



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ODONTOLÓGIA  
DEPARTAMENTO DEL NIÑO Y ORTOPEDIA DENTOMAXILAR ÁREA  
DE ORTODONCIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS  
CENTRO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO EN ANTROPOLOGÍA DENTAL**

**“CONCORDANCIA TAXONÓMICA Y DIAGNÓSTICA DE LA CLASIFICACIÓN  
DE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA CON CLASIFICACIONES  
CEFALOMÉTRICAS UTILIZADAS PARA IDENTIFICAR EL BIOTIPO FACIAL”**

**Carlos Felipe Bobadilla Ponce**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
CIRUJANO-DENTISTA**

**TUTOR PRINCIPAL**

**Prof. Alejandro Diaz Muñoz**

**TUTOR ASOCIADO**

**Prof. German Manríquez Soto**

**Adscrito a Proyecto PRI-ODO 2019/06**

**Santiago – Chile**

**2022**





UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ODONTOLÓGIA  
DEPARTAMENTO DEL NIÑO Y ORTOPEDIA DENTOMAXILAR ÁREA  
DE ORTODONCIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS  
CENTRO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO EN ANTROPOLOGÍA DENTAL

3

**“CONCORDANCIA TAXONÓMICA Y DIAGNÓSTICA DE LA CLASIFICACIÓN  
DE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA CON CLASIFICACIONES  
CEFALOMÉTRICAS UTILIZADAS PARA IDENTIFICAR EL BIOTIPO FACIAL”**

**Carlos Felipe Bobadilla Ponce**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
CIRUJANO-DENTISTA**

**TUTOR PRINCIPAL**

**Prof. Alejandro Diaz Muñoz**

**TUTOR ASOCIADO**

**Prof. German Manríquez Soto**

**Adscrito a Proyecto PRI-ODO 2019/06**

**Santiago – Chile**

**2022**

## *Dedicatoria*

*A mi familia,*

*Paci, Carmen, Felipe, Felipe, Sofy y Aurora.*

*Por su amor, compañía, comunicación, experiencias y conocimientos*

*que han compartido con... (añada aquí cualquiera de las formas con las que prefiera referirse a mí persona).*

*A las personas*

*con las cuales compartí*

*tantos momentos de amistad,*

*alegría y diversión.*

*Ustedes fueron*

*un apoyo y una motivación*

*en las distintas etapas que viví.*

## Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi familia, por darme la oportunidad de estudiar esta carrera, carrera que, a pesar de todos los malos ratos que viví en ella, le tengo un gran cariño y siento una gran emoción al poder ejercerla.

Agradecer a las personas, con quienes compartí diversas instancias de la universidad, ya fuesen salidas, conversaciones, noches de estudio, viajes, marchas, ceo's, sdle, ombligo, tvo, Sam'ot, preclínicos, bailes, clínicas, clínica del niño, espectáculos o performance realizadas en vivo. Fueron momentos muy alegres, estoy inmensamente feliz de haberlos conocido.

Dejar un agradecimiento a las/os cirujanas/os dentistas que fueron parte de mi formación como profesional, quienes compartieron su conocimiento y experiencias de una manera educativa, en un contexto comunicacional agradable y de respeto, en el cual es posible un aprendizaje de manera saludable. Gracias por ejercer la docencia de tan buena forma.

Agradecer a las personas que participaron en este proyecto de investigación, por su ayuda y colaboración para realizarlo. He desarrollado otro aspecto de la formación universitaria, el cual me parece muy interesante, así como desafiante.

# ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>II.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	9
	A. MARCO TEÓRICO .....	9
	CLASE ESQUELETAL.....	10
	BIOTIPO FACIAL .....	10
	MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA .....	19
	B. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
<b>III.</b>	<b>HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b> .....	27
	A. HIPÓTESIS .....	27
	B. OBJETIVO GENERAL.....	27
	C. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	27
<b>IV.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	28
	A. TIPO DE ESTUDIO.....	28
	B. MUESTRA .....	28
	C. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	28
	D. DETERMINACIÓN DEL BIOTIPO FACIAL MEDIANTE CEFALOMETRÍA.....	28
	E. DETERMINACIÓN DEL BIOTIPO FACIAL MEDIANTE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA...30	
	F. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	31
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	32
<b>VI.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	46
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	53
<b>VIII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	54
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	63

## I. RESUMEN

### **Introducción.**

El concepto de biotipo facial se ha definido como un conjunto de caracteres morfológicos y funcionales que determinan la dirección de crecimiento y formación de la cara de un individuo. Existen diversos métodos cefalométricos para identificar el biotipo facial. Sin embargo, no existe un método que esté definido como gold estándar. La morfometría geométrica es una herramienta de análisis multivariada que se ha utilizado para estudiar las variaciones morfológicas craneofaciales observadas en una población de estudio.

### **Objetivos.**

Determinar el nivel de concordancia que existe entre la clasificación de biotipo facial mediante morfometría geométrica y clasificaciones cefalométricas convencionales.

### **Metodología.**

En telerradiografías laterales de cráneo se identificó el biotipo facial correspondiente según los criterios de cuatro metodologías de clasificación: método de Björk-Jarabak, ángulo FMA, Steiner y Morfometría Geométrica. Para determinar la concordancia taxonómica y diagnóstica, se realizó test de Mantel y test de kappa respectivamente.

### **Resultados.**

La clasificación de Morfometría Geométrica mantiene una concordancia taxonómica leve y una concordancia diagnóstica moderada con la clasificación cefalométrica según ángulo FMA y Steiner. Se descartó una concordancia taxonómica con la clasificación de Björk-Jarabak. La clasificación de morfometría geométrica presentó una mayor sensibilidad diagnóstica para identificar el biotipo braquifacial y dolicofacial.

**Discusión.**

Los cuatro métodos realizan un análisis en base a la identificación de hitos anatómicos. A diferencia del método cefalométrico, el método de morfometría geométrica crea un espacio morfométrico de referencia. En este espacio existe una continuidad en la variación morfológica de las estructuras craneofaciales representadas mediante hitos. Hay una mayor variación en la morfología craneofacial, a medida que la ubicación de un individuo se encuentre más distante respecto al centro de este espacio de referencia. La clasificación de morfometría geométrica mantiene una concordancia taxonómica y diagnóstica con la clasificación según ángulo FMA y Steiner. Sin embargo, esta clasificación propuesta presenta la ventaja de poder identificar patrones de biotipo intermedios o con una expresión leve.

**Conclusiones.**

A pesar de que la clasificación de morfometría geométrica muestra una concordancia taxonómica leve y una concordancia diagnóstica moderada, se debe continuar con la investigación para validar su uso como una herramienta diagnóstica de biotipo facial.

## II. INTRODUCCIÓN

### A. MARCO TEÓRICO

Un elemento fundamental en el área de la Ortodoncia clínica es realizar una correcta evaluación inicial del paciente. En esta etapa se detectan características morfológicas particulares de cada individuo, las cuales tendrán implicancia en las posibles opciones de tratamiento. Esta información es la base para formular un marco de referencia terapéutico para el paciente, con el cual se pueda planificar el tratamiento ortodóntico (Canut, 2000; Gómez, 2011). Sin embargo, la detección de estas características es compleja, debido a que el crecimiento y desarrollo craneofacial es un proceso dinámico e individual (Arat y cols., 2001).

La necesidad de agrupar las características observadas en un objeto de estudio es algo recurrente en todas las ramas de la ciencia. Investigadores en el campo de la Ortodoncia desarrollaron diversas metodologías de análisis para agrupar o clasificar, las características morfológicas esqueléticas y faciales observadas en el desarrollo craneofacial de pacientes con distintos tipos de oclusión.

En el siglo XIX se propuso una clasificación de maloclusiones en base a relaciones dentarias específicas (Angle, 1899). Esta clasificación ha sido utilizada ampliamente en la Odontología, a pesar de no considerar mediciones u observaciones representativas de las estructuras anatómicas del componente craneofacial (Siecola y cols., 2017; Ackerman y cols., 2018). Posteriormente, se propuso a la cefalometría como una nueva herramienta para el estudio de estructuras anatómicas relevantes en el área de ortodoncia (Broadbent, 1931; Hofrath, 1931). Este método realiza un análisis de las estructuras anatómicas observadas en una telerradiografía lateral de cráneo. Con esta metodología se desarrollaron distintos análisis cefalométricos que permitieron identificar la variación de estructuras esqueléticas en una población de estudio (Björk, 1955; Björk , 1969; Ricketts, 1972; Siriwat y Jarabak, 1985).

Estos análisis han permitido conocer los principales factores de variación morfológica, que han sido enunciados o definidos como las variaciones de Biotipo Facial y Clase Esqueletal.

#### CLASE ESQUELETAL

Se define como la relación sagital entre el hueso maxilar y hueso mandibular. Realiza una analogía de la clasificación de Angle (Angle, 1989), establece tres tipos de clase esquelética, Clase I, II y III. Clase I, se describe como una posición central de la mandíbula con respecto al maxilar, la mandíbula se puede encontrar en una posición levemente anterior o posterior al maxilar. Clase II, la mandíbula se encuentra en una posición más posterior que el maxilar. Clase III, la mandíbula se posiciona más anterior que el maxilar (Gregoret, 1998).

#### BIOTIPO FACIAL

El concepto de biotipo facial, desarrollado inicialmente por Ricketts, es utilizado para clasificar a los individuos de acuerdo con las variaciones en la proporción esquelética de la cara en el sentido sagital y vertical. Se ha definido como un conjunto de caracteres morfogenéticos y funcionales que determinan la dirección de crecimiento y formación de la cara de un individuo (Ricketts, 1957; Gregoret, 1998). La información obtenida al identificar un patrón de biotipo es de utilidad en distintas especialidades de la Odontología, como Ortodoncia, Cirugía Maxilofacial, Trastornos Temporomandibulares y Rehabilitación Oral (Cerdeira y cols., 2019; Vahid y cols., 2020). La Ortodoncia se ha interesado en comprender las diferentes respuestas que manifiestan los distintos biotipos faciales frente a similares esquemas terapéuticos (Marín y cols., 2022).

Actualmente, se describen tres biotipos: braquifacial, mesofacial y dolicofacial. Se ha reportado que, según el biotipo facial, podemos encontrar una variación en la actividad electromiográfica registrada en músculos asociados a la masticación. Asimismo, se han descrito diferencias en la forma de estructuras que son parte del

sistema nervioso central (Alabdullah y cols., 2015; Alarcon y cols., 2020). Se ha descrito que las personas tienden a mantener su patrón de biotipo a través del tiempo. (Bishara y Jakobsen, 1985; Katsadouris y Halazonetis 2017).

Pacientes braquifaciales son individuos que tienen una dirección de crecimiento con predominancia del componente horizontal. La altura facial posterior presenta una mayor tasa de crecimiento al compararla con la altura facial anterior, se puede encontrar un tercio inferior facial disminuido. La forma de la cara tiende a ser corta y ancha, poseen una musculatura mandibular de mayor tonicidad, un ángulo mandibular cerrado asociado a un crecimiento rotacional anterior. Los pacientes mesofaciales poseen una dirección de crecimiento hacia inferior y anterior, existe un equilibrio entre la distancia vertical y transversal de la cara. Finalmente, los pacientes dolicofaciales poseen una dirección de crecimiento con predominancia en el sentido vertical, se puede encontrar un tercio medio aumentado, un perfil convexo y un cierre labial forzado. Suelen presentar un aumento en la altura facial anterior junto con una protrusión en los dientes anterosuperiores. Pueden presentar menor actividad muscular y un ángulo mandibular abierto, asociado a un crecimiento rotacional posterior (Steiner, 1953; Ricketts, 1957; Ricketts, 1972; Siritwat y Jarabak, 1985; Gregoret, 1998; Bong y cols., 2007; Proffit, 2007; Alabdullah y cols., 2015; Vahid y cols., 2020).

Es importante determinar el biotipo facial correspondiente a cada paciente, ya que, orienta las decisiones clínicas a seguir en cuanto al tipo y tiempo de intervención a realizar. Se ha reportado que, la respuesta al tratamiento ortodóntico de un grupo de pacientes será diferente según biotipo facial que presente, incluso cuando puedan presentar una alteración similar en la oclusión (Ricketts, 1957). Biotipos braquifaciales muestran una resistencia a la rotación mandibular posterior durante el tratamiento y pueden aceptar una mayor protrusión dentaria. En cambio, biotipos dolicofaciales tienden a una rotación mandibular posterior durante el tratamiento y requieren una mayor retrusión dentaria para asegurar la estabilidad post tratamiento (Ricketts y cols., 1983; Miksic y cols., 2003).

Para la determinación del biotipo facial se ha utilizado rutinariamente la cefalometría, que consiste en un análisis dimensional de las estructuras

craneofaciales observadas en una telerradiografía lateral de cráneo. La metodología consiste en identificar hitos en una imagen radiográfica, con los cuales se realiza el trazado de líneas, medición de distancias y conformación de ángulos. La gran versatilidad que presenta la técnica para realizar un estudio de las estructuras anatómicas permitió que distintos autores crearan su propia metodología de análisis para establecer o identificar el patrón de biotipo.

Entre los métodos utilizados para la determinación del biotipo facial mediante cefalometría, encontramos el método de Björk-Jarabak, método del ángulo FMA, método de Steiner, ratio de Björk-Jarabak, ángulo B de Schwarz, Altura facial inferior de Ricketts (Cerdeja y cols., 2019). Adicionalmente, Ricketts propone un método ligeramente distinto de los anteriores, el Índice de VERT (Gregoret, 1998). Este índice establece el biotipo facial mediante un algoritmo matemático y describe un grado de severidad.

A continuación, se detallan tres métodos de clasificación que utilizan distintas mediciones cefalométricas para determinar el biotipo facial.

### **Clasificación según método de Björk-Jarabak**

Björk realizó una serie de estudios en los que analizó el comportamiento de estructuras craneofaciales durante el crecimiento e identificó los principales cambios registrados en las estructuras óseas. Jarabak utilizó esta información para desarrollar sus trabajos, ampliando el estudio de la rotación y crecimiento mandibular. Incluyó el concepto de divergencia facial, señaló que podemos encontrar tres patrones: Hipo divergente, Neutral o Hiper divergente. El concepto de divergencia facial también fue expresado en los estudios de Schudy, quien utilizó el plano Silla-Nasion y plano mandibular para estudiar e identificar el tipo facial (Björk, 1955; Schudy, 1964; Schudy, 1965; Björk, 1969; Jarabak y Siriwat, 1985).

En este método se realiza un análisis del polígono conformado por los puntos Nasion, Silla, Articular, Gonion y Menton (Fig. 1). Con estos puntos se establecen tres ángulos, ángulo de la silla (Fig. 2), ángulo articular (Fig. 3) y ángulo Goníaco (Fig. 4). (Enlow y Moyers, 1971; Gregoret, 1998; Proffit, 2007).

Puntos o hitos anatómicos (Cauvi y Madsen, 2007; Subhashchandra, 2013):

- Nasion (N): Punto más anterior en el medio de la sutura frontonasal.
- Silla turca (S): Corresponde al centro de la cripta ósea ocupada por la hipófisis.
- Articular (Ar): Punto cefalométrico que se ubica en la intersección del borde posterior del cuello del cóndilo y la zona anteroinferior de la superficie basilar del occipital.
- Gonion (Go): Punto cefalométrico que se ubica en la bisectriz del ángulo formado por la tangente al borde posterior de la rama y el borde inferior de la mandíbula.
- Menton (Me): Es el punto más inferior del contorno de la sínfisis.

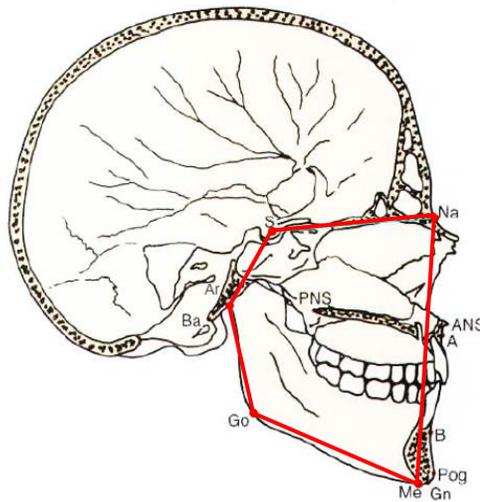


Figura 1: Polígono de Björk-Jarabak (Proffit, 2007).

## Ángulo de la Silla

Tiene una norma de  $122^\circ$ , un ángulo de mayor medida se asocia a pacientes con tendencia al biotipo dolicofacial, mientras que, un ángulo de menor valor con pacientes braquifaciales (Gregoret, 1998).

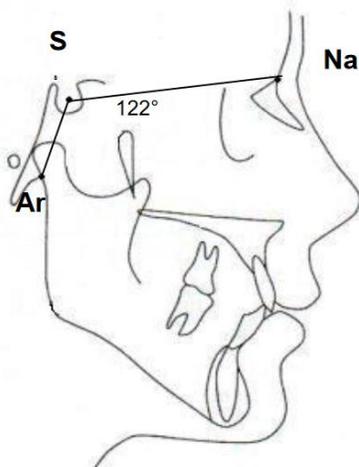


Figura n°2. Ángulo de la Silla (Vargas, 2011).

## Ángulo Articular.

Ángulos menores a la norma ( $143^\circ$ ) se asocian a pacientes braquifaciales, mientras que ángulos mayores se asocian a pacientes dolicofaciales (Gregoret, 1998).

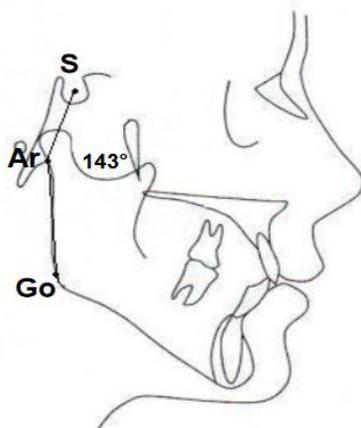


Figura 3. Angulo Articular (Vargas, 2011).

## Ángulo Goníaco.

El ángulo Goníaco permite analizar la relación entre la rama y el cuerpo mandibular, tiene una norma de  $130^\circ$ . Si la medida es menor a la norma, se asocia a un biotipo braquifacial. Si la medida es mayor a la norma, se asocia a un biotipo dolicofacial.

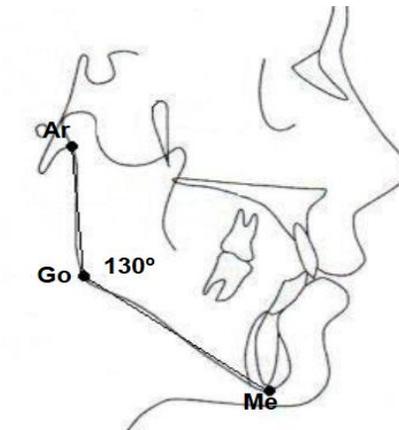


Figura 4. Ángulo Goníaco (Vargas, 2011).

En algunos casos se establecen mecanismos de compensación, por lo tanto, un valor angular aislado puede interpretarse erróneamente. Debido a esto, se clasifica el biotipo según el valor obtenido de la suma de estos tres ángulos (Fig. 5). La sumatoria de estos ángulos tiene una norma de  $396^\circ \pm 6^\circ$ . (Gregoret, 1998; Alabdullah y cols., 2015).

### Clasificación:

- Braquifacial = La suma de ángulos tiene un valor menor a  $390^\circ$ .
- Mesofacial = La suma de ángulos tiene un valor entre  $390^\circ$  a  $402^\circ$ .
- Dolicofacial = La suma de ángulos es mayor a  $402^\circ$ .

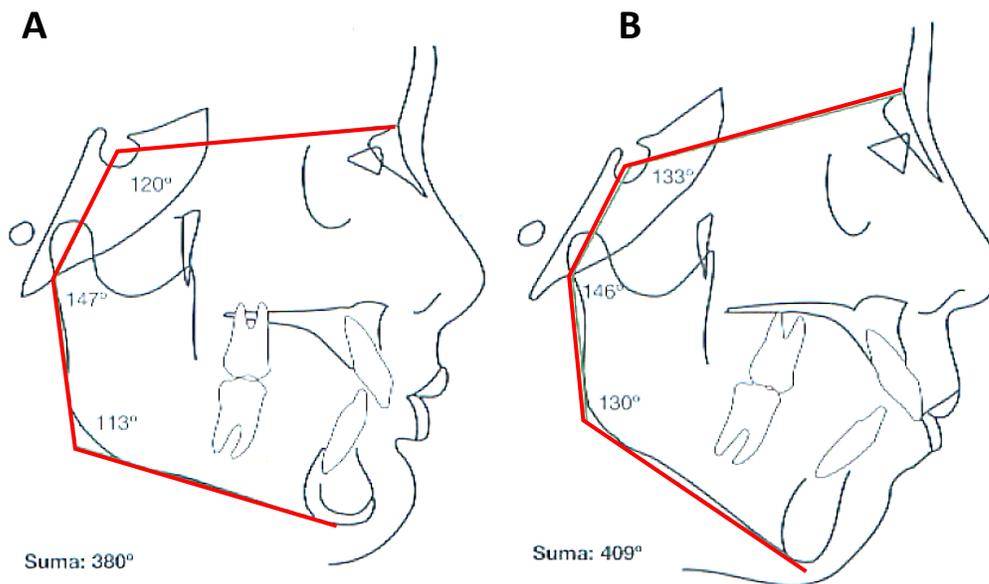


Figura 5. (A) Muestra una suma total del polígono de Björk-Jarabak disminuida, asociada a un biotipo braquifacial. (B) Muestra una suma total del polígono de Björk-Jarabak aumentada, asociada a un biotipo dolicofacial (Gregoret, 1998).

### Clasificación según método del Angulo FMA

El ángulo FMA es formado por la intersección que se produce entre el plano de Frankfurt y el plano Mandibular (Fig. 6). El Plano de Frankfurt se conforma por el punto Orbitario y el punto Porion, fue propuesto como una referencia horizontal en un congreso de Antropología celebrado en la ciudad de Frankfurt en el año 1882. El plano Mandibular se conforma por el punto Menton y el punto Gonion, su trayectoria coincide con el borde inferior del cuerpo mandibular (Dipietro y Moergeli, 1976; Proffit, 2007; Alarcon y cols., 2016; Golstein y Goodacre, 2020; Alarcon y cols., 2020).

Puntos o hitos anatómicos (Cauvi y Madsen, 2007; Subhashchandra, 2013):

- Porion (Pr): Punto más superior del meato auditivo externo.
- Orbitario (Or): Punto más bajo en el margen inferior de la órbita.
- Gonion (Go): Se ubica en la bisectriz del ángulo formado por la tangente al borde posterior de la rama y el borde inferior de la mandíbula.
- Menton (Me): Es el punto más inferior del contorno de la sínfisis.

Clasificación:

- Braquifacial: Valor del ángulo FMA menor a 20°.
- Mesofacial: Valor del ángulo FMA entre 20° a 28°.
- Dolicofacial: Valor del ángulo FMA mayor a 28°

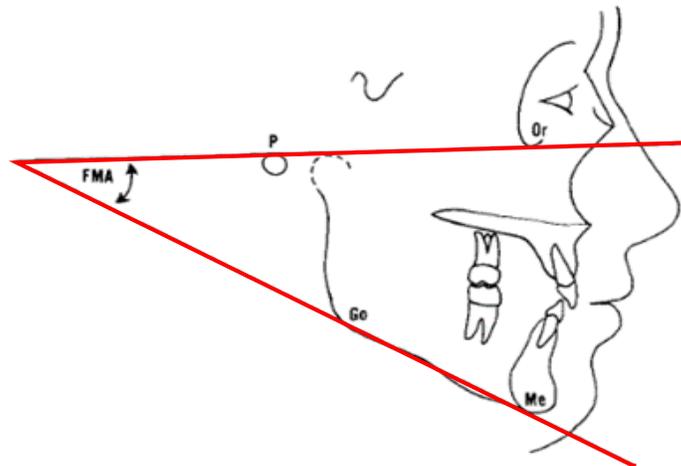


Figura 6. Ángulo FMA (DiPietro and Moergeli, 1976).

### Clasificación según método de Steiner

Estudia el ángulo formado por el plano Silla-Nasion y el plano Mandibular (Fig. 7). Utiliza el plano Silla-Nasion como referencia principal, debido a la fácil identificación de los puntos Silla y Nasion. Respecto al plano Mandibular, propuso utilizar el punto Gnation en lugar del punto Menton. Esto debido a que el plano Gonion-Gnation se encuentra más cercano al eje mayor del cuerpo mandibular, mientras que, el plano Gonion-Menton representa el borde basilar de la Mandíbula (Steiner, 1953; Ricketts, 1972). En población chilena, se ha propuesto utilizar una norma de  $32^{\circ} \pm 6^{\circ}$  (Cerdeira y cols., 2019).

Puntos o hitos anatómicos (Cauvi y Madsen, 2007; Subhashchandra, 2013):

- Nasion (N): Punto más anterior en el medio de la sutura frontonasal.
- Silla turca (S): Corresponde al centro de la cripta ósea ocupada por la hipófisis.
- Gonion (Go): Punto cefalométrico que se ubica en la bisectriz del ángulo formado por la tangente al borde posterior de la rama y el borde inferior de la mandíbula.
- Gnation (Gn): Punto del mentón determinado por la bisectriz del ángulo formado por el plano facial (Nasion - Pogonion) y plano mandibular (Gonion - Menton).

Clasificación:

- Braquifacial: Valor del ángulo menor a  $26^\circ$ .
- Mesofacial: Valor del ángulo entre  $26^\circ$  a  $38^\circ$ .
- Dolicofacial: Valor del ángulo mayor a  $38^\circ$ .

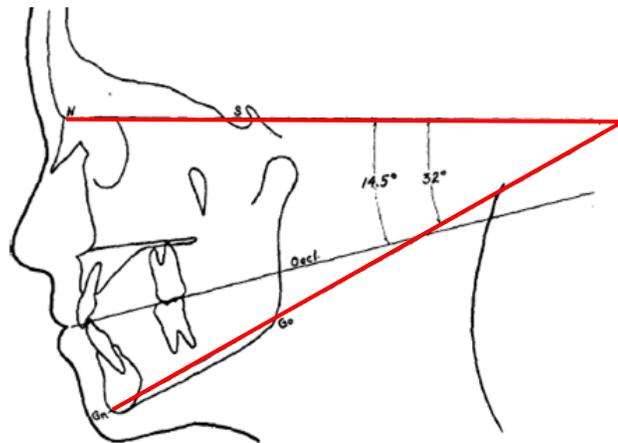


Figura 7. Angulo formado por el plano Silla-Nasion y el plano Mandibular (Steiner, 1953).

Los métodos cefalométricos que utilizan una medida angular para determinar un biotipo facial son ampliamente incluidos en la metodología de publicaciones científicas que estudian este concepto. Adicionalmente, existen otros métodos que utilizan fotografías extraorales, mediciones faciales antropométricas o radiografías panorámicas como elemento de estudio para identificar el biotipo (Carriel, 2021; Parreño, 2021).

En el último tiempo, distintas áreas de investigación han utilizado la Morfometría Geométrica como una nueva herramienta para estudiar la variación de la forma de los objetos biológicos. Respecto de las ciencias odontológicas, se ha utilizado en el análisis de estructuras anatómicas como mandíbula, maxilar y el arco dentario. También, se ha implementado para estudiar el patrón esquelético, la fisura labio palatina y la mordida abierta (Díaz y Manriquez, 2014; Alabdullah y cols., 2015; Correa y cols., 2019).

## MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA

La Morfometría Geométrica ha sido descrita como una fusión empírica de la geometría, la estadística y la Antropología, debido a que considera un espacio geométrico y emplea métodos estadísticos multivariados para analizar la forma de los organismos o de alguna de sus estructuras (Strauss y Bookstein, 1982; Bookstein, 1992; López, 2015).

El espacio geométrico se entiende como un espacio en el cual todos los elementos contenidos en él corresponden a proyecciones de hitos, los hitos son únicamente señalamientos de una posición relativa espacial. Estas proyecciones, al estar fuera de esta relación de posición en la que se encuentran referidas unas con otras, carecen de contenido propio o autónomo (Panofsky y Careaga, 1999). Por su parte, los análisis estadísticos multivariados permiten el estudio e interpretación de un conjunto de datos, el cual contiene múltiples variables registradas en un mismo objeto de estudio. Estos datos, al representar atributos de la misma unidad, suelen estar correlacionados entre sí (Balzarini y cols., 2022). El análisis multivariado utiliza

esta correlación de los datos para caracterizar la muestra, tiene herramientas de análisis que entregan la relación entre las múltiples variables medidas de manera simultánea. Permite entonces, obtener información respecto a la variabilidad multidimensional del conjunto de datos originales, así como, las causas de esta variación.

Un fundamento de la morfometría geométrica es la definición de forma que propone Kendall, “forma es toda la información geométrica que resulta de retirar los efectos de la posición, escala y rotación de un objeto” (Kendall, 1977). Por lo tanto, esta herramienta analiza la estructura de manera independiente a los componentes que no definen su geometría intrínseca, se utiliza para identificar la “forma pura” en una estructura.

El estudio de la variación de la forma, mediante la aplicación de estadística multivariada permitió capturar la estructura geométrica del objeto. Esto significa que, la forma del objeto en estudio no se describe en términos de sus dimensiones, sino, de la relación espacial entre sus componentes o hitos identificados.

### **Morfometría Geométrica de Hitos Discretos**

Es un método que utiliza hitos representativos de una estructura. Un hito o landmark, corresponde a un punto del espacio identificable, este punto posee coordenadas cartesianas  $(x, y$  o  $x, y, z)$ , las cuales describen su posición en el espacio geométrico (Bookstein, 1992). En morfometría geométrica, los conjuntos de hitos o mapas de homología corresponden a los datos primarios que luego son sometidos a análisis multivariado para identificar y cuantificar la asociación entre la posición relativa espacial y las variables de interés estudiadas, como podría ser edad, etnia, sexo, población, entre otras (Rohlf y Marcus, 1993; Cooke y Terhune, 2014; Nakamura y cols., 2020).

Para poder eliminar las variaciones de tamaño en el estudio de la forma, la morfometría geométrica utiliza el tamaño del centroide. Este se define como la raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado de cada hito hasta el centroide (Fig. 8) (Kendall, 1997; Zelditch y cols., 2004). El tamaño del centroide es utilizado como un estimador de tamaño, se considera como una medida que cuantifica la extensión de los hitos en torno a su centro de gravedad, siendo independiente de los componentes de la forma. Permite también, eliminar la variación en la posición realizando un desplazamiento de las configuraciones de hitos anatómicos de modo que compartan el mismo tamaño del centroide. Finalmente, estas configuraciones se pueden rotar en torno al tamaño del centroide hasta encontrar una orientación óptima para el estudio o análisis (Klingenberg, 2013).

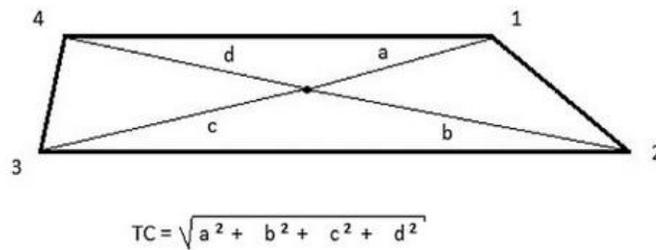


Figura 8. Determinación del tamaño del centroide en un cuadrilátero (Toro y cols., 2010).

En términos generales, se busca reducir las diferencias de la forma debido a tamaño, posición y rotación (Fig.9 y Fig.10). La manera más común de minimizar estas diferencias entre especímenes y respecto a la configuración de consenso corresponde al Análisis de Procrustes (Toro y cols., 2010).

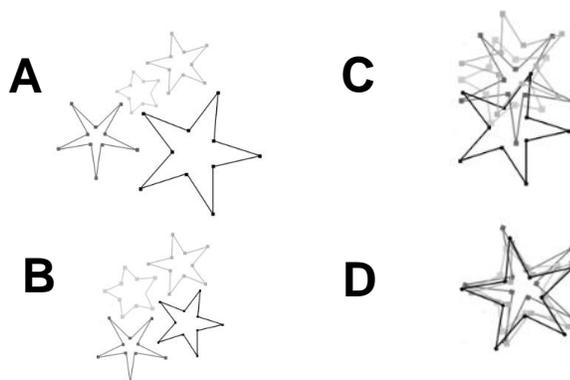


Figura 9. Representación generalizada de los análisis de Procrusto (López, 2015). A. Identificación de los hitos. B. La configuración de hitos se escala a un tamaño de consenso. C. Traslación de las configuraciones de hitos o mapas de homología a un mismo origen en el sistema de coordenadas. D. Rotación de las configuraciones de hitos para obtener la menor diferencia posible en la posición de cada hito.

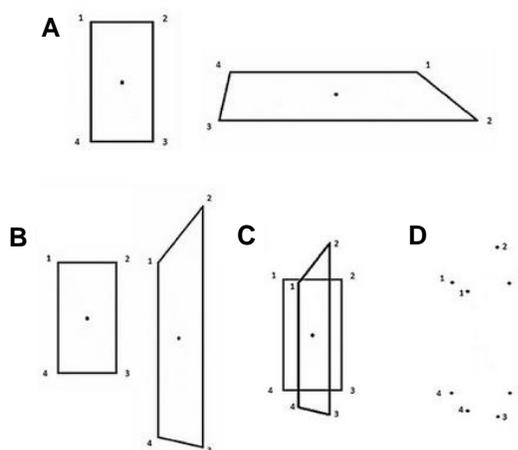


Figura 10. Representación del análisis de Procrusto (Toro y cols., 2010). A. Identificación de hitos. B Rotación de la configuración de hitos o mapa de homología. C. Traslación y escalado de las configuraciones a través de la superposición de el tamaño del centroide de cada uno. D. Resultado final, se eliminó las diferencias debido a posición, rotación y tamaño.

La Morfometría Geométrica ha sido implementada en el análisis de las estructuras craneofaciales, planteándose como una herramienta coadyuvante en el análisis de la forma que ofrece un nuevo método analítico multivariado que podría ser de utilidad en la práctica clínica en un futuro (Halazonetis, 2004; Katsadouris A., 2017).

Existen diversos análisis estadísticos multivariados que pueden ser aplicados al método de morfometría geométrica, los más utilizados corresponden a: el análisis de componentes principales, la función de placa delgada y la función discriminante lineal.

El Análisis de Componentes Principales corresponde a una técnica que reduce la dimensión de la información original, busca simplificar un conjunto de datos cuantitativos procedentes de variables interrelacionadas. Este análisis construye un nuevo conjunto de variables no correlacionadas entre sí, llamadas componentes principales (CP). Los componentes principales contienen la varianza presente en la información original, se obtienen mediante combinaciones lineales de las variables originalmente medidas. Esta información se representa en gráficos de dispersión, donde los ejes corresponden a los componentes principales que contienen el mayor porcentaje de variación de los datos, Componente Principal 1 (CP1) y Componente Principal 2 (CP2). Además, permite correlacionar la información graficada con información auxiliar, usada para agrupar, clasificar, formular modelos e hipótesis (Lozarey y López, 1991; Almenara y cols., 2002; Salinas y cols., 2006).

La función de placa delgada (Thompson, 1917; Rohlf y Slice, 1990; Bookstein, 1991) es utilizada para representar cambios entre dos formas en un espacio morfométrico de deformación continua, en el que existe una continuidad de la variación morfológica entre las distintas configuraciones de hitos existentes. Esta función se basa en la metáfora de que existe una placa de metal de un grosor infinitesimal, la cual contiene una configuración de hitos. Al comparar dos configuraciones de hitos, se debe fijar una placa de metal con su configuración correspondiente, para luego, sobreponer los hitos homólogos de una segunda placa. La placa que debió ajustarse a la placa fija para homologar los hitos sufre una deformación, el grado o magnitud de esta deformación dependerá de la similitud o diferencia morfológica entre las configuraciones de hitos comparadas.

Para visualizar la deformación de la placa que contiene los hitos, se esquematizan grillas en su superficie, de esta manera las grillas pueden expandirse o contraerse para poder realizar la homologación de puntos. El análisis de deformación relativa determina una configuración de consenso, que corresponde a un promedio de todas las configuraciones de hitos analizadas. Se ubica en el centro (0, 0) del espacio morfométrico, en donde no existe ninguna deformación de grillas (Fig. 11).

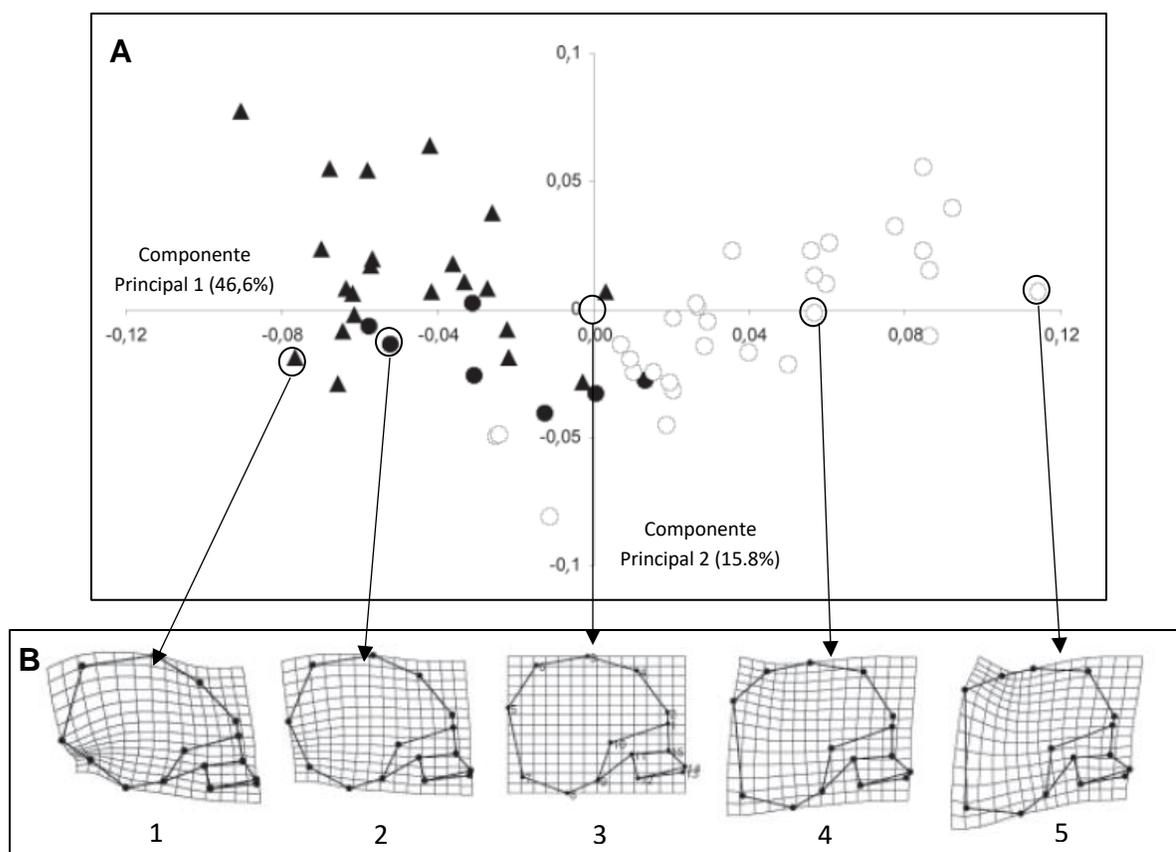


Figura 11. Análisis de deformación relativa realizado en especímenes fósiles comparado con especímenes contemporáneos (Manriquez y cols., 2006). A. Corresponde a un espacio morfométrico construido mediante análisis de componentes principales, se estudió una configuración de hitos que representa la estructura craneofacial de especímenes arqueológicos y contemporáneos. B. Configuraciones de hitos de distintos especímenes que se ubican a lo largo del eje que acumula la mayor variación (CP1, 46.6%). La deformación que presentan las grillas representa la magnitud y dirección de deformación de la forma. La configuración de hitos número 3 corresponde a la configuración de consenso, en donde no existe ninguna deformación de grillas.

## B. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La cefalometría ha sido utilizada ampliamente a nivel mundial para el diagnóstico del biotipo facial. Sin embargo, se ha planteado que esta metodología no permite estudiar separadamente la forma del tamaño, es decir, no separa correctamente las variaciones debidas al crecimiento (tamaño), respecto de las variaciones debidas al desarrollo (forma) (McIntyre y Mossey 2003). Además, no existe una medida de escala, la cual es necesaria si se desea comparar la variación de la forma entre individuos con diferentes tamaños craneofaciales (Manriquez y cols., 2011; Montt y cols., 2015; Parcha, 2017).

Por otro lado, los diferentes análisis cefalométricos fueron elaborados a partir de estudios que utilizaron poblaciones norteamericanas y europeas principalmente, de donde se obtuvieron las normas que son utilizadas actualmente en el diagnóstico dentoalveolar. Dichas normas no debieran ser utilizadas en poblaciones de distinto origen y ancestría (Munandar, 1995). Investigaciones que utilizaron la cefalometría para analizar una muestra obtenida de población chilena, concluyeron que existen diferencias significativas en ciertas mediciones cefalométricas. Debido a esto, propusieron usar parámetros o normas que se ajusten a la realidad étnica de Chile (Montt y cols., 2015; Cerda y cols., 2019).

La cefalometría permite identificar sin mayores dificultades a los individuos que presentan un biotipo facial muy marcado o extremo. Sin embargo, la capacidad de discriminar correctamente el biotipo disminuye cuando se analizan patrones leves o intermedios (Benedicto y cols., 2016). Una posible explicación es la variabilidad que pueden presentar los planos y puntos de referencia utilizados (Foster y cols., 1981; Arnett y Gunson, 2004). También se ha discutido respecto a la posición en la cual se toma el registro de telerradiografía lateral de cráneo. Por protocolo, la cabeza del paciente debe posicionarse con el plano de Frankfurt paralelo al piso. Sin embargo, esta no siempre coincide con la posición natural de la cabeza del paciente. La estandarización de la toma del examen radiográfico puede resultar en que la posición natural de la cabeza del paciente no esté bien representada o se encuentre alterada.

Ante las limitaciones descritas anteriormente, algunos investigadores del campo de la Ortodoncia comenzaron a explorar y estudiar metodologías diferentes para el análisis de la forma (Dibbets, 1996; Singh y cols., 1997; Katsadouris y Halazonetis, 2017). Autores chilenos exploraron en el uso de la morfometría geométrica de hitos discretos para el diagnóstico de clase esquelética y biotipo facial (Díaz y Manríquez, 2014).

Una reciente investigación utilizó el análisis de morfometría geométrica de hitos discretos para analizar la variación morfológica de las estructuras craneofaciales observadas en una telerradiografía lateral de cráneo. Esta investigación desarrolló una propuesta de clasificación diagnóstica que integra en su análisis la variación morfológica craneofacial en su componente sagital (clase esquelética) y componente vertical (biotipo facial) (Bastidas, 2021). Esta clasificación establece que existen tres niveles de severidad (leve – moderada - severa) para describir la expresión del biotipo braquifacial y dolicofacial, así como para la clase esquelética II y III.

El presente trabajo busca analizar la concordancia taxonómica (Farris, 1971) de la clasificación de morfometría geométrica y las clasificaciones cefalométricas convencionales (Bastidas, 2021). Además, se analizará la concordancia diagnóstica entre las clasificaciones y el nivel de sensibilidad diagnóstica que muestra la clasificación de morfometría geométrica respecto a cada clasificación cefalométrica. El término de concordancia o congruencia taxonómica, en el marco de esta investigación, hace referencia al grado o nivel de correspondencia existente entre dos clasificaciones, en cuanto a la similitud en la forma de agrupar o separar la muestra. Las clasificaciones comparadas se generan a partir de observaciones o mediciones distintas realizadas sobre el mismo grupo de estudio o muestra (Farris, 1971; Crisci, 1984).

### III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

#### A. HIPÓTESIS

La clasificación de biotipo facial obtenida mediante morfometría geométrica es concordante con las clasificaciones cefalométricas.

#### B. OBJETIVO GENERAL

Determinar el nivel de concordancia que existe entre la clasificación de morfometría geométrica y las clasificaciones cefalométricas.

#### C. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Determinar el biotipo facial mediante cefalometría convencional, según los métodos de Björk-Jarabak, ángulo FMA y Steiner.
- 2) Determinar el biotipo facial mediante la clasificación de morfometría geométrica.
- 3) Determinar el nivel de concordancia taxonómica de la clasificación de biotipo facial según morfometría geométrica con las clasificaciones cefalométricas según los métodos de Björk-Jarabak, ángulo FMA y Steiner.
- 4) Determinar el nivel de concordancia diagnóstica de la clasificación de biotipo facial según morfometría geométrica con las clasificaciones cefalométricas según los métodos de Björk-Jarabak, ángulo FMA y Steiner.
- 5) Determinar la sensibilidad diagnóstica de la clasificación de biotipo facial según morfometría geométrica en relación con las clasificaciones cefalométricas según los métodos de Björk-Jarabak, FMA y Steiner.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. TIPO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio de tipo descriptivo transversal cuantitativo.

### B. MUESTRA

El universo se compuso de 439 telerradiografías laterales de cráneo, provenientes de la base de datos depositada en el Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (CA2). Corresponden a exámenes imagenológicos iniciales de pacientes que fueron evaluados en la clínica de postítulo de Ortodoncia, en la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.

### C. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Telerradiografías laterales de cráneo correspondientes a pacientes mayores de 18 años.

Telerradiografías laterales de cráneo con una calidad de imagen que permita la identificación de los puntos cefalométricos a utilizar en esta tesis.

Telerradiografías laterales de cráneo correspondientes a pacientes sin antecedentes de tratamientos ortopédicos, ortodóncicos o quirúrgicos maxilofaciales.

### D. DETERMINACIÓN DEL BIOTIPO FACIAL MEDIANTE CEFALOMETRÍA

Para el análisis cefalométrico se utilizó el programa WebCeph™, Version 1.0.0. Se identificaron y digitalizaron los hitos anatómicos utilizados en cada método cefalométrico (Fig.12) (Anexo n°1). Se realizó la clasificación del biotipo facial según el valor de referencia del ángulo establecido para cada método cefalométrico. En la Tabla 1 se expresan los valores de referencia establecidos para cada clasificación cefalométrica (Tab. 1). La información se registró en el programa Microsoft® Excel.



## E. DETERMINACIÓN DEL BIOTIPO FACIAL MEDIANTE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA

Para el diagnóstico de biotipo facial mediante morfometría geométrica se utilizó la clasificación elaborada en la tesis titulada “Desarrollo de un Algoritmo de Morfometría Geométrica para Diagnóstico Dentoalveolar” (Bastidas, 2021). La propuesta de clasificación corresponde a un espacio morfométrico conformado por el componente principales 1 (PC1) y componente principal 2 (PC2) de la forma, los valores de componentes principales para cada individuo corresponden a coordenadas cartesianas (x, y) en el espacio morfométrico (Fig. 13). Estos componentes principales corresponden al conjunto de variables que explican el mayor porcentaje de variación en la morfología craneofacial en el sentido sagital y vertical. En el eje x se encuentra el PC1, asociado a la relación sagital del maxilar y la mandíbula (clase esquelética), mientras que, en el eje y se encuentra el PC2, que se asocia a la variación vertical (biotipo facial). De esta forma, se define que existen 4 extremos en el espacio morfométrico, extremo braquifacial, dolicofacial, Clase III y Clase II. Para determinar un diagnóstico con esta clasificación, se debe identificar la ubicación de cada individuo (configuración de hitos) en el mapa morfométrico.

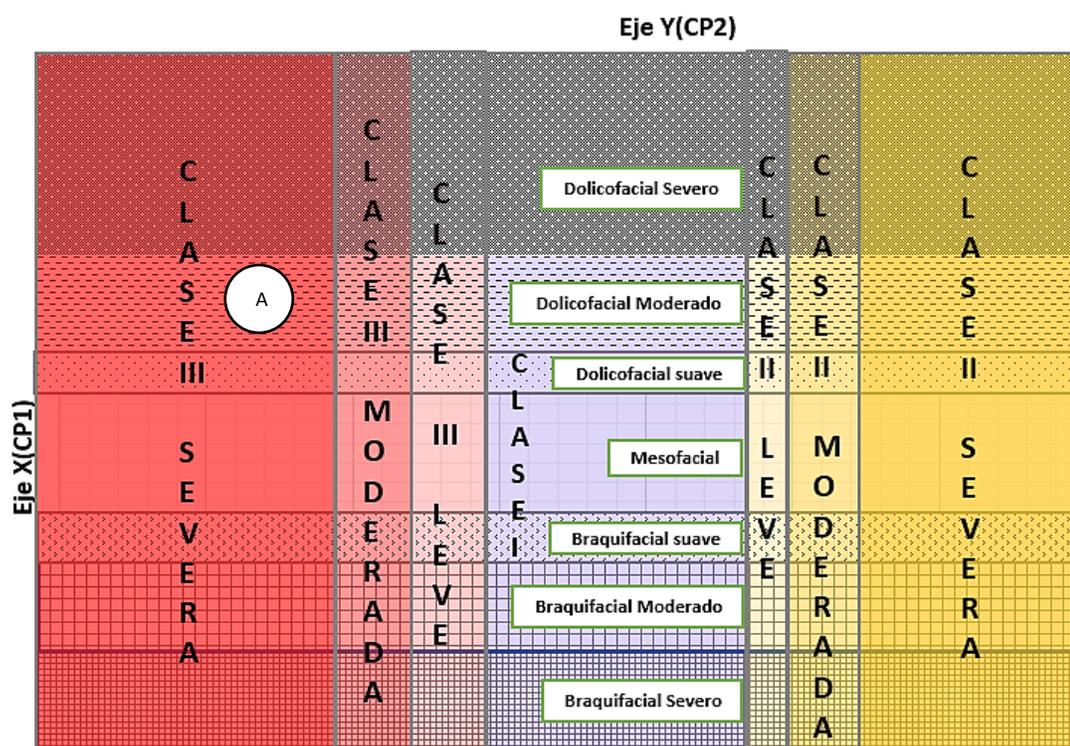


Figura 13. Clasificación mediante Morfometría Geométrica para Clase Esquelética y Biotipo Facial. (A) Individuo clasificado como dolicofacial moderado y clase III severa, en base a su ubicación en este espacio morfométrico.

## F. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

La concordancia taxonómica entre las distintas clasificaciones se analizó mediante test de Mantel (Mantel, 1967; Sokal, 1979) en el programa Past 4.03 (Hammer y cols., 2001). Este test de permutación analiza la correlación entre dos (Mantel de dos vías) o tres (Mantel de tres vías) matrices de distancia. Se generó una matriz de distancia para cada método de clasificación de biotipo facial. La matriz de distancia de morfometría geométrica se generó a partir de la ubicación de cada individuo en el espacio morfométrico, que se expresa mediante un valor para el componente principal 1 y 2. Respecto de las clasificaciones cefalométricas, la matriz de distancia se creó a partir del valor angular obtenido. Este test arroja un valor  $r$  de correlación que tiene un rango de 0 a 1. (Mantel, 1967; Sokal, 1979; Diniz y cols., 2013).

La concordancia diagnóstica se determinó mediante test de kappa en el programa Past 4.03 (Hammer y cols., 2001). Este test utiliza el diagnóstico que cada clasificación identificó en la muestra y determina el nivel de concordancia entre pares de clasificaciones. Para esto, descarta aquellas concordancias en el diagnóstico que son atribuidas al azar. El test entrega un valor de coeficiente de kappa, el cual tiene un rango de 0 a 1. Se interpreta como nivel o fuerza de concordancia: pobre [0,00], leve [0,01-0,20], aceptable [0,21-0,40], moderada [0,41-0,60], considerable [0,61-0,80] o casi perfecta [0,81-1] (Landis y Koch, 1977; Cerda y Villarroel, 2008).

Para determinar la sensibilidad diagnóstica de la clasificación de morfometría geométrica se utilizó el análisis de función discriminante en el programa Past 4.03 (Hammer y cols., 2001). Este análisis estadístico sirve para determinar la capacidad de un método de clasificación para distinguir correctamente un diagnóstico o condición (Parikh y cols., 2008). Para esto se utilizó el diagnóstico de biotipo facial obtenido de la clasificación de morfometría geométrica y los valores angulares de cada clasificación cefalométrica como referencia.

## V. RESULTADOS

El promedio de edad de la muestra es de 25 años, con una desviación estándar de 7 años y un rango de edad de 18 a 69 años. La mayor proporción de la muestra está constituida por adultos jóvenes entre 18 a 32 años. En la Tabla 2 se expresan los valores de promedio y rango de edad de la muestra en general y según sexo (Tab. 2).

Tabla 2. Promedio y rango de edad de la muestra

	n	Rango edad	Promedio edad
Muestra	439	18-69 años	25 años, $\pm 7,50$
Mujeres	276	18-60 años	25 años, $\pm 7,0$
Hombres	163	18-69 años	24.5 años, $\pm 7,3$

### Concordancia taxonómica entre clasificaciones

La concordancia taxonómica se analizó con test de Mantel, se determinó mediante el valor  $r$  de correlación que entrega. En la Tabla 3 se expresan los resultados del test de Mantel de dos vías, que compara dos clasificaciones entre sí (Tab. 3).

El mayor nivel de correlación obtenido fue entre la clasificación cefalométrica según ángulo FMA y Steiner ( $r=0,62$ ).

Se obtuvo un valor de correlación similar al comparar la clasificación de morfometría geométrica con la clasificación según ángulo FMA ( $r=0,328$ ) y Steiner ( $r=0,325$ ).

Existe una correlación mínima entre la clasificación de morfometría geométrica y de Björk-Jarabak ( $r=0,13$ ). Por lo tanto, esta clasificación cefalométrica que utiliza la suma de tres medidas angulares para clasificar el biotipo facial genera una distribución de la muestra con escasa concordancia taxonómica respecto de la clasificación de morfometría geométrica. A su vez, este resultado manifiesta que el método cefalométrico según Björk-Jarabak no describe una variación en la forma de las estructuras craneofaciales que se aprecie en el espacio morfométrico.

En la Tabla 3, el valor expresado en la fila “porcentaje concordancia” se calculó mediante un ajuste matemático del valor  $r$  de correlación obtenido al comparar dos clasificaciones. Para ello se realizó la suma de todos los valores  $r$  de correlación, que corresponde al 100% de correlación. Luego, se determinó qué porcentaje del total de correlación representa cada valor de  $r$  obtenido al comparar dos clasificaciones. Se realizó un cálculo por separado para las comparaciones entre clasificaciones cefalométricas y las comparaciones entre clasificación de morfometría geométrica y cefalometría.

En la Tabla 4 se expresan los resultados del test de Mantel de tres vías, que compara tres clasificaciones de manera simultánea (Tab. 4). Se obtuvo un valor de  $p$  no significativo para el grupo Morfometría Geométrica - ángulo FMA - Björk-Jarabak y Morfometría Geométrica – Steiner – Björk-Jarabak. Esto indica que existe una alta dispersión en los datos analizados y que la correlación encontrada puede atribuirse al azar.

En el test de Mantel de tres vías que comparó la clasificación de morfometría geométrica, ángulo FMA y Steiner de manera simultánea, se obtuvo un valor de  $r = 0,170$ . Este valor indica una correlación leve entre las matrices de estas clasificaciones.

Tabla 3. Test de Mantel de dos vías

	MG - BJ/GBK	MG - FMA	MG - STR	BJ/GBK - FMA	BJ/GBK - STR	FMA - STR
Valor $r$ de correlación	0,130	0,328	0,325	0,276	0,340	0,623
porcentaje concordancia	17%	42%	42%	22%	27%	50%
Valor de $p$	0,0097	0,0001	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001

BJ/GBK=clasificación según Björk-Jarabak, FMA=clasificación según ángulo FMA, STR=clasificación según Steiner, MG=clasificación de morfometría geométrica.

Tabla 4. Valor  $r$  de correlación y valor de  $p$  obtenidos en cada comparación del test de Mantel de tres vías.

	MG - FMA - BJ/GBK	MG - STR - BJ/GBK	MG - STR - FMA	BJ/GBK - STR - FMA
Valor $r$ de correlación	0,043	0,021	0,170	0,087
Valor de $p$	0,1028	0,1858	0,0001	0,0217

La clasificación de morfometría geométrica mostró el mismo valor de correlación con la clasificación según ángulo FMA y Steiner. Con este resultado se establece una concordancia taxonómica leve entre estas clasificaciones. Por lo tanto, existe un nivel de similitud leve en la distribución o agrupación de la muestra obtenida de cada método de clasificación.

La Fig. 14 corresponde al espacio morfométrico a partir del cual se generó la propuesta de clasificación morfometría geométrica. En este espacio morfométrico, se aprecia este nivel de similitud en la agrupación de la muestra al observar las configuraciones de hitos de individuos que se ubicaron a lo largo del eje y (Componente Principal 2).

En la configuración de hitos de cada individuo se trazaron tres líneas que representan los planos Silla-Nasion, Frankfurt y Mandibular (Fig. 15). Se observó que hacia el extremo superior existe un aumento en la divergencia del plano mandibular con respecto al plano Silla- Nasion y plano de Frankfurt, mientras que, hacia el extremo inferior se aprecia una menor divergencia de estos planos óseos (Fig. 16). En base a esto se señala que la divergencia del plano mandibular respecto de un plano horizontal de referencia (Frankfurt o Silla-Nasion) es una variación de la forma craneofacial que se visualiza perfectamente en el espacio morfométrico.

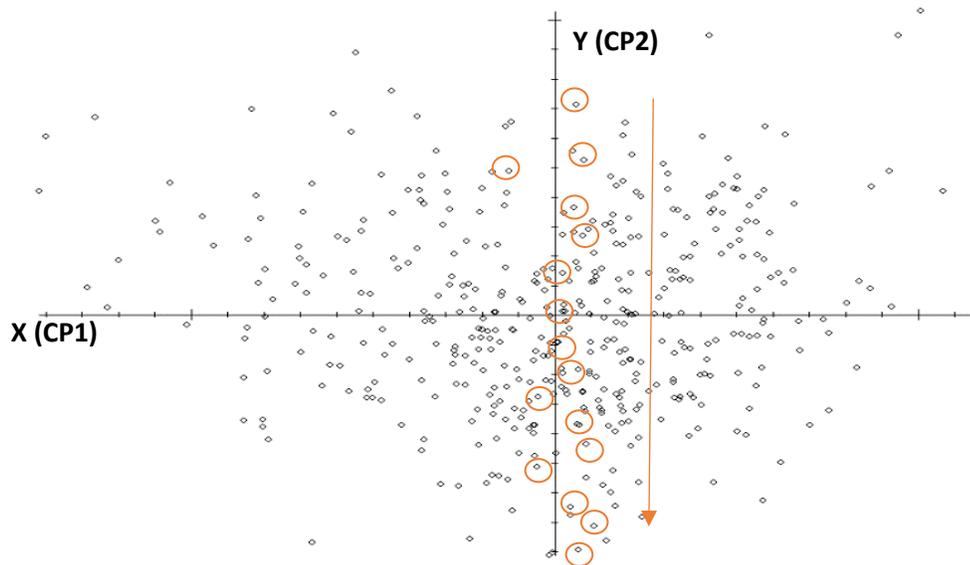


Figura 14. Espacio morfométrico de referencia. Los círculos señalan las configuraciones de hitos de 16 individuos que se ubicaron a lo largo del eje y.

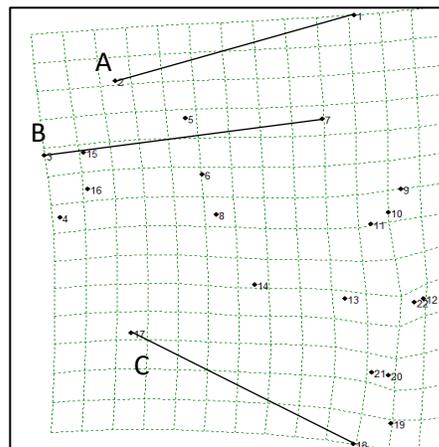


Figura 15. Configuración de hitos o mapa de homologías que representa la estructura craneofacial. (A) Plano Silla-Nasion, (B) Plano de Frankfurt, (C) Plano Mandibular (Gonion-Menton).

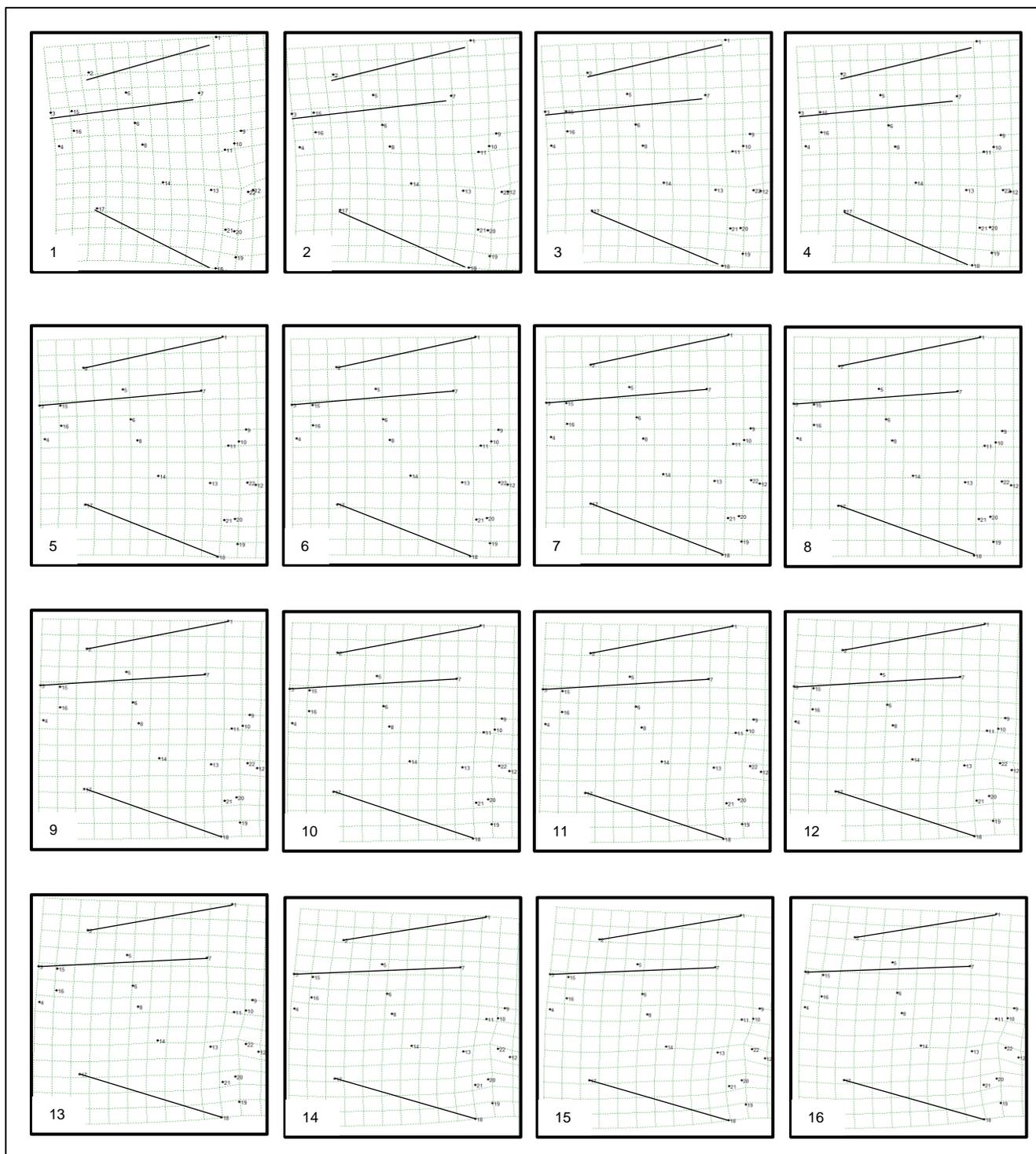


Figura 16. Configuraciones de hitos de 16 individuos identificadas a lo largo del eje y. Las líneas representan el plano Nasion-Silla, plano de Frankfurt y plano Mandibular para observar la variación entre estos planos a medida que se avanza desde el extremo superior (1) hacia el extremo inferior (16) del espacio morfométrico.

Para analizar la relación entre la ubicación de cada individuo dentro de este espacio morfométrico (valor de componente principal 2) y la divergencia de los planos óseos descritos (valor angular), se realizó un gráfico de dispersión con ambas mediciones (Fig. 17, Fig. 18 y Fig. 19). En cada gráfico, se encuentra expresada una línea de tendencia junto con un valor  $r$  de Pearson para cada biotipo facial. El valor de  $r$  presentó distintos valores para cada clasificación y grupo de biotipo facial.

A medida que aumenta el valor del ángulo, los datos tienden a ubicarse hacia el extremo dolicofacial (valores negativos de componente principal 2). Esta observación descrita es congruente con los resultados del test de Mantel, que indican una correlación de la matriz de distancia de la clasificación de morfometría geométrica con la matriz de distancia correspondiente a cada clasificación cefalométrica.

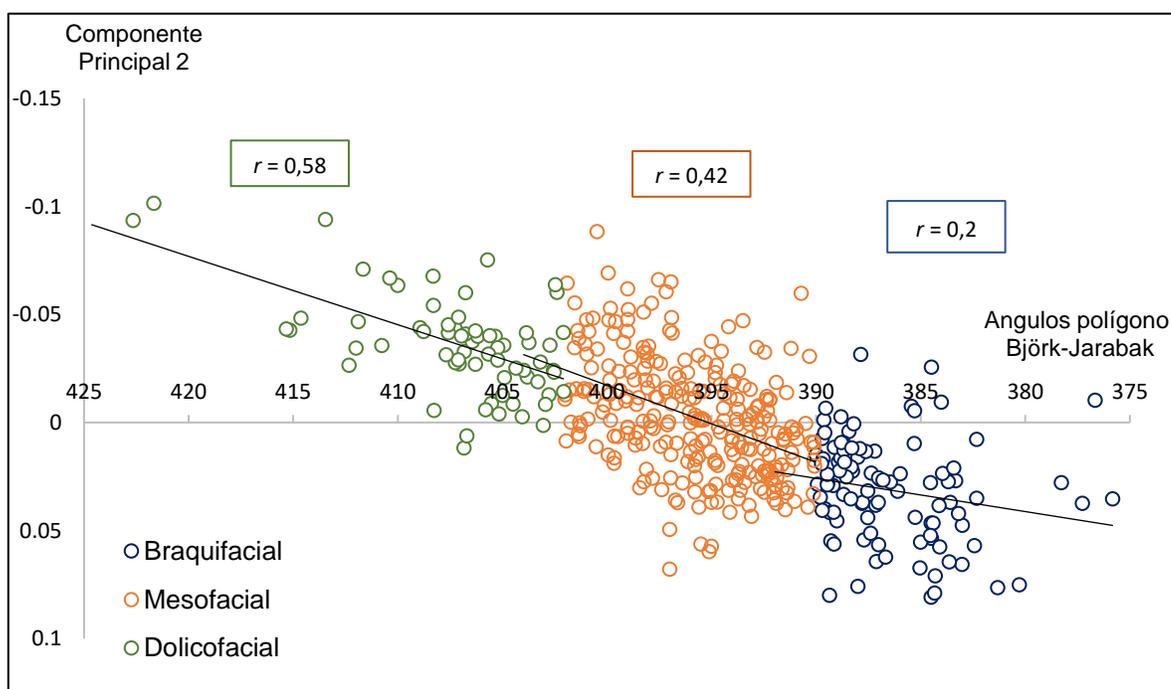


Figura 17. Gráfico de dispersión para valor de componente principal dos y valor de la suma de ángulos del polígono Björk-Jarabak.

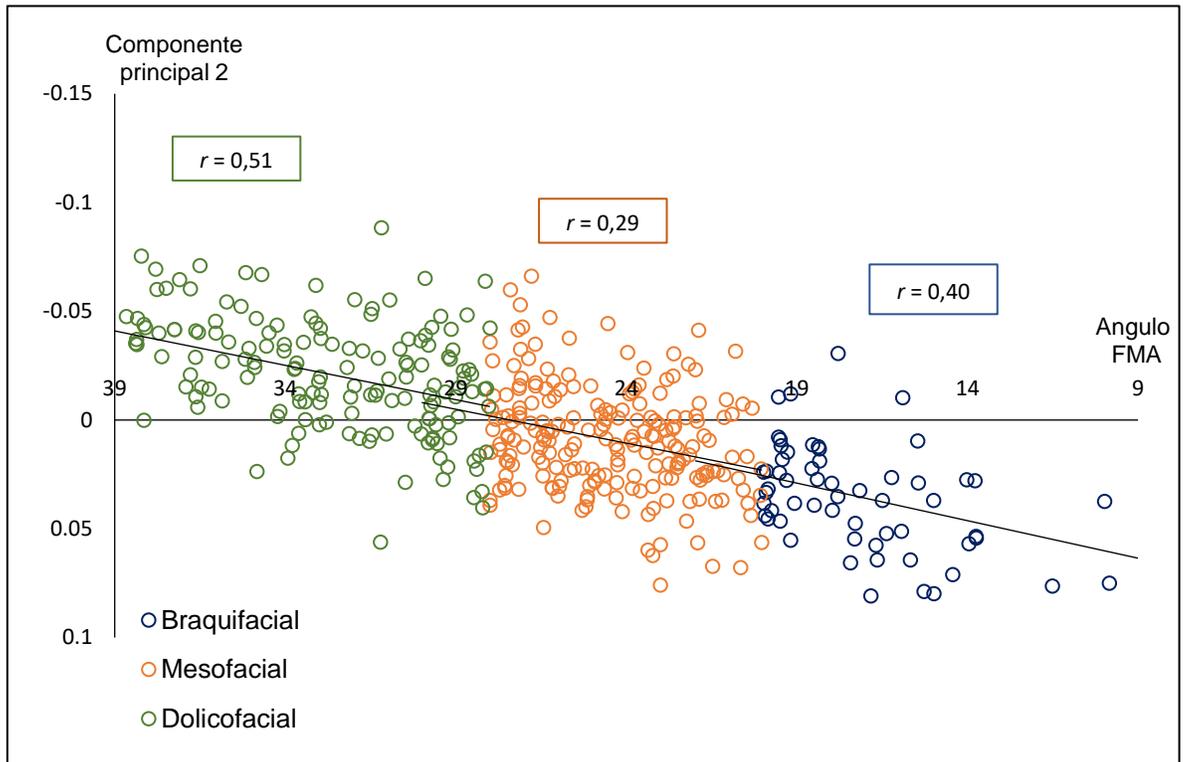


Figura 18. Gráfico de dispersión para valor de componente principal dos y valor del ángulo FMA.

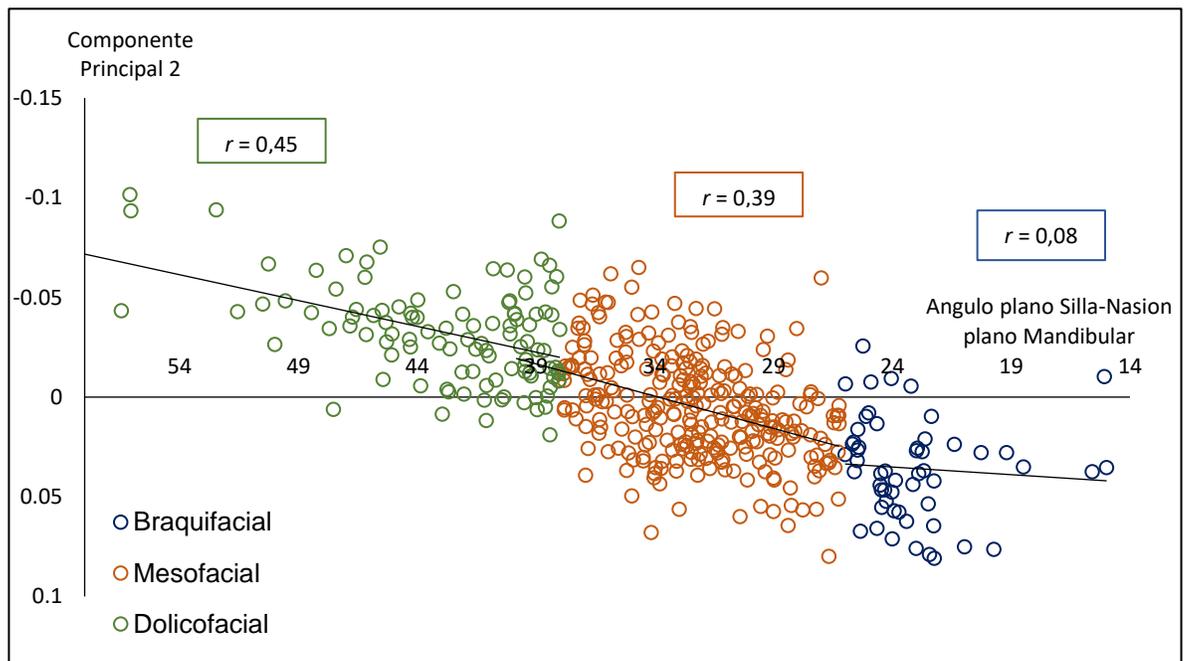


Figura 19. Gráfico de dispersión para valor de componente principal dos y valor del ángulo formado por plano Silla-Nasion y plano Mandibular (Método de Steiner).

En la Fig. 18 se observa que la línea de tendencia y el valor  $r$  de correlación es similar para los tres grupos de biotipo, braquifacial ( $r=0,4$ ), mesofacial ( $r=0,29$ ) y dolicofacial ( $r=0,51$ ).

Respecto a la clasificación cefalométrica según Björk-Jarabak y Steiner, el grupo braquifacial presenta una línea de tendencia con una menor inclinación en conjunto con un menor valor  $r$  de correlación,  $r=0,2$  y  $r=0,08$  respectivamente. El grupo mesofacial y dolicofacial presentan un valor correlación que establece una relación entre valor angular y valor de componente principal 2. A mayor valor angular, existe una tendencia hacia un mayor valor negativo de Componente Principal 2.

Si bien se observó una relación entre el valor angular y el valor de componente principal 2, esta relación no se condice con la distribución espacial que presenta la muestra en el espacio morfométrico. La distribución de la muestra en el espacio morfométrico clasificada según método de Björk-Jarabak, ángulo FMA y Steiner se observa en la Fig.20, Fig. 21 y Fig. 22 respectivamente

En las tres figuras se aprecia que el grupo braquifacial tiende a ubicarse hacia el extremo inferior derecho, mientras que, el grupo dolicofacial tiende a ubicarse hacia el extremo superior izquierdo. El grupo mesofacial se encuentra disperso entre ambos grupos, por lo que no se puede identificar una posición espacial clara para este biotipo. El grupo braquifacial se encuentra separado levemente del grupo dolicofacial debido a esta relación con el valor de componente principal 2. Sin embargo, esta separación es mínima debido a que la ubicación de cada individuo también está determinada por el valor de componente principal 1.

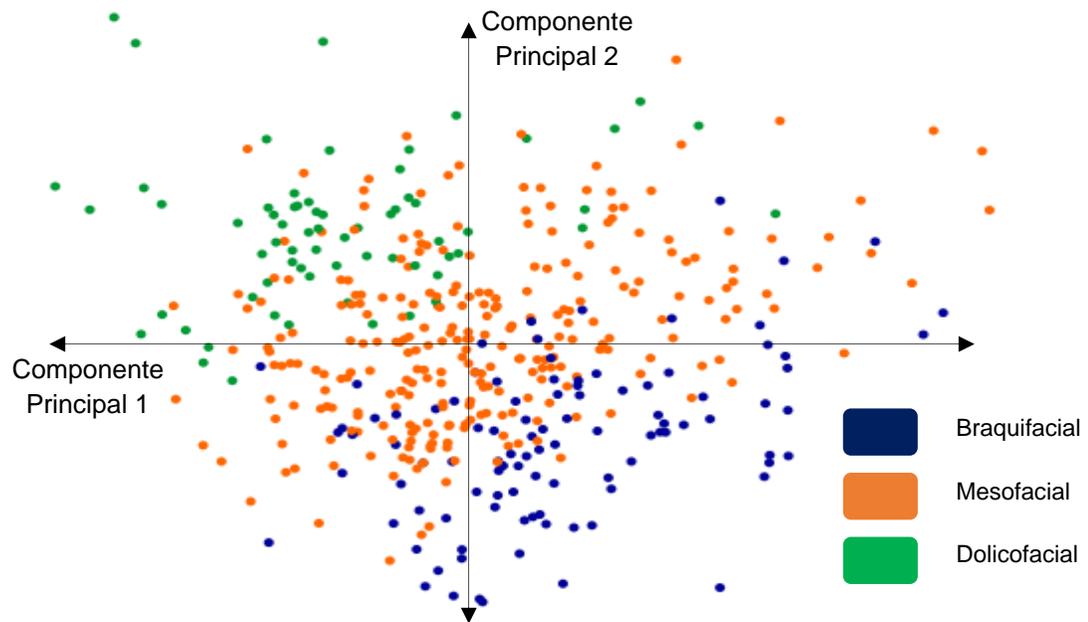


Figura 20. Distribución de la muestra en el espacio morfométrico clasificada según método de Björk-Jarabak.

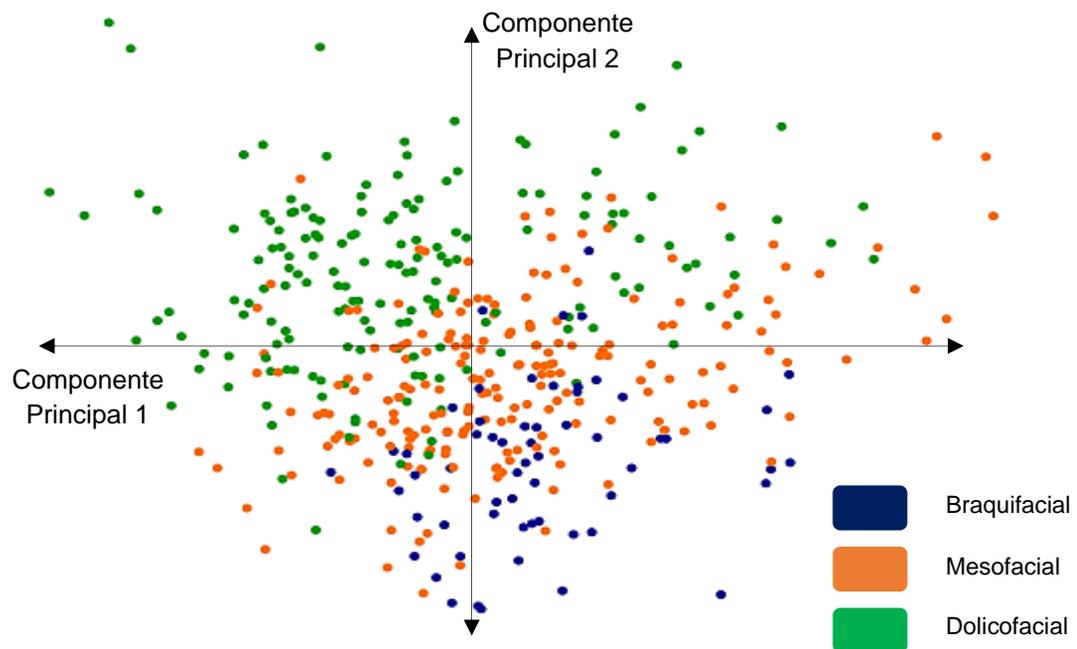


Figura 21. Distribución de la muestra en el espacio morfométrico clasificada según método del ángulo FMA.

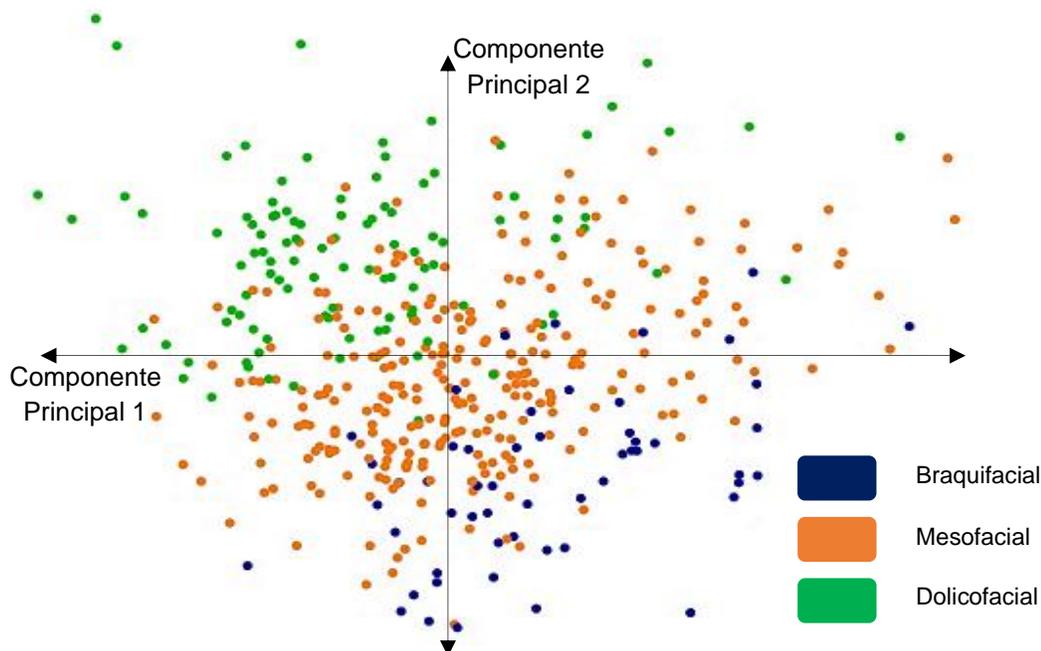


Figura 22. Distribución de la muestra en el espacio morfométrico clasificada según método de Steiner

En base a la distribución espacial de la muestra clasificada según los parámetros cefalométricos y la relación observada entre el valor angular y valor componente principal 2, se plantean dos observaciones.

Existen individuos con el mismo diagnóstico de biotipo facial determinado mediante cefalometría, que presentan una ubicación espacial distante dentro de este espacio morfométrico de referencia. Se puede señalar que la variación morfológica que describe cada clasificación cefalométrica corresponde a una parte del total de la variación de las estructuras craneofaciales establecida mediante el análisis de morfometría geométrica.

Hay individuos que presentan un diagnóstico de biotipo facial diferente a pesar de que su ubicación espacial en este espacio morfométrico sea cercana. Por lo tanto, dos individuos que presentan una escasa variación en la morfología craneofacial son clasificados con un biotipo facial distinto debido a una diferencia en el valor angular de la medición cefalométrica.

## Concordancia diagnóstica entre clasificaciones

Mediante test de kappa se comparó la concordancia del diagnóstico de biotipo facial obtenido de la clasificación de morfometría geométrica (MG) con el diagnóstico obtenido en cada clasificación cefalométrica, Björk-Jarabak (BJ/GBK), ángulo FMA (FMA) y Steiner (STR). Además, se comparó la concordancia entre clasificaciones cefalométricas (Tab. 5).

La mayor concordancia se obtuvo entre FMA-STR, que muestran una concordancia considerable en el diagnóstico ( $\kappa = 0,62$ ).

La morfometría geométrica mostró una concordancia diagnóstica moderada con la clasificación según ángulo FMA y Steiner, mientras que, obtuvo un menor nivel de concordancia con Björk-Jarabak. Al comparar las clasificaciones cefalométricas entre sí, se obtuvieron variados niveles de concordancia diagnóstica, desde aceptable a considerable.

Tabla 5. Resultados del test de kappa y nivel de concordancia diagnóstica observada.

	MG - BJ/GBK	MG - FMA	MG - STR	BJ/GBK - FMA	BJ/GBK - STR	FMA - STR
Valor de kappa	0,35	0,49	0,41	0,38	0,55	0,62
Nivel de concordancia	Aceptable	Moderada	Moderada	Aceptable	Moderada	Considerable

Al comparar la concordancia diagnóstica entre los distintos métodos de clasificación para biotipo facial, se obtuvieron distintos niveles de concordancia. Solo se obtuvo un nivel considerable de concordancia diagnóstica entre la clasificación según ángulo FMA y Steiner.

### Frecuencia de biotipo facial obtenido en cada clasificación

La distribución de frecuencias de cada biotipo facial según cada método de clasificación (Tab. 6) se representó mediante gráficos circulares (Fig. 23).

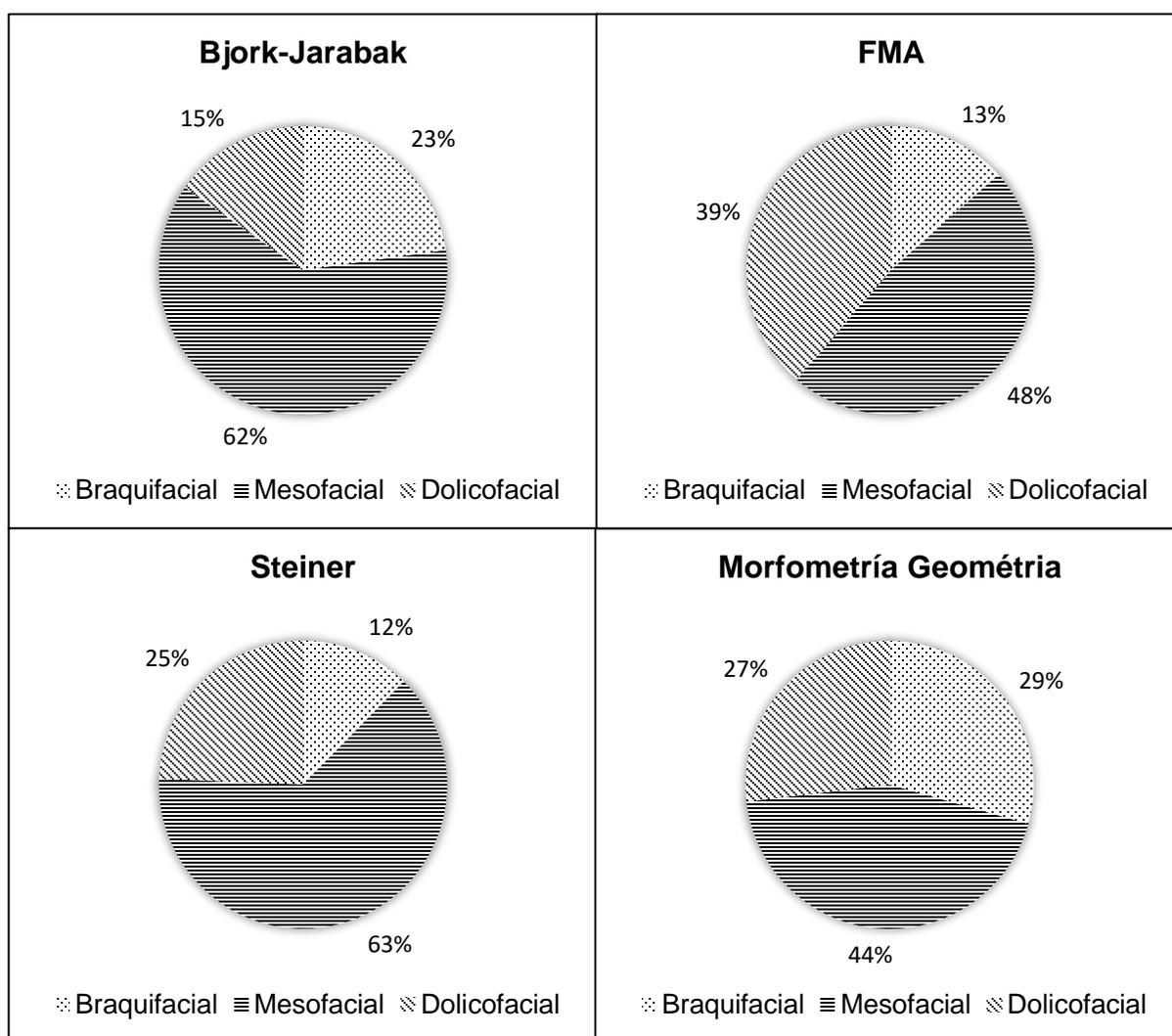


Figura 23. Gráfico de distribución de frecuencia del biotipo facial para cada clasificación utilizada.

Tabla 6. Número y porcentaje de individuos de cada biotipo facial observado en cada método de clasificación

	Braquifacial	Mesofacial	Dolicofacial
Clasificación Björk-Jarabak	100 (23%)	272 (62%)	67 (15%)
Clasificación Angulo FMA	59 (13%)	210 (48%)	170 (39%)
Clasificación Steiner	54 (12%)	278 (63%)	107 (25%)
Clasificación Morfometría Geométrica	129 (29%)	192 (44%)	118 (27%)

En la clasificación según morfometría geométrica se observa una mayoría de individuos mesofaciales y un porcentaje similar de individuos braquifaciales y dolicofaciales.

En las tres clasificaciones cefalométricas, el mayor porcentaje es representado por el grupo mesofacial. Se observan variaciones en el porcentaje del grupo braquifacial y dolicofacial. En la clasificación según el ángulo FMA, el grupo dolicofacial muestra un porcentaje tres veces mayor que el porcentaje del grupo braquifacial, mientras que, en la clasificación según Steiner, el porcentaje del grupo dolicofacial duplica el porcentaje del grupo braquifacial. Al contrario, en la clasificación según Björk-Jarabak hay un mayor porcentaje del grupo braquifacial respecto al grupo dolicofacial.

Debido a que la frecuencia de cada biotipo facial varía según la clasificación utilizada, se realizó test de Ji cuadrado ( $Ji^2$ ) para determinar si estas diferencias observadas presentan una significancia estadística. Se determinó que existen 8 grados de libertad al comparar las cuatro clasificaciones. En el test de  $Ji^2$  se obtuvo un valor de 80,25, con un valor de  $p < 0,01$ . Este resultado indica que existe una variación significativa en la frecuencia de cada patrón de biotipo facial entre los métodos de clasificación utilizados en este estudio.

### **Sensibilidad diagnóstica de la clasificación de morfometría geométrica para identificar el biotipo facial**

Mediante el análisis de función discriminante se analizó la capacidad de la morfometría para clasificar correctamente el biotipo facial respecto a cada clasificación cefalométrica. Los resultados se encuentran en la Tabla 7, se detalla el porcentaje de individuos clasificados correctamente para cada biotipo (Tab. 7).

La clasificación de morfometría geométrica muestra una sensibilidad diagnóstica aceptable para discriminar correctamente el patrón braquifacial y dolicofacial, se obtuvo un nivel de precisión cercano al 70% respecto a las tres clasificaciones cefalométricas. Sin embargo, presenta una baja precisión diagnóstica para identificar el biotipo mesofacial, se obtuvo un porcentaje cercano al 50% en las tres situaciones.

Tabla 7. Número y porcentaje de individuos clasificados correctamente mediante morfometría geométrica respecto a cada clasificación cefalométrica

	Braquifacial	Mesofacial	Dolicofacial
MG- BJ/GBK	91(71%)	83 (43%)	81 (69%)
MG- FMA	91 (71%)	95 (50%)	91 (71%)
MG-STR	90 (70%)	92 (48%)	80 (68%)

## VI. DISCUSIÓN

El presente trabajo analizó la concordancia taxonómica y diagnóstica de la clasificación de biotipo facial mediante morfometría geométrica con las clasificaciones cefalométricas de Björk-Jarabak, ángulo FMA y Steiner.

Nuestros resultados indican que existe una correlación leve de la matriz de distancia de la clasificación de morfometría geométrica con la clasificación según ángulo FMA y Steiner. Este valor de correlación permite plantear que la clasificación de morfometría geométrica mantiene una leve concordancia taxonómica con estas clasificaciones. A pesar de que la concordancia taxonómica es leve, se determinó una concordancia diagnóstica moderada de la clasificación de morfometría geométrica respecto a estas dos clasificaciones cefalométricas. Estos antecedentes indican que, al determinar un patrón de biotipo facial mediante morfometría geométrica, es probable que se obtenga el mismo diagnóstico al utilizar la clasificación según ángulo FMA o Steiner. Este resultado es relevante ya que nos permite validar inicialmente la clasificación de biotipo facial mediante morfometría geométrica.

En la literatura, el test de Mantel ha sido empleado principalmente para analizar la correlación de una distancia geográfica con una distancia genética. Sin embargo, también se ha utilizado para otros tipos de mediciones, tales como, respuesta a tratamiento, respuesta a placebo, distancias morfológicas entre grupos, marcadores de vías metabólicas, entre otras (Diniz y cols., 2013; Teta y Pardiñas, 2014; Rosenbaum y Small, 2017; Sandborn y cols., 2020; Ten-Doménech y cols., 2021). Esta investigación aplica el test de Mantel para matrices de distancia obtenidas de valores angulares y valores de componentes principales de la forma craneofacial. Este enfoque es innovador, razón que explicaría la falta de estudios en la literatura con los cuales contrastar nuestros resultados.

Se ha descrito a la morfometría geométrica como una herramienta que describe la variación morfológica de una estructura. En esta investigación, se determinó que las variaciones del plano de Frankfurt, plano Silla-Nasion y plano Mandibular están

contenidas en el espacio morfométrico. En base a esto, se declara que la variación asociada a un patrón de biotipo facial hiper o hipodivergente, es una variación morfológica que está presente en la población estudiada. Sin embargo, esta corresponde a una parte del total de la variación en la forma detectada mediante el análisis de componentes principales. Este resultado se condice con otros que han reportado que la variabilidad en la forma craneofacial está determinada por los cambios en la proporción vertical (biotipo facial) y sagital (clase esquelética) de la estructura craneofacial (Halazonetis, 2004; Bastir y Rosas, 2006; Wellens y cols., 2013; Woon y cols., 2019; Latif y cols., 2020; Knigge y cols., 2021).

Si bien los valores obtenidos en el test de Mantel pueden considerarse como un resultado poco favorable, este nivel leve de correlación es congruente con la relación establecida entre el valor angular de los métodos según ángulo FMA y Steiner, con los valores de componentes principales del método de morfometría geométrica. La variación morfológica que describen estos ángulos corresponde a una parte del total de la variación que describe el análisis mediante morfometría geométrica. Por lo tanto, es congruente que exista una concordancia taxonómica leve entre estas clasificaciones.

Se ha descrito que utilizar métodos matemáticos alternativos para elaborar las matrices de distancia puede provocar una variación en los valores de correlación obtenido (Somers y Jackson, 2022). También se ha descrito que, al estudiar la concordancia taxonómica entre dos clasificaciones, se debe considerar o estudiar la estabilidad propia de la muestra (Rohlf y Sokal, 1980). Estos antecedentes deben ser considerados en los futuros estudios que continuarán esta línea de investigación.

Respecto de la concordancia diagnóstica, se han realizado estudios que utilizaron el test de kappa para medir esta concordancia, reportando resultados similares a los descritos en este estudio. Concordancia diagnóstica de; polígono de Björk-Jarabak - Vert Ricketts (0,55), polígono de Björk-Jarabak - Vert resumido (0,44), polígono de Björk-Jarabak - Vert de Ricketts (0,53), polígono de Björk-Jarabak - Vert de Ricketts (0,35), polígono de Björk-Jarabak - Vert de Ricketts (0,23), polígono de Björk-Jarabak - Vert de Ricketts (0,25), Vert de Ricketts - Steiner (0,23) (Beckett,

2009; Tillería, 2011; Vargas, 2011; Quiñones, 2018; Guerra y cols., 2020; Caros, 2021).

Esto demuestra la poca concordancia diagnóstica que existe entre las múltiples clasificaciones cefalométricas, lo que puede estar asociado a las limitaciones inherentes al método cefalométrico (McIntyre y Mossey, 2003). Por su parte, la morfometría geométrica muestra una concordancia diagnóstica similar a la que se ha descrito en la literatura para las distintas clasificaciones cefalométricas.

Diversos estudios utilizaron el índice Vert de Ricketts y sus variaciones, para establecer un diagnóstico de biotipo facial (Beckett, 2009; Vargas, 2011; Cerda y cols., 2019, Inda y cols., 2019; Calla, 2020; Guerra y cols., 2020; Caros, 2021). Se recomienda en futuras investigaciones estudiar la concordancia taxonómica y diagnóstica de este algoritmo matemático con la clasificación de morfometría geométrica.

Esta investigación estableció el nivel de correlación del valor angular de cada clasificación cefalométrica con el valor de componente principal 2. En la clasificación según ángulo FMA se observó valores de correlación considerables para los tres grupos. Se declara que esta medición angular, describe una variación morfológica presente en los tres patrones de biotipo y muestra cierta continuidad en el patrón de cambio morfológico.

En cuanto a las clasificaciones cefalométricas según Björk-Jarabak y Steiner, se observó una mayor correlación el grupo dolicofacial. Por el contrario, el grupo braquifacial presentó una correlación muy baja. Se plantea que ambas mediciones no describen una variación morfológica que represente una variación de las estructuras craneofaciales asociadas al biotipo braquifacial. Respecto al biotipo mesofacial, se reportó una correlación intermedia. Esta baja correlación puede ser asociada a que los valores definidos en la norma no describen de buena manera la variación morfológica existente en el biotipo mesofacial.

Una investigación de análisis multivariado que estudió la relación entre medidas de compensación dentoalveolar y relaciones cefalométrica esqueléticas verticales, señaló que en el biotipo mesofacial, las mediciones cefalométricas estudiadas presentaron un gran rango de variación en sus valores (Ji-Young y cols., 2005). En este estudio, también se determinó que el análisis mediante componente principales presentó una precisión cercana al 90% para distinguir correctamente un patrón de biotipo facial. Las medidas cefalométricas verticales que se asociaron a los componentes principales 1 y 2 correspondieron al ángulo FMA, ángulo PMA, ángulo plano Silla-Nasion plano Mandibular, ángulo plano AB plano Mandibular (AB-MP), Indicador de profundidad de sobremordida (ODI). En un siguiente paso, mediante el análisis de función discriminante determinaron que la medida del ángulo AB-MP presentó la mejor capacidad para identificar correctamente el patrón de biotipo facial (Ji-Young y cols., 2005).

La función discriminante también ha sido empleada para analizar la sensibilidad diagnóstica que presenta la morfometría geométrica para distinguir clases esqueléticas (Woon y cols., 2019), así como la morfología de la sínfisis y zona molar asociada a patrones hiper e hipodivergente (Haotian y cols., 2021).

Una revisión sistemática exploró en la aplicación de morfometría geométrica en los análisis cefalométricos ortodóncicos. Concluyeron que es una herramienta útil para comprender la variación morfológica del componente craneofacial, la cual puede describir y graficar las principales variaciones dentro de una población y entre poblaciones. De esta manera, es factible elaborar una red de información que contenga la morfología craneofacial de las diferentes poblaciones humanas. Esta posibilidad atribuye un carácter universal al método de morfometría geométrica, debido a que permite un análisis de una población independiente del origen étnico o ancestría de los individuos estudiados (Correa y cols., 2019).

En la propuesta de clasificación (Bastidas, 2021), se identificó que las variaciones de clase esquelética se asociaron al componente principal 1, que representa el eje x del espacio morfométrico, mientras que, las variaciones de biotipo facial se asociaron al componente principal 2, que representa el eje y. Esta observación se condice con un estudio realizado en población nacional, que utilizó la morfometría

geométrica para analizar las estructuras craneofaciales, en la cual se determinó que las variaciones de clase esquelética se distribuyeron a lo largo del componente principal 1, mientras que, los patrones verticales hipo e hiperdivergente se asociaron al componente principal 2 (Díaz y Manríquez, 2014).

Contrariamente, estudios realizados en población de Europa, Asia y África establecieron que la mayor variabilidad del complejo craneofacial está asociada a los cambios en el patrón vertical (Halazonetis, 2004; Bastir y Rosas, 2006; Rosas y cols., 2008; Wellens y cols., 2013; Polychronis y Halazonetis, 2014). Por lo tanto, las variaciones de biotipo facial se asociaron al componente principal 1, que representó el mayor porcentaje de variación de la muestra. A partir de este antecedente, se plantea la hipótesis de que la población nacional presenta una mayor variación del complejo craneofacial en el sentido sagital (clase esquelética) respecto a la variación en el sentido vertical (biotipo facial).

La clasificación propuesta presenta la ventaja de entregar un diagnóstico de biotipo facial y un diagnóstico de clase esquelética de manera simultánea, con la respectiva severidad asociada a cada uno. Integra dentro de una misma clasificación, dos conceptos que han sido utilizados por separado para describir la variación de las estructuras craneofaciales. De esta manera, la clasificación propuesta entrega un diagnóstico dentoesquelético que identifica con mayor precisión las variaciones en la estructura craneofacial, independientemente si estas variaciones están asociadas al biotipo facial o a la clase esquelética. Permite así, identificar un biotipo en los casos donde existe un patrón intermedio o con una expresión leve.

En cuanto a las limitaciones de la presente investigación, se debe señalar que la muestra estudiada corresponde mayoritariamente a personas provenientes de la región metropolitana de Chile. Para realizar un estudio con mayor representación de la población nacional, se debe constituir una muestra constituida por personas provenientes de las distintas regiones del país.

El análisis de morfometría geométrica se realizó en un examen imagenológico bidimensional que representa estructuras craneofaciales tridimensionales. Respecto a esta limitación, se plantea la posibilidad de utilizar la morfometría geométrica tridimensional para describir la variación de la forma asociada a los

distintos biotipos faciales. Este análisis tridimensional ya ha sido empleado para estudiar estructuras del componente craneofacial (Ghislanzoni y cols., 2017; Pavoniy cols., 2017; Palancar y cols., 2021; Smith y cols., 2021).

La concordancia taxonómica establecida entre la clasificación de morfometría geométrica y las clasificaciones cefalométricas está fundamentada en la similitud existente de clasificar una muestra en base a una variación morfológica descrita para cada biotipo. Sin embargo, el concepto de biotipo facial ha sido definido como un conjunto de caracteres morfogenéticos y funcionales que determinan el crecimiento y desarrollo de la cara. Esto quiere decir que es un concepto más amplio que el sólo aspecto morfológico. Por lo tanto, estos resultados no son suficientes para declarar o afirmar que la clasificación propuesta realmente permite identificar un patrón de biotipo facial, si se considera este concepto de manera holística.

Se propone estudiar la distribución en el espacio morfométrico de una muestra clasificada o identificada con una característica u observación que mantenga una relación particular con cada biotipo facial. Para este propósito sería de interés analizar la actividad electromiográfica de la musculatura masticatoria, la presencia de trastornos mandibulares, el tipo de rotación mandibular o la presencia de mordida abierta (Pepicelli y cols., 2005; Alabdullah y cols., 2015; Mollabashi y cols., 2020). Se recomienda utilizar características posibles de cuantificar, de esta manera se puede estudiar su correlación con los valores de componentes principales.

Mediante el test de  $J_i^2$ , se estableció que las diferencias en la frecuencia de cada biotipo facial según el método de clasificación utilizado no es producto del azar. Al contrastar este antecedente con la literatura, se detectó que esta discrepancia en la frecuencia de cada biotipo es recurrente en las investigaciones que analizan clasificaciones cefalométricas (Beckett, 2009; Vargas, 2011; Alabdullah y cols., 2015; Ahmed y cols., 2016; Sciaraffia, 2016; Lopez y cols., 2022). Estas diferencias pueden ocasionarse por múltiples factores, como la norma cefalométrica utilizada, la identificación de hitos anatómicos, el tamaño muestral o la ubicación geográfica de la muestra. Sin embargo, esta situación refleja que no existe un método cefalométrico que pueda ser utilizado transversalmente para describir la variación morfológica de las estructuras craneofaciales.

Como no existe una herramienta diagnóstica establecida como gold estándar para determinar el biotipo facial, es comprensible que la frecuencia de distribución de cada biotipo facial y la concordancia diagnóstica entre las múltiples clasificaciones cefalométricas sea variada. Queda entonces a criterio y experiencia de cada profesional, cuáles serán los parámetros que guiarán su diagnóstico, planificación terapéutica y ejecución del tratamiento. Este criterio subjetivo, evidencia que la interpretación personal tiene un rol importante en la práctica clínica rutinaria, lo que puede conllevar a equivocaciones en las distintas etapas de un tratamiento integral.

Esta situación manifiesta la necesidad de desarrollar una herramienta diagnóstica para biotipo facial que sea validada y definida como gold estándar. Esta herramienta debe considerar e incluir las características morfogenéticas y funcionales que se han asociado parcialmente a cada biotipo.

Se debe señalar que esta investigación corresponde a un estudio que explora inicialmente en la aplicación de esta clasificación generada mediante morfometría geométrica para el diagnóstico de biotipo facial. Se debe continuar con el estudio de esta clasificación para determinar su validez, reproductividad y seguridad. Así como, desarrollar su aplicación como herramienta diagnóstica de utilidad en la práctica clínica.

## VII. CONCLUSIONES

El concepto de biotipo facial abarca un amplio espectro de características craneofaciales y funcionales. Se debe estudiar la correlación de la clasificación de morfometría geométrica con características asociadas parcialmente a los distintos biotipos faciales.

La clasificación de morfometría geométrica muestra una concordancia taxonómica leve y diagnóstica moderada con la clasificación según ángulo FMA y Steiner, mientras que, se descartó una concordancia taxonómica con la clasificación según Björk-Jarabak. Se debe continuar con la investigación para validar el uso de esta clasificación como una herramienta diagnóstica de biotipo facial.

El valor del ángulo FMA presenta una correlación con el valor de componente principal 2. La clasificación según ángulo FMA describe de mejor manera una variación morfológica de las estructuras craneofaciales en los tres patrones de biotipo facial.

La clasificación de morfometría geométrica genera un espacio morfométrico de referencia, en el cual existe una continuidad de variación morfológica de las estructuras craneofaciales. Permite establecer un biotipo facial en los casos donde existe un patrón intermedio o con una expresión leve.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed M, Shaikh A, Fida M. (2016). Diagnostic performance of various cephalometric parameters for the assessment of vertical growth pattern. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 21(04), 41-49.
- Alabdullah M, Saltaji H, Abou-Hamed H, Youssef M. (2015). Association between facial growth pattern and facial muscle activity: A prospective cross-sectional study. *International Orthodontics*, 13(04) 181-194.
- Alarcon JA, Bastir M, Rosas A. (2016). Variation of mandibular sexual dimorphism across human facial patterns. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology*, 67 (03), 188-202.
- Alarcon JA, Velasco M, Rosas A, Galindo P, Catena A. (2020). Relationship between vertical facial pattern and brain structure and shape. *Clinical Oral Investigations*, 1499–1508.
- Almenara J, Garcia C, Gonzalez J, Abellán M. (2002). Creación de índices de gestión hospitalaria. *Salud Publica Mexico*, 44 (06), 533-540.
- Angle E. (1899). Classification of Malocclusión. *Dental Cosmos*, 41, 248-264.
- Arat M, Koklu A, Ozdile E, Rubenduz M, Erdogan B. (2001). Craniofacial growth and skeletal maturation: a mixed longitudinal study. *European Journal of Orthodontics*, 23, 355-361.
- Arnett W, Gunson M. (2004). Facial planning for orthodontists and oral surgeons. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 290-295.
- Balzarini M, Bruno C, Córdoba M, Teich I. (2015). Herramientas en el Análisis Estadístico Multivariado. Escuela Virtual Internacional CAVILA. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Basavaraj S. (2013). *An Atlas on Cephalometric Landmarks*. Philadelphia: Jaypee Brothers Medical Publishers.
- Bastidas N. (2021). Desarrollo de un algoritmo de morfometría geométrica para diagnóstico dento-esquelético. Repositorio Académico de la Universidad de Chile “en prensa”.
- 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.

- Beckett K. (2009). Estudio comparativo del grado de coincidencia diagnóstica de dos métodos cefalométricos para la determinación del biotipo facial con el método de Björk-Jarabak. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/135160>
- Benedicto E, Allegrini S, Stefan G, Menezes L, Damian H y cols. (2016). Determination of vertical characteristics with different cephalometric measurements. *European Journal of Dentistry*, 10(1), 116-120.
- Bishara S, Jakobsen J. (1985). Longitudinal changes in three normal facial types. *American Journal of Orthodontics*, 88 (6), 466-502.
- Bjork A. (1955). Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants. *Acta Odontológica Scandinava*, 13(1), 9-34.
- Björk A. (1969). Prediction of mandibular growth rotation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 55(6), 585-599.
- Bong K, Chun-Hi K, Seung-Hak B. (2007). Skeletal Sagittal and Vertical Facial Types and Electromyographic Activity of the Masticatory Muscle. *The Angle Orthodontist*, 77(3), 463-470.
- Bookstein F. (1992). *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Broadbent B. (1931). A new x-ray technique and its application to orthodontia. *The Angle Orthodontist*, 1(2), 45-66.
- Calla W. (2020). Determination of the Facial Biotipo According to the Vert Ricketts Index and the Facial Opening Angle. *Revista Odontológica Basadrina*, 4(2), 18-25.
- Canut JA. (2000). *Ortodoncia Clínica y Terapéutica*. Barcelona, España: Masson.
- Caros J. (2021). Estudio comparativo de los métodos de Ricketts, de Jarabak y de Steiner para la determinación del biotipo facial en pacientes de la Clínica de Ortodoncia de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
- Carriel K. (2021). Distinguir el color y forma de las estructuras dentales según el biotipo facial para realizar carillas indirectas. Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil.
- Cauvi D, Madsen R. (2007). *Manual de Cefalometria*. Curso de Especialización en Ortodoncia y Ortopedia Dentomaxilofacial, Facultad de Odontología, Universidad de Chile.

- Cerda J, Villarroel L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1), 54-58.
- Cerda B, Schulz R, Lopez J, Romo F. (2019). Parámetros cefalométricos para determinar biotipo facial en adultos chilenos. *Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral*, 8-11.
- Cooke S, Terhune C. (2014). Form, Function and Geometric Morphometrics. *The Anatomical Record*, 29(8), 5-28.
- Correa J, Palma E, Martínez M. (2019). Estado actual de la morfometría geométrica en análisis cefalométricos ortodóncicos: revisión sistemática exploratoria. *DSPACE Biblioteca Universidad de Talca*. Obtenido de <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/12208>
- Crisci J. (1984). Taxonomic congruence. *TAXON*, 33(2), 233-239.
- Diaz A, Manriquez G. (2014). Skeletodental Diagnosis Using a Geometric Morphometric Approach. *International Journal Of Odontostomatology* , 5-11.
- Dibbets J. (1996). Morphological associations between the Angle classes. *European Journal of Orthodontics*, 18(2), 111-118. Obtenido de <https://doi.org/10.4067/s0718-381x2014000100001>
- Diniz J, Soares T, Lima J, Dobrovolski R, Lemes V y cols. (2013). Mantel test in population genetics. *Genetics and molecular biology*, 36(4), 475-485. doi:10.1590/S1415-47572013000400002
- DiPietro G, Moergeli J. (1976). Significance of the Frankfort-mandibular plane angle to prosthodontics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 36(6), 624-635.
- Enlow D, Moyers R. (1971). Growth and Architecture of the Face. *The Journal of the American Dental Association*, 82(4), 763-774. doi:<https://doi.org/10.14219/jada.archive.1971.0144>
- Farris J. (1971). The hypothesis of nonspecificity and taxonomic congruence. *ANNUAL REVIEWS*, 2, 277-302.
- Foster T, Howat A, Naish P. (1981). Variation in cephalometric reference lines. *British Journal of Orthodontics*, 183-187. doi:<https://doi.org/10.1179/bjo.8.4.183>
- Ghislanzoni L, Lione R, Cozza P, Franchi L. (2017). Measuring 3D shape in orthodontics through geometric morphometrics. *Progress in Orthodontics*, 18-38.

- Golstein G, Goodacre C. (2020). Frankfort Mandibular Plane Angle: Critically Appraised Topic. American College of Prosthodontists, 13-14.
- Gómez M. (2011). Efecto del entrenamiento en la aplicación de la "guía de referencia clínica a ortodoncia para servicios públicos de salud". Obtenido de repositorio académico de la Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133535>
- Gregoret J. (1998). Ortodoncia y Cirugía Ortognatica, Diagnóstico y Planificación. Barcelona: ESPAXS, S.A.
- Guerra C, Sarria M, Ríos R, Campos J. (2020). Concordancia del diagnóstico del biotipo facial, de los métodos cefalométricos del VERT de Ricketts y de Bjork-Jarabak utilizados en pacientes atendidos en la clínica de especialidad de Ortodoncia de la UNAN-León, 2018-2019". Repositorio Institucional UNAN - LEÓN. Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/8129>
- Halazonetis D. (2004). Morphometrics for cephalometric diagnosis. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 125(5), 71-81.
- Hammer Ø, Harper D, Ryan P. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data análisis. Paleontología Electrónica 4(1): 9pp.
- Haotian C, Zijin L, Xinnong H, Ben W, Yan G. (2021). Comparison of mandibular cross-sectional morphology between Class I and Class II subjects with different vertical patterns: based on CBCT images and statistical shape analysis. BMC Oral Health, 21, 216-238. doi: 10.1186/s12903-021-01591-3
- Hofrath H. (1931). Die Bedeutung der Röntgenfern- und Abstandsaufnahme für die Diagnostik der Kieferanomalien. Fortschritte der Orthodontik, 232-258.
- Inda K, Gutiérrez R, Guitiérrez J. (2019). Relationship of the determined facial biotype with the VERT and the pattern of facial growth. Oral, Medigraphic., 20(64), 1762-1765.
- Ji-Young K, Shin-Jae L, Tae-Woo K, DongSeok N, Young-li C. (2005). Classification of the Skeletal Variation in Normal Occlusion. The Angle Orthodontist, 75(3), 311-319.
- Katsadouris A, Halazonetis D. (2017). Geometric morphometric analysis of craniofacial. European Journal of Orthodontics , 386 - 394.
- Klingenberg C. (2013). Cranial integration and modularity: insights into evolution and development from morphometric data. Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy, 24(1), 43-58.

- Knigge R, McNulty K, Oh H, Hardin A, Leary E y cols. (2021). Geometric morphometric analysis of growth patterns among facial types. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics.*, 160(3), 430-441.
- Landis J, Koch G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *International Biometric Society*, 33(1), 159-174.
- Latif A, Kuijpers M, Rachwalski M, Latief B, Kuijpers A y cols. (2020). Morphological variability in unrepaired bilateral clefts with and without cleft palate evaluated with geometric morphometrics. *The Journal of Anatomy*, 3, 425-433.
- López A. (2015). Morfometría Gemétrica: el estudio de la forma y su aplicación en biología. *Temas de Ciencia y tecnología*, 53 - 59.
- Lopez M, Llannes M, Ortíz J. (2022). Frecuencia de biotipos faciales mediante CBCT. *CIENCIAMATRIA*, 8(2), 386-401.
- Lozarez C, López P. (1991). El análisis de componentes principales: aplicación al análisis de datos secundarios. *Papers, Revista de Sociología. Universitat Autònoma de Barcelona*, 37, 31-63.
- MacIntyre S. (2021). Regulating MR Safety Standards. *Radiologic Technology*, 93(1), 75-89.
- Manriquez G, González F, Salinas J, Espouey O. (2006). Intentional cranial deformation in archaeological populations of Arica (Chile): Preliminary geometric morphometrics analysis using craniofacial radiographs. *Chungara, Revista de Antropología Chilena*, 38(1), 13-34.
- Manriquez G, Moraga M, Santoro C, Aspillaga E, Arriaza B y cols. (2011). Morphometric and mtdna analyses of archaic skeletal remains from southwestern south america. *Chungara (Arica)*, 283-292.
- Mantel N. (1967). The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Research*, 27(2), 209-220.
- Marín E., F. Y. (2022). Condylar position according to facial biotype in cone beam tomography. *CES Odontología*, 34(2), 93-106. doi:<https://doi.org/10.21615/cesodon.5998>.
- Marín E, Franco Y, Puerta G, Gutierrez B (2022). Posición condílea según biotipo facial en tomografía de haz de cono. *Universidad CES - Facultad de Odontología*, 34(2), 93-106.
- McIntyre G, Mossey P. (2003). Size and shape measurement in contemporary cephalometrics. *European Journal of Orthodontics*, 231-242.

- Miksic M, Slaj M, Mestrovic S. (2003). Bioprogressive Therapy and. *Acta stomatologica Croatica : International journal of oral sciences and dental medicine*, 37(4), 461-464.
- Mollabashi V, Heidari A, Ebrahimi H, Seyed M. (2020). The study of facial morphology in patients with vertical growth pattern (hyperdivergent) lacking or showing temporomandibular disorders symptoms. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 121(3), 233-237.
- Montt R, Miquel M, Oyonarte R. (2015). Características Cefalométricas en Jóvenes con Oclusión Normal y Perfil Armónico en Población Chilena. *International Journal of Morphology*, 33(1), 237-244.
- Munandar S. (1995). Cephalometric analysis of Deutero-Malay Indonesians. *Australian Dental Journal*, 381-388.
- Nakamura K, Ohta A, Uesaki S, Maeda M, Kawabata H. (2020). Geometric morphometric analysis of Japanese female facial shape in relation to psychological impression space. *Heliyon*, 6(10), 5-14.
- Palais G, Albarracín A, Picco A, Gurovici E. (2011). Confiabilidad de índices utilizados en el análisis de biotipo facial. *Educaren ortodoncia*, 5(9), 2-21. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/346248997/Confiabilidad-de-indices-utilizados-en-el-analisis-facial-pdf>
- Palancar C, García D, Cáceres D, Perea B, Ferreira M y cols. (2021). Geometric Morphometrics of the human cervical vertebrae: sexual and population variations. *Journal of Anthropological sciences*, 17(99), 97-116.
- Panofsky E. (1999). *La perspectiva como "forma simbólica"*. Barcelona: Tusquets Editores.
- Parcha E. (2017). Morphometric covariation between palatal shape and skeletal pattern in children and adolescents: A cross-sectional study. *European Journal of Orthodontics*, 377-385.
- Parikh R, Mathai A, Parikh S, Sekhar G, Thomas R. (2008). Understanding and using sensitivity, specificity and predictive values. *Indian Journal of Ophthalmology*, 45-50.
- Parreño S. (2021). Determinación del biotipo facial a través del análisis de TATIS realizado en radiografías panorámicas y comparado con el análisis cefalométrico de Ricketts, índice de VERT en radiografías laterales. Repositorio Digital Universidad De Las Américas.

- Pavoni C, Paoloni V, Huanca L, Lagana G, Cozza P. (2017). Geometric morphometric analysis of the palatal morphology in children with impacted incisors: A three-dimensional evaluation. *The Angle orthodontist*, 404-408.
- Pepicelli A, Woods M, Briggs C. (2005). The mandibular muscles and their importance in orthodontics: a contemporary review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 128(6), 774-800.
- Polychronis G, Halazonetis D. (2014). Shape covariation between the craniofacial complex and first molars in humans. *Journal of Anatomy*, 225(2), 220-231.
- Proffit W, Fields H. (2007). *Contemporary Orthodontics Fourth Edition*. St. Louis, Missouri: Westline Industrial Drive.
- Quiñones E. (2018). Concordancia entre el análisis de Björk Jarabak y el de Ricketts en el diagnóstico del biotipo facial en pacientes de 11 a 30 años de edad. Escuela de Estomatología, Facultad de Medicina Humana. Universidad Antenor Orrego.
- Ricketts R. (1957). Planning Treatment on the Basis of the Facial Pattern and an Estimate of Its Growth. *The Angle Orthodontist*, 14-37.
- Ricketts R. (1972). A principle of arcial growth of the mandible. *The Angle Orthodontist*, 42(4), 368-386. doi: 10.1043/0003-3219(1972)042<0368:APOAGO>2.0.CO;2
- Ricketts R. (1983). *Técnica bioprogresiva de Ricketts*. Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana S.A.
- Rohlf F. (1993). Relative warp analysis and an example of its application to mosquito wings. *Contributions to morphometrics*, 8, 131-159.
- Rohlf J, Sokal R. (1980). Comments on Taxonomic Congruence. *Systematic Biology*, 29(1), 97-101. doi:<https://doi.org/10.1093/sysbio/29.1.97>
- Rosas A, Bastir M, Alarcon J, Kuroe K. (2008). Thin-plate spline analysis of the cranial base in African, Asian and European populations and its relationship with different malocclusions. *Archives of Oral Biology*, 53(9), 826-834.
- Rosenbaum P, Small D. (2017). An adaptive Mantel-Haenszel test for sensitivity analysis in observational studies. *Biometrics*, 73(2), 422-430.
- Salinas H, Albornoz J, Reyes A, Erazo M, Ide R. (2006). Análisis de componentes principales aplicado. *Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología*, 71(1), 17-25.

- Sandborn W, Feagan B, Loftus E, Peyrin L, Van G y cols. (2020). Efficacy and Safety of Upadacitinib in a Randomized Trial of Patients With Crohn's Disease. *Gastroenterology*, 158(8), 2123-2138.
- Schudy F. (1964). Vertical Growth Versus Anteroposterior Growth As Related To Function And Treatment. *The Angle Orthodontist*, 75-93.
- Schudy F. (1965). The Rotation Of The Mandible Resulting From Growth: Its Implications In Orthodontic Treatment. *The Angle Orthodontist*, 36-50.
- Siriwat P, Jarabak J. (1985). Malocclusion and facial morphology is there a relationship? An epidemiologic study. *The Angle Orthodontist*, 55(2), 127-138. doi: 10.1043/0003-3219(1985)055<0127:MAFMIT>2.0.CO;2
- Smith O, Nashed Y, Duncan C, Pear N, Profico A y cols. (2021). 3D Modeling of craniofacial ontogeny and sexual dimorphism in children. *Anatomical Record*, 304(9), 18-26.
- Sokal R. (1979). Testing statistical significance of geographic variation patterns. *Systematic Zoology*, 28(2), 227-232. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2412528>
- Somers K, Jackson D. (2022). Putting the Mantel test back together again. *Ecology*, 3780-3796.
- Steiner C. (1953). Cephalometrics for you and me. *American Journal of Orthodontics*, 39(10), 720-755.
- Strauss R, Bookstein F. (1982). The Truss: Body Form Reconstructions in Morphometrics. *Systematic Zoology*, 113-135.
- Tassoker M, Kok H, Sener S. (2019). Is There a Possible Association between Skeletal Face Types and Third Molar Impaction? A Retrospective Radiographic Study. *Medical Principles and Practice*, 28(1), 70-74. doi:10.1159/000495005
- Ten-Doménech I, Moreno M, Castell J, Quintas G, Kuligowski J. (2021). Extracting consistent biological information from functional results of metabolomic pathway analysis using the Mantel's test. *Analytica Chimica Acta*, 1-11.
- Teta P, Pardiñas U. (2014). Variación morfológica cualitativa y cuantitativa en *Abrothrix longipilis* (Cricetidae, Sigmodontinae). *Mastozoología neotropical*, 21(2), 291-309.
- Tillería V. (2011). Estudio comparativo de dos métodos para la determinación del biotipo facial, método Vert de Ricketts con "VERT modificado" de Ricketts.

Repositorio Académico de la Universidad de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133608>

- Toro M, Manriquez G. (2010). 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.
- Vahid M, Heidari A, Zadeh H, Seyed M. (2020). The study of facial morphology in patients with vertical growth pattern (hyperdivergent) lacking or showing temporomandibular disorders symptoms. *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, 233-237.
- Vargas M. (2011). Estudio comparativo de dos métodos cefalométricos para la determinación del biotipo facial, Vert de Ricketts y Vert modificado, en pacientes clase III esquelética severa con compromiso mandibular. Repositorio A. Obtenido de Repositorio Académico de la Universidad de Chile: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/133629>
- Wellens H, Kuijpers A, Halazonetis D. (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.
- Woon C, Abu N, Ilmi M, Mastura S, Mohamed N y cols. (2019). Geometric morphometric analysis of malocclusion on lateral cephalograms in Malaysian population. *Anatomy & Cell Biology*, 52(4), 397-405. doi:10.5115/acb.19.118
- Zelditch M, Swiderski D, Fink W. (2004). *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. Amsterdam: Elsevier Academic Press.

## IX. ANEXOS

**Anexo n°1.** Puntos cefalométricos utilizados para la realización de ambas clasificaciones y su definición operacional.

Las definiciones operacionales de los puntos cefalométricos seleccionados fueron obtenidas del “An Atlas on Cephalometric Landmarks” (1) (Subhashchandra, 2013) y del “Manual de Cefalometría de la Universidad de Chile” (2) (Cauvi y Madsen, 2007).

N°	Puntos	Definición
1	Nasion (N)	Punto más anterior en el medio de la sutura frontonasal (1).
2	Silla (S)	Corresponde al centro de la cripta ósea ocupada por la hipófisis (2).
3	Porion (Pr)	Punto más superior del meato auditivo externo (1).
4	Basion (Ba)	Punto medio del margen anterior del agujero magno. Se puede ubicar siguiendo las imágenes de la pendiente del borde inferior de la parte basilar del hueso occipital hasta su límite posterior (1).
5	Pterigoideo (Pt)	Corresponde a la intersección de las paredes posterior y superior de la fisura pterigomaxilar (2).
6	Punto Pterigomaxilar inferior (PTM)	Corresponde a la fisura Pterigomaxilar Inferior (2).
7	Orbitario (Or)	Punto más bajo en el margen inferior de la órbita (1).
8	Espina Nasa Posterior (ENP)	Intersección de la continuación de la pared anterior de la fosa pterigopalatina y el piso de las fosas nasales (1).
9	Espina Nasal Anterior (ENA)	Proyección más anterior del piso de la fosa nasal (1).
10	A de Downs (A)	Punto más profundo en el contorno óseo entre la espina nasal anterior y la cresta del hueso alveolar (1).
11	Ápice Incisivo Superior	Ápice de la raíz del incisivo central maxilar más anterior (1).
12	Punto Incisal Superior	Borde incisal de incisivo central maxilar más anterior (1).
13	Oclusal Premolar	Es el punto de contacto entre los primeros premolares superiores e inferiores (1).
14	Oclusal Molar	Es el punto de contacto más distal entre los segundos molares superiores e inferiores (1).
15	Condilion	Punto más superior de la curvatura del cóndilo (1).
16	Articular (Ar)	Punto cefalométrico que se ubica en la intersección del borde posterior del cuello del cóndilo y la zona anteroinferior de la superficie basilar del occipital (2)
17	Gonion (Go)	Punto cefalométrico que se ubica en la bisectriz del ángulo formado por la tangente al borde posterior de la rama y el borde inferior de la mandíbula. (2)
18	Menton (Me)	Es el punto más inferior del contorno de la sínfisis. (2).

<b>19</b>	Pogonion (Pg)	Es el punto más prominente del mentón óseo, se ubica mediante el trazado de una línea tangente a la sínfisis mentoniana que pasa por Nasion (1).
<b>20</b>	B de Downs (B)	Es el punto más posterior de la curvatura ósea de la mandíbula entre la cresta alveolar y pogonion (1).
<b>21</b>	Ápice Incisivo Inferior	Ápice de la raíz del incisivo central mandibular más anterior (1).
<b>22</b>	Punto incisal Inferior	Borde incisal del incisivo central mandibular más prominente (1).
<b>23</b>	Gnation	Punto del mentón determinado por la bisectriz del ángulo formado por el plano facial (Nasion - Pogonion) y plano mandibular (Gonion - Menton) (1).