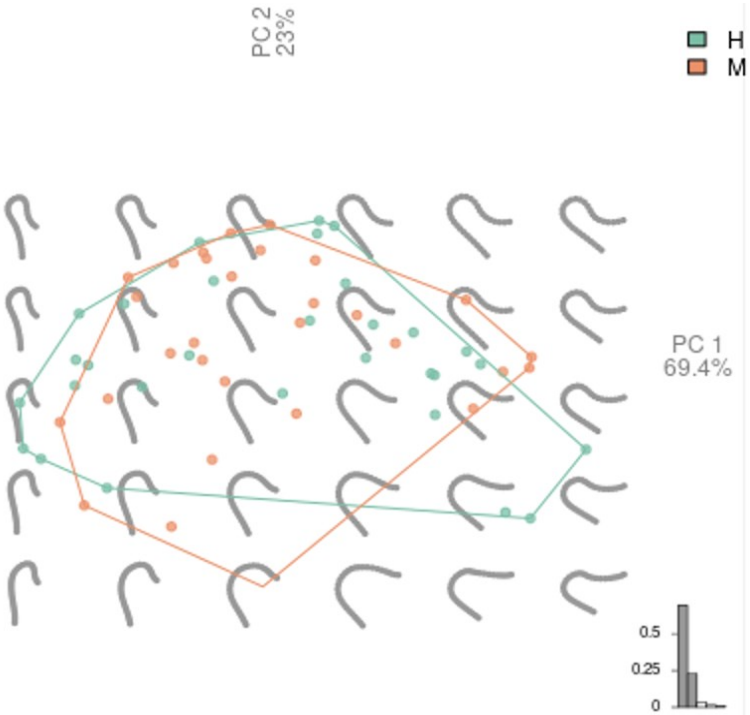


Figura 2C.- Análisis Basado en Landmarks, inclinación del cóndilo.



9.2.1 Análisis Discriminante

El análisis discriminante tiene como propósito analizar si existen diferencias significativas entre grupos, respecto a un conjunto de variables medidas sobre los mismos para explicar en qué sentido se dan y facilitar procedimientos de clasificación sistemática de nuevas observaciones de origen desconocido en uno de los grupos analizados.

Figura 3A.- Análisis Discriminante por sexo.

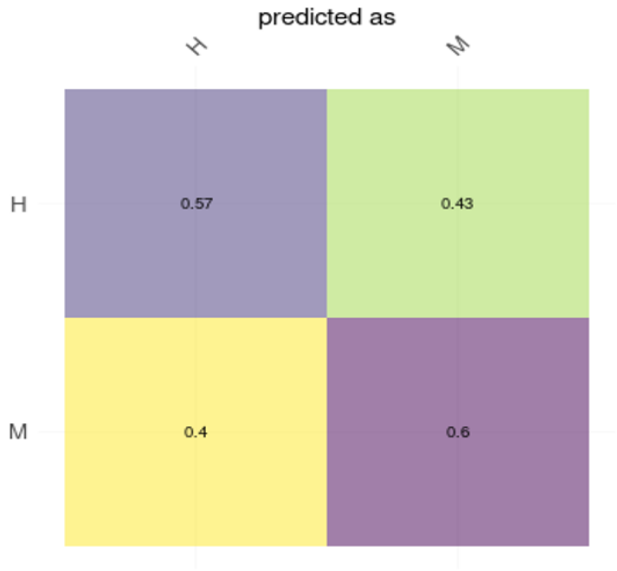


Figura 3B.- Análisis Discriminante por clase I, II, III.

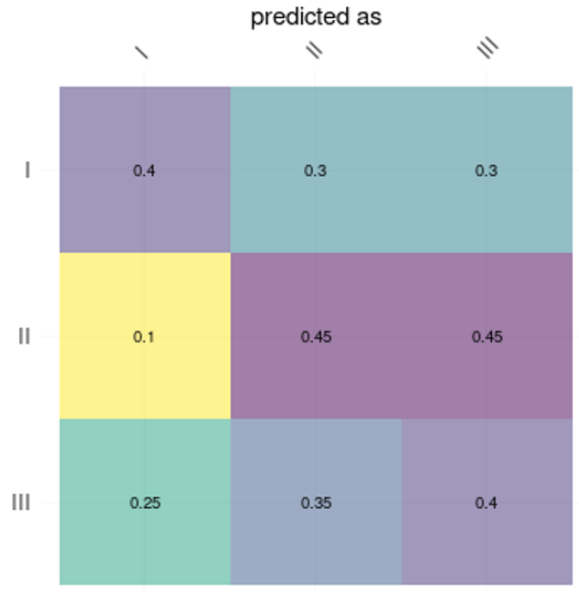


Figura 3C.- Análisis Discriminante por sexo y clase I, II, III.

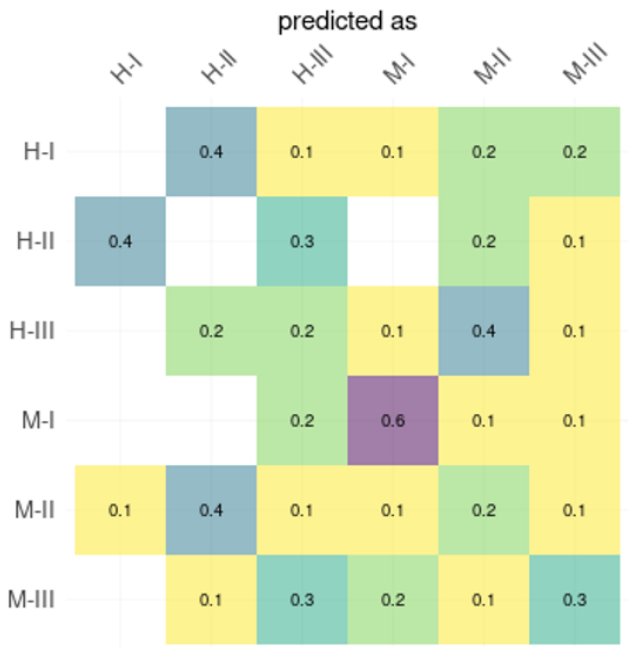


Figura 3A,3B,3C se evidencia el valor de predictibilidad para clasificar la variabilidad de la forma del condilo, por sexo y por clase; F: femenino, M: masculino, Clase I, Clase II, Clase III. En la figura 3A, se corroboró que la capacidad de predicción de acuerdo a la forma no es muy alta, 0.57 en Hombres y 0.6 en Mujeres sin diferencia significativa. En 3B no hay diferencia estadísticamente significativa, sin embargo en los Clase II hay un 0.1 de probabilidad que me lo clasifique como Clase I. En la figura 3C, el grupo se redujo por sexo y clase resultando las mujeres Clase I con 0.6.

MANOVA/COMPARACIONES MÚLTIPLES MEDIANTE EL COEFICIENTE DE HOTELLING	
VARIABLES	P
F y M	0.06619
Clase I,II,III	0.1062
HI,HII,HIII, MI,MII,MIII	0.09832
*significativo P < (0.05)	

Tabla 1. Muestran el resultado de comparaciones múltiples.

Es decir ninguna de las tres agrupaciones, son estadísticamente significativa, porque todos los valores se encuentran por debajo al valor de P < (0.05). Todo esto es basado en Landmarks, tomando cada punto como una coordenada.

9.3 Análisis de Fourier Elíptico

El análisis de Fourier se basa en un cambio de sistema coordenado, hace un análisis más completo del contorno de cada uno de los puntos, permite observar el mismo fenómeno desde una perspectiva completamente distinta y de esta forma descubrir características antes ocultas para el marco de referencia anterior, este análisis es matemáticamente más exacto y por lo tanto los resultados son más confiables.

Los dos primeros PC representan el 79,5% de la variación de forma total, este análisis de Fourier Elíptico capta mejor las variaciones de forma. Las gráficas de puntajes de PC y los cambios de forma asociados al eje PC se muestran en las Fig. 4A PC1 ubica los componentes principales con el porcentaje de variabilidad de la forma en el eje X 60.9% este representa principalmente el cambio de la morfología donde se observó formas más horizontales y delgadas , PC2 representa el 18,6 % de la variación de forma y representa curvas más verticales y robustas.

Figura 4A.- Análisis de Fourier Elíptico, inclinación del cóndilo.

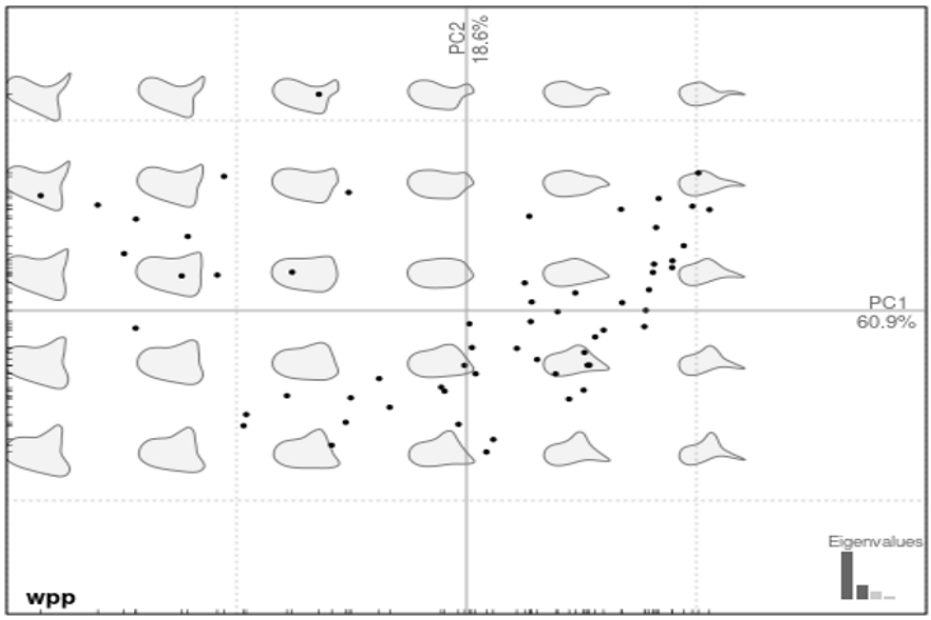


Figura 4B.- Análisis de Fourier Elíptico, inclinación del cóndilo.

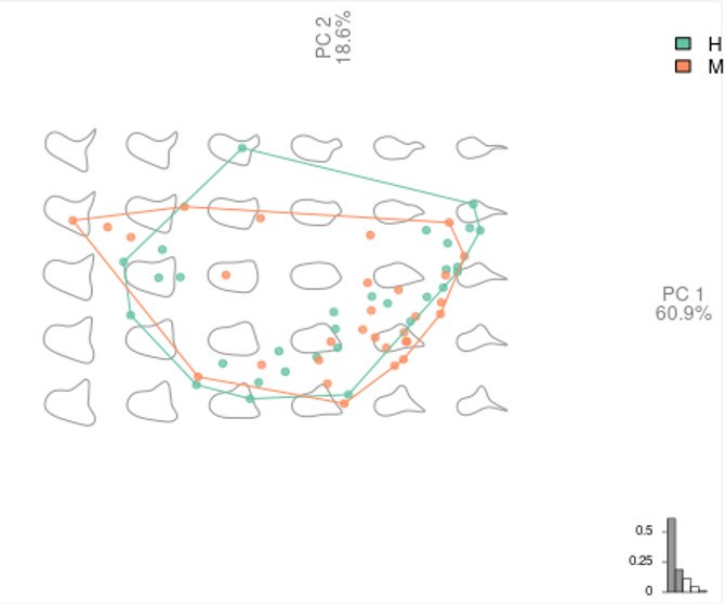


Figura 4C.- **Análisis de Fourier Elíptico, inclinación del cóndilo.**

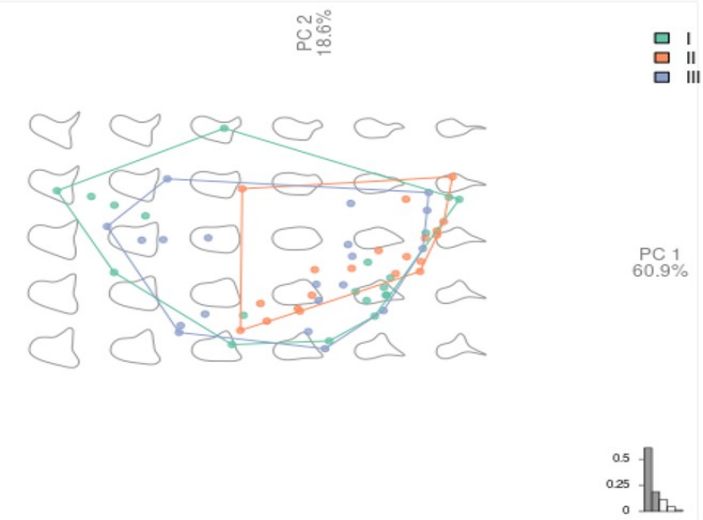


Figura 4D.- Análisis de Fourier Elíptico, inclinación del cóndilo.

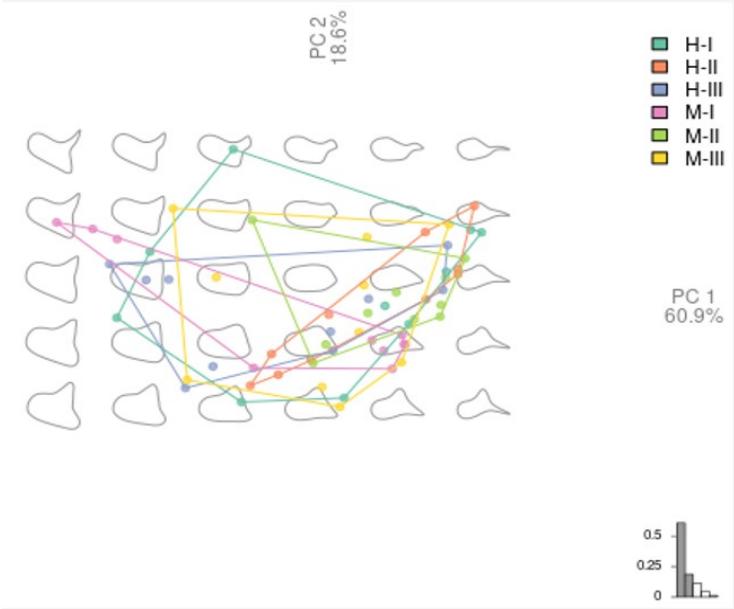


Figura 4 A-D: Componentes principales (PC) analizados la forma del cóndilo mandibular asociados al sexo Fig 4B, observamos que se superponen casi todos en el mismo sitio, solo hay unas pocas mujeres que se separaron del grupo, nos indica que no hay relación entre el sexo y la forma. Fig 4C análisis por Clase, identificamos que los Clase II están más agrupados en la dispersión, mientras que los Clase I y Clase III están un poco más dispersos en toda la forma. Fig 4D. vemos que los hombres y mujeres Clase II se encuentran menos dispersos.

Figura 5A

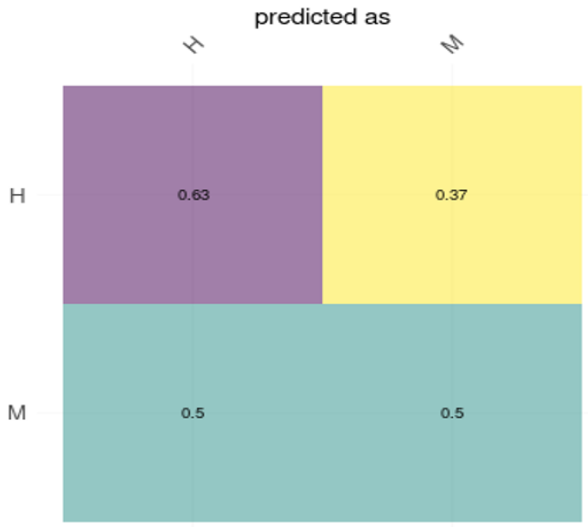


Figura 5B

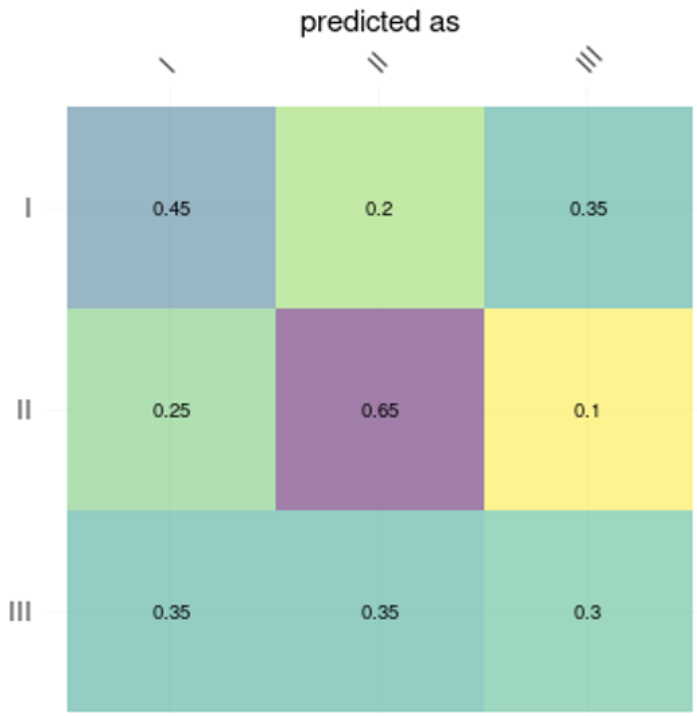


Figura 5C

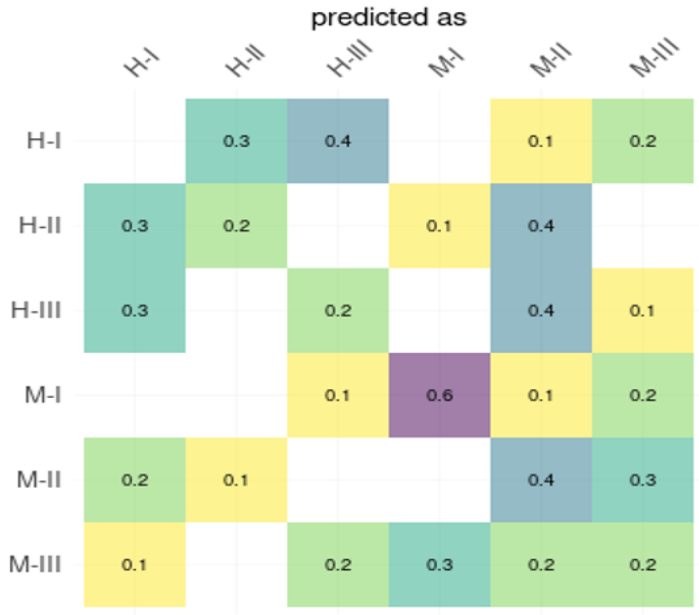


Figura 5A-C Se evidencia el valor de predictibilidad para clasifica variabilidad de la forma del cóndilo, por sexo y por clase F: femenino, M: masculino, Clase I, Clase II, Clase III. En 5A, se corroboró que la capacidad de predicción de acuerdo a la forma y sexo, en hombres nos arrojó 0.63 y en mujeres 0.37, no siendo significativos. En 5B en cuanto al análisis por Clase, vimos que clasifico mejor al grupo clase II que probablemente se relacionó con la forma con un valor de 0.65, los otros grupos dan un valor muy cercano a 0.30 que nos es significativo. En la figura 5C se relacionó las variables clase y sexo, obtuvimos valores más dispersos, el valor más relevante fueron mujeres Clase I con 0.6, pareciera que los hombres tuvieron una variabilidad mayor en la forma del cóndilo que las mujeres.

Por medio de la prueba de Hotelling no se observó diferencia altamente significativa en los grupos: F y M y en los grupos Clase I, II, III.

MANOVA/COMPARACIONES MÚLTIPLES MEDIANTE EL COEFICIENTE DE HOTELLING	
VARIABLES	P
F y M	0.2008
Clase I,II,III	0.03804
HI,HII,HIII, MI,MII,MIII	0.03065
*significativo P < (0.05)	

Tabla 2. Muestran el resultado de comparaciones múltiples

10.- DISCUSIÓN

La parte gráfica de los contornos de los cóndilos estudiados, no se encuentran estandarizados con el análisis de procrustes, se pudo observar la variabilidad de forma que presentan, se puede observar dos colores el azul que representa a los hombres y el rojo a las mujeres, se encontró que los cóndilos más robustos son hombres y las mujeres presentaron una forma condilar un poco más alargada.

En la actualidad se conocen varios estudios de morfometría geométrica en los que se utiliza la radiografías de perfil para el análisis del cóndilo mandibular, existentes estudios como el de Saccucci et al, estudiaron el volumen y la forma de los cóndilos mandibulares en unas población de adultos jóvenes caucásicos con diferentes patrones esqueléticos donde concluyó que no se observó diferencia significativa en toda la muestra entre el volumen condilar derecho e izquierdo; los sujetos en clase esquelética III mostraron un volumen condilar significativamente mayor, respecto a los sujetos de clase I y clase II, con respecto a la clase I y la clase III lo cual coincide con nuestro estudio, se encontró que los pacientes clase III presentan un volumen condilar más robusto y horizontal (Saccucci et al.,2012)

El cóndilo mandibular es un foco de estudio, desde el punto de vista del desarrollo cráneo facial gracias al papel que juega esta estructura en el crecimiento pre y post natal mandibular. La forma condilar se ha analizado en muchos grupos poblacionales por diversos autores entre ellos, Katsavrias et al, en 2006 describió las características morfológicas del cóndilo mandibular en pacientes clase II división 2 en una población griega, encontrando una prevalencia del 60% de la morfología ovalada en 63 este tipo de pacientes, a través de radiografías laterales de cráneo, sin embargo, la relación entre la morfología condilar y la relación esquelética tampoco pudo ser establecida de manera significativa, lo que concuerda con nuestros resultados. Encontramos que no hay diferencia estadísticamente significativa, existe la misma probabilidad de clasificarlo como clase II o clase III, sin embargo, con las mujeres Clase I existen diferencias (0,6) de que sean clasificadas como Clase I (Katsavrias E et al., 2006)

Al evaluar la relación entre la morfometría condilar y el sexo (masculino y femenino), nuestro estudio encontró que los cóndilos más robustos lo presentan las mujeres Clase III, los menos

robustos las mujeres Clase II presentando un tamaño promedio en Clase I; por otra parte los hombres mantienen una morfología robusta y similar en todas las Clases, también encontramos que la capacidad de predicción de acuerdo a la forma no es muy alta, 0.57 en Hombres y 0.6 en Mujeres por lo que no hay diferencia estadísticamente significativa, existe la misma probabilidad de que un cóndilo sea de un hombre o de una mujer de acuerdo a la forma.

Saccucci et al en 2012, evaluaron 200 individuos caucásicos con un rango de edad de 15 a 30 años, con el fin de determinar el volumen y la superficie condilar. Los pacientes fueron evaluados de acuerdo con la clasificación de Angle y el ángulo ANB en Clase I, Clase II y clase III. Concluyó mayor volumen y superficie condilar en los pacientes clase III respecto a la clase II y menor volumen de la clase II respecto a la clase I, lo que concuerda con nuestros resultados, los pacientes Clase III, presentaron forma similar a los Clase I, siendo más robustos y con tendencia horizontal, a diferencia de los Clase II, estos presentaron el cóndilo con forma más alargada y vertical. (Saccucci et al.,2012)

El estudio de Saccucci, reportó datos que justifican y explican por qué pudieron haberse presentado dichos resultados. Patrones marcados de masticación de acuerdo con el tipo de alimento que se consume podría afectar el crecimiento y la morfología del cóndilo y por ende la clase esquelética. (Saccucci et al.,2012)

Al correlacionar la relación esquelética en el plano sagital con la morfología condilar y el sexo, nuestro estudio fue incapaz de establecer dicha relación de manera estadísticamente significativa. Los resultados de MANOVA de acuerdo a la clase, arrojo un valor de 0.1062, en el análisis evaluando las variables Clase y el sexo se obtuvo un valor de 0.09832 y por último al evaluar las variables sexo con un valor de 0.06619 no fueron estadísticamente significativo. Es decir, ninguna de las tres agrupaciones de variables se relaciona.

11.- CONCLUSIONES

La morfometría geométrica es una herramienta valiosa para evaluar y visualizar las variaciones morfológicas del cóndilo mandibular asociadas al sexo y maloclusión.

No se encontró variabilidad morfológica altamente significativa, el análisis de Landmarks nos dice que el sexo y la clase no tienen relación con la forma del cóndilo, en cuanto al análisis de Fourier nos mostró que de acuerdo a la clase si tiene alguna relación con la forma y sobretodo en los pacientes Clase II, ya que este grupo tiene una morfología más típica entre ellos que el resto de clases.

No se encontró variabilidad morfológica altamente significativa entre los sexos masculino y femenino, ni las clases I, II y III.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brachetta Aporta N,GPN,BV,&MMC. Cambios morfológicos en la mandíbula durante la ontogenia: un aporte desde la histología y la morfometría geométrica. Revista argentina de antropología biológica. 2016.

Infante C. Fundamentos para la evaluación del crecimiento, desarrollo y función craneofacial. In. Colombia; 2009. p. 210-234.

Enlow DH, Bang S. Growth and remodeling of the human maxilla. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1965; 446-464.

Van der Molen S,MNA,&GJR. Introducción a la morfometría geométrica: curso teórico práctico. In ; 2007; Barcelona, España. p. 1-4.

Szabo-Rogers H, SLE,YW,&LKJ. New directions in craniofacial morphogenesis. Developmental biology. 2010;341(1), 84-94.

Kajikawa, A., Hirabayashi, S., & Harii, K. (2003). An experimental study on the growth of condylar cartilage, using a new vascularized mandible heterotopic transplant model. Journal of oral and maxillofacial surgery, 61(2), 239-245.

Moss, M. L. (1972). Twenty years of functional cranial analysis. American Journal of Orthodontics, 61(5), 479-485.

Carlson DS, Buschang PH. Craniofacial growth and development: evidence-based perspectives.. In Edition LGe5, editor. Orthodontics: Current principles and techniques..: Mosby; 2011. p. 215-46.

Dixon, A. D., Hoyte, D. A., & Ronning, O. (2017). Fundamentals of craniofacial growth. Crc Press.

Stutzmann, J. J., & Petrovic, A. G. (1990). Role of the lateral pterygoid muscle and meniscotemporomandibular frenum in spontaneous growth of the mandible and in growth stimulated by the postural hyperpropulsor. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 97(5), 381-392.

Inoue, H., Hiraki, Y., Nawa, T., & Ishizeki, K. (2002). Phenotypic switching of in vitro mandibular condylar cartilage during matrix mineralization. Anatomical science international, 77(4), 237-246.

Bjork A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. American Journal of Physical Anthropology. 1968; vol. 29, (2) 243-254.

Montenegro Rma, Rojas Rma2. Factors that regulate the morphogenesis and human mandibular growth. Int J Odontostomat. 2007; (1) 7-15.

Sicher H. The growth of the mandible. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics. 1947; 33, (1) 30-35.

Moss M, Salentijn L. The primary role of functional matrices in facial growth. American journal of orthodontics. 1969; vol. 55, (6) 566-577.

Freudenthaler Jea. Geometric morphometrics of different malocclusions in lateral skull radiographs. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie. 2017; 78, (1) 11-20.

Peláez B. Crecimiento del cartílago condilar. Una revisión de la literatura. Odontología sanmarquina. 2018; 21(2) 131-140.

Díaz A, Manríquez S. Diagnóstico Dentoesqueletal Mediante la Aplicación de un Enfoque Morfométrico Geométrico. International journal of odontostomatology. 2014; vol. 8, (1) 05-11. 23 (1) 6-12.

Toro M. V, Manríquez S & Suazo G. Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. International Journal of Morphology., 28(4):977-990, 2010.

Castro Guevara, n. E., muñoz durán, j. V., lópez pérez, l. A., & infante contreras, c. L. E. M. E. T. I. N. A. (2015). Variation of craniofacial morphological patterns in class i, ii, and iii skeletal relationships. Revista facultad de odontología universidad de antioquia, 26(2).

Remy, F., Godio-Raboutet, Y., Captier, G., Burgart, P., Bonnaure, P., Thollon, L., & Guyot, L. Morphometric characterization of the very young child mandibular growth pattern: What happen before and after the deciduous dentition development?. American journal of physical anthropology, (2019) 170 (4), 496-506.

Perez, S. G., Behr, M., & Thollon, L. Exploratory study of the three-dimensional morphological variation of the jaw associated to teeth loss. Journal of stomatology, oral and maxillofacial surgery, (2019) 120(6), 523-528.

Wellens, H. L. L., Kuijpers-Jagtman, A. M., & Halazonetis, D. J. (2013). Geometric morphometric analysis of craniofacial variation, ontogeny and modularity in a cross-sectional sample of modern humans. Journal of Anatomy, 222(4), 397-409.

Bastir, M., & Rosas, A. (2006). Correlated variation between the lateral basicranium and the face: a geometric morphometric study in different human groups. Archives of Oral Biology, 51(9), 814-824.

Singh G, McNamara Jr J, Lozanoff S. Thin-plate spline analysis of the cranial base in subjects with Class III malocclusion.. European journal of orthodontics. 1997; vol. 19, (4) 341-353.

Cocos A, Halazonetis D. Craniofacial shape differs in patients with tooth agenesis: geometric morphometric analysis.. European journal of orthodontics. 2017; vol. 39, (4) p. 345-351.

Mitteroecker, P., & Gunz, P. (2009). Advances in geometric morphometrics. Evolutionary Biology, 36(2), 235-247.

Klingenberg CP. Visualizations in geometric morphometrics: How to read and how to make graphs showing shape changes. Hystrix. 2013;24(1).

Saccucci M. Condylar volume and condylar area in class I, class II and class III young adult subjects. Head & Face Medicine. 2012;8(1):34-41.

Katsavrias E. Morphology of the temporomandibular joint in subjects with Class II Division 2 malocclusions. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics. 2006; 129:470-8)

Changbunjong, T., Sumruayphol, S., Weluwanarak, T., Ruangsittichai, J., & Dujardin, J. P. (2016). Landmark and outline-based geometric morphometrics analysis of three Stomoxys flies (Diptera: Muscidae). Folia Parasitologica, 63, 1.

Dujardin, J. P., Kaba, D., Solano, P., Dupraz, M., McCoy, K. D., & Jaramillo-o, N. (2014). Outline-based morphometrics, an overlooked method in arthropod studies?. Infection, Genetics and Evolution, 28, 704-714.

Adams, D. C., Rohlf, F. J., & Slice, D. E. (2004). Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. Italian Journal of Zoology, 71(1), 5-16.

Sella-Tunis, T., Pokhojaev, A., Sarig, R., O'Higgins, P., & May, H. (2018). Human mandibular shape is associated with masticatory muscle force. Scientific reports, 8(1), 1-10.

Kinzinger, G., Kober, C., & Diedrich, P. (2007). Topography and morphology of the mandibular condyle during fixed functional orthopedic treatment–a magnetic resonance imaging study. Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie, 68(2), 124-147.

Hutchinson, E. F., Kieser, J. A., & Kramer, B. (2014). Morphometric growth relationships of the immature human mandible and tongue. European journal of oral sciences, 122(3), 181-189.