



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

**“CONCORDANCIA TAXONÓMICA Y DIAGNÓSTICA DE LA CLASIFICACIÓN
DE CLASE ESQUELETAL SEGÚN CEFALOMETRÍA Y MORFOMETRÍA
GEOMÉTRICA”**

Juan Diego Idrovo Vanegas

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

TUTOR PRINCIPAL

Prof. Germán Manríquez Soto

TUTOR ASOCIADO

Prof. Alejandro Díaz Muñoz

Adscrito a Proyecto PRI-ODO 2019/06

Santiago - Chile

2022

Agradecimientos

A mi padre, Juan Idrovo Rivas, por haberme dado su apoyo en todo este proceso.

A mis amigos del colegio, mención especial a Naoki Ono, Juan Manuel Carracedo, Esteban Carrasco, Jorge Wang, Miguel Feliú, Yerko Squadrito, Benjamín Nicoletti e Ignacio Burgos, por acompañarme hace ya más de una década.

A mi profesor de biología de la media, Marcelo Trejo, por haber hecho la biología amena y divertida, lo cual me inspiró a seguir esta profesión de las ciencias de la salud, de lo contrario lo más probable es que hoy en día estaría en otra área.

A mis amigos de la universidad, mención especial a Lukas Restelli, Javier Sandoval, Rodrigo Contreras, Isidora Ortiz, Manuel Díaz, Antonia González, Camila Díaz, Constanza Tapia, Alonso Etcheverry, Carlos Bobadilla, y a muchos otros compañeros con los cuales el camino de la odontología me hizo compartir.

Finalmente, muchas gracias a mis profesores tutores, Prof. Germán Manríquez y Prof. Alejandro Díaz, por haberme brindado la confianza y apoyo en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Extracto de poema "Un niño juega en la plaza"

Yo tuve alguna vez

Todas las ilusiones

Y aún conservo las más firmes

Por si acaso

-Ese niño-

Me viniera a preguntar

- ¿Y tú, quién eres? –

Uno que pasó por el mundo

Y quiso dejar un rastro de lo que vio

Que robó el verso como evidencia

De que algo fue sentido

Por un desgraciado igual que tu

-Si me perdonas la ignorancia-

No memoricé salvo

Lo estrictamente necesario

Para comunicarme....

Tristán Vela

ÍNDICE	
I. RESUMEN.....	5
II. INTRODUCCIÓN	6
Historia de la clasificación de Clase Esqueletal y Cefalometría	6
Morfometría Geométrica.....	7
Planteamiento de problema.....	10
III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	15
A. HIPÓTESIS.....	15
B. OBJETIVO GENERAL	15
C. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
V. RESULTADOS.....	19
VI. DISCUSIÓN	26
VII. CONCLUSIONES	31
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
IX. ANEXO	38
ANEXO N°1	38
ANEXO N°2.....	40

I. RESUMEN

Introducción: La clase esquelética (CE) es la relación sagital entre los huesos maxilar y mandibular. En su diagnóstico se utiliza el ángulo cefalométrico ANB. La morfometría geométrica (MG) es una herramienta utilizada para el análisis estadístico de la variación de la forma y su covariación con otras variables. Durante la última década, ha permitido diagnosticar la clase esquelética mediante un análisis integral de las estructuras craneofaciales. El presente trabajo se basa en la propuesta de Bastidas (2021), que desarrolló una nueva clasificación diagnóstica mediante morfometría geométrica.

Objetivo: Determinar el nivel de concordancia diagnóstica de CE obtenido mediante MG con el diagnóstico obtenido mediante Cefalometría Convencional.

Materiales y métodos: Se utilizó una muestra de 439 telerradiografías laterales de cráneo. Para la determinación de Clase Esquelética se utilizó el ángulo ANB, ángulo ANB individualizado y la nueva propuesta de clasificación mediante MG. Para determinar el nivel de concordancia entre herramientas se usó el test de Mantel (Past v. 4.08), test de kappa (Excel v. 2203) y función discriminante (Past v. 4.08).

Resultados: La concordancia medida mediante el test de Mantel y el test de kappa fue aceptable. La sensibilidad diagnóstica mediante el ángulo ANB fue de 92.48%, ángulo ANB individualizado fue de 92.71% y mediante Morfometría Geométrica fue de 82.46%.

Discusión: Los resultados permiten establecer una concordancia diagnóstica aceptable entre herramientas. Nuestros resultados concuerdan con investigaciones de abordaje Cefalométrico y de Morfometría Geométrica, que evalúan la morfología de las clases esqueléticas. La concordancia obtenida se ve explicada por las diferencias de nivel en el dato primario, la MG analiza un conjunto de variaciones de la forma, dentro las cuales se encuentran los ángulos cefalométricos.

Conclusión: La nueva propuesta clasificatoria de Clase Esquelética mediante Morfometría Geométrica tiene una concordancia diagnóstica aceptable con respecto a la Cefalometría.

II. INTRODUCCIÓN

Historia de la clasificación de Clase Esqueletal y Cefalometría

En el año 1899, Angle clasificó las maloclusiones a nivel dentario en 3 tipos y basándose en la relación de los primeros molares permanentes. De acuerdo con esta clasificación, la Clase I se da cuando el surco mesiovestibular del primer molar inferior coincide con la cúspide mesiovestibular del primer molar superior, la Clase II, cuando el surco mesiovestibular del primer molar inferior se encuentra distal a la cúspide mesiovestibular del primer molar superior, y la Clase III, cuando el surco mesiovestibular del primer molar inferior se encuentra mesial a la cúspide mesiovestibular del primer molar superior (Angle, 1899).

Con el desarrollo de nuevas tecnologías se pudo realizar el análisis del componente esquelético de la oclusión, estudiándose así la Clase Esqueletal, la cual es definida como la relación sagital entre el maxilar y la mandíbula (Gregoret, 1997), siendo un análogo de las clases de Angle (también se clasifica en Clases I, II y III). Es así que, la Clase I se describe como una posición central de la mandíbula con respecto al maxilar, pudiéndose encontrar la mandíbula en una posición levemente anterior o posterior al maxilar. En la Clase II la mandíbula se encuentra en una posición más posterior que el maxilar, mientras que en la Clase III la mandíbula se posiciona más anterior que el maxilar (Gregoret, 1997). Esta descripción representa un gran consenso dentro de la odontología. Sin embargo, sus límites todavía no son establecidos de manera categórica. Lo anterior es corroborado por la gran cantidad de análisis cefalométricos que han sido propuestos en el pasado (Aguila, 1996).

Para el análisis del patrón de crecimiento craneofacial y determinación de Clase Esqueletal existen varios métodos, entre los cuales se encuentran la fotogrametría facial y la cefalometría (Manosudprasit y cols., 2017).

La Cefalometría Convencional ha sido utilizada rutinariamente en ortodoncia para la determinación de la Clase Esqueletal, y consiste en el análisis morfológico de las estructuras craneofaciales mediante el trazado de puntos, líneas y ángulos sobre una telerradiografía lateral de cráneo estandarizada. En este análisis se basa la

descripción del patrón de crecimiento craneofacial, diagnóstico dentoalveolar y plan de tratamiento correspondiente (Devereux y cols., 2011; AlBarakati y cols., 2012). Con respecto al diagnóstico de Clase Esqueletal, se usa comúnmente como parámetro cefalométrico el ángulo ANB, formado por los puntos cefalométricos A, Nasion y punto B. El origen de este ángulo se remonta a la década de 1950 en Estados Unidos, en donde mediante el análisis de diferentes parámetros cefalométricos se determinó el valor del ángulo ANB = $2^\circ (\pm 2^\circ)$ como valor diagnóstico de Clase I, un ángulo mayor a 4° es equivalente a Clase II y un ángulo menor a 0° es equivalente a Clase III (Steiner y Hills, 1953; Walker y Kowalski, 1971).

Morfometría Geométrica

Kendall (1977), definió forma como toda la información geométrica que resulta al eliminar los efectos de posición, escala y rotación de un objeto (Kendall, 1977). En base a esto, la Morfometría Geométrica surge en los años 80 como el análisis estadístico de la variación de la forma y su covariación con otras variables (Bookstein, 1989), siendo una nueva metodología que permite estudiar fielmente la forma y sus variaciones con respecto a factores causales como edad, sexo, grupo étnico, dieta, etc. (Rohlf y Marcus, 1993). Ha tenido un amplio uso en paleontología, zoología y antropología (O'Higgins, 2000; Krapivka y cols., 2007; Manríquez y cols., 2011; Ordonez y cols., 2019; Zhang y cols., 2019), abriéndose la posibilidad de tener uso en más áreas como la odontología, medicina y sus especialidades (Singh y cols., 1997; Halazonetis, 2004; López y cols., 2012; Díaz y Manríquez, 2014; Toro-Ibacache y cols., 2014; Katsadouris y Halazonetis, 2017). Dentro de sus características, permite evaluar cambios morfológicos independientemente de su escala, posición y rotación, haciendo posible cuantificar fielmente variaciones de estructuras mediante análisis estadísticos (Díaz y Manríquez, 2014).

La Morfometría Geométrica permite registrar datos mediante la localización y determinación de pares de hitos de coordenadas (que corresponden a hitos del objeto a analizar) en un plano cartesiano, donde el conjunto de hitos representa gráficamente la geometría de la estructura biológica y es analizado en espacios morfométricos, que son espacios matemáticos multidimensionales (Bookstein,

1992; Toro Ibacache y cols., 2010). Posterior al registro de hitos de coordenadas, se realiza el análisis de Procrustes, que genera un valor geométrico del tamaño del objeto estudiado, llamado tamaño del centroide, que es definido como la raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado de cada hito desde el centro geométrico del objeto (Fig. 1).

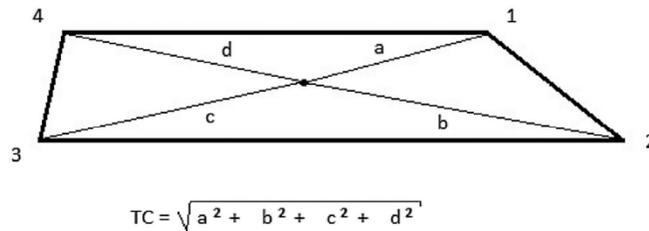


Figura 1. Ejemplo de determinación del tamaño del centroide de un cuadrilátero. En el cuál, al considerar cada vértice como un hito, trazando las distancias desde el centro geométrico del cuadrilátero y aplicando la fórmula de la definición, se determina el tamaño del centroide del cuadrilátero. Este proceso es válido para determinar el tamaño del centroide de cualquier objeto que se quiera analizar (Toro-Ibacache y cols., 2010).

Posterior a este escalamiento mediante la determinación del tamaño del centroide, se eliminan los efectos de traslación y rotación, generándose el espacio de Kendall o espacio de la forma (Fig. 2).

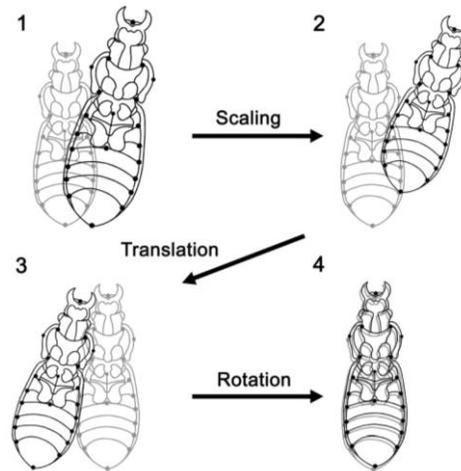


Figura 2. Ejemplo de procesamiento de los objetos biológicos en Morfometría Geométrica. En primera instancia, se realiza escalamiento de la muestra (en este ejemplo corresponde a dos *Ceroglossus*) a un mismo tamaño del centroide para ajustar los efectos de escala, posteriormente se realiza la traslación a un centroide común y rotación, finalmente se puede comparar la forma propiamente tal de los objetos biológicos según la definición de forma (Benítez y Püschel, 2014).

El resultado de esto es proyectado en un plano tangente al espacio de Kendall, formado por los componentes principales de la forma (que son el conjunto de variables que explican la mayor varianza de la forma) (PC1 y PC2). La matriz de coordenadas de cada objeto es proyectada como un punto en este plano. Paralelamente, la función de placa delgada (Thin-plate spline), permite recuperar la forma del objeto analizado mediante grillas de torsión que se deforman a medida que se alejan del punto $x=0, y=0$, representado por la configuración geométrica de consenso o promedio de la muestra (Toro-Ibacache y cols., 2010; Benítez y Püschel, 2014). La Figura 3 corresponde a un ejemplo del resultado de estos análisis (Díaz y Manríquez, 2014).

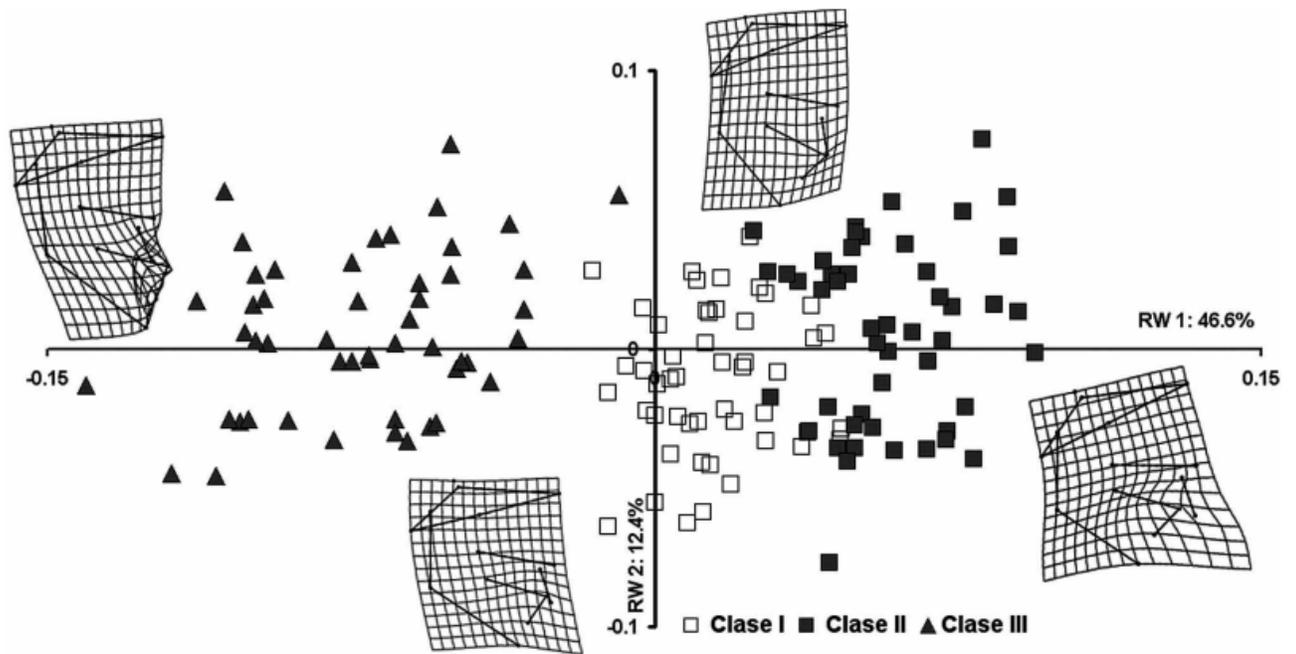


Figura 3. Ejemplo de análisis de deformación relativa de grillas en espacio morfométrico correspondiente a la morfología craneofacial de clases esqueléticas. El análisis de deformación relativa es una función de la morfometría geométrica que permite estudiar los cambios morfológicos de los objetos procesados, en este caso, telerradiografías laterales de perfil, que al ser procesadas se evidencia una distribución morfológica marcada por las clases esqueléticas desde un extremo de clase III a un extremo de clase II (Díaz y Manríquez, 2014).

Recientemente, Bastidas (2021) generó una base de datos formada por telerradiografías laterales de cráneo para su análisis morfométrico, posibilitando un correcto estudio de poblaciones para poder determinar y analizar el patrón de variación de la forma craneofacial de una manera visual, estadística y estudiar su relación con alguna variable en específico (Bastidas, 2021).

Planteamiento de problema

La Cefalometría, a pesar de su uso rutinario, posee deficiencias que limitan su fidelidad en clínica e investigación. Los primeros en cuestionar la cefalometría fueron Moyers y Bookstein (1979), criticándola como una herramienta con baja capacidad de identificación morfológica de los individuos (Moyers y Bookstein, 1979). Sus valores lineales y angulares han sido determinados, en general, en

relación con población caucásica, por lo que su extrapolación a otras poblaciones debe ser validada (Cotton y cols, 1951; Argyropoulos y Sassouni, 1989; Munandar y Snow, 1995; Bronfman y cols., 2015; Cerda y cols., 2019;). Otra importante deficiencia es que, al analizar solamente mediciones lineales y angulares, no incluye el análisis de la forma propiamente tal, dejando de lado importantes características al diagnosticar y distinguir Clases Esqueletales (McIntyre y Mossey, 2003; Moyers y Bookstein, 1979; Halazonetis, 2004). Esto conlleva a un efecto dominó de deficiencias, no logra discriminar correctamente clases esqueléticas intermedias, poco marcadas o leves, por lo que su sensibilidad y especificidad diagnóstica es cuestionable (Moyers y Bookstein, 1979; McIntyre y Mossey, 2003; Halazonetis, 2004; Díaz y Manríquez, 2014; Toro-Ibacache y cols., 2014).

El ángulo ANB es un parámetro cefalométrico ampliamente aceptado, y, con el objetivo de tener un conjunto de parámetros confiables, su uso se complementa con otros parámetros cefalométricos para la determinación de Clase Esquelética (Steiner y Hills, 1953; Jacobson, 1975; Kim y Vietas, 1978; Freeman, 1981; Baik y Ververidou, 2004). No existe una concordancia diagnóstica absoluta entre estos, determinándose concordancias moderadas a aceptables entre ellos (del Santo, 2006; Gul y Fida, 2008; Wellens, 2009; Ahmed y cols., 2018; Qamaruddin y cols., 2018).

Por otro lado, la Morfometría Geométrica ha demostrado su amplio uso en varias áreas de investigación abriéndose paso en la odontología, teniendo como base la determinación de los mismos hitos usados en la Cefalometría Convencional, y destacando su uso en el área de ortodoncia y cirugía maxilofacial para evaluar evolución de tratamientos y analizar la morfología craneofacial en distintas condiciones (Toro-Ibacache y cols., 2014; Bertl y cols., 2016; Kouli y cols., 2019; Nuzzolese y cols., 2019).

Díaz y Manríquez (2014) ubicaron las Clases Esqueletales en un espacio morfométrico mediante el procesamiento estándar de Morfometría Geométrica (Fig. 3), obteniendo una distribución claramente visible de un extremo de clase III hasta un extremo opuesto de la clase II. Esto permite discriminar gráficamente la clase esquelética. Estos autores proponen el uso de Morfometría Geométrica para ubicar

con precisión la matriz digitalizada del paciente a analizar de un mapa de homología para su diagnóstico esquelético, obteniendo además el grado de severidad clínica del caso (Díaz y Manríquez, 2014).

Por su parte, Bastidas (2021) desarrolló una propuesta de clasificación diagnóstica mediante Morfometría Geométrica de Clase Esquelética y Biotipo Facial en un espacio morfométrico (Fig. 4), donde el diagnóstico no solamente es la expresión de Clase Esquelética y Biotipo Facial, sino que también sus respectivos grados de severidad, pudiéndose distinguir morfologías leves de moderadas y severas. Cabe destacar que la propuesta de Bastidas (2021) analiza de una forma integral la morfología craneofacial usando 22 puntos cefalométricos (Fig. 5 y Anexo N°1), integrando su componente sagital y vertical en un solo análisis y posterior diagnóstico. En esta nueva propuesta de clasificación de las Clases Esqueléticas, se partió del supuesto de que si se utilizaba un gran número de pacientes (por sobre 400), éstos mostrarían una distribución normal. Así, los límites clasificatorios entre clases esqueléticas se obtuvieron mediante el cálculo de la desviación estándar de la población estudiada (Bastidas, 2021). Surge así una oportunidad para generar un diagnóstico que permita desarrollar evidencia científica asociada a una herramienta con gran poder estadístico y, debido a sus características visuales y especificaciones diagnósticas, mejorar la comunicación con el paciente y sus expectativas de tratamiento.

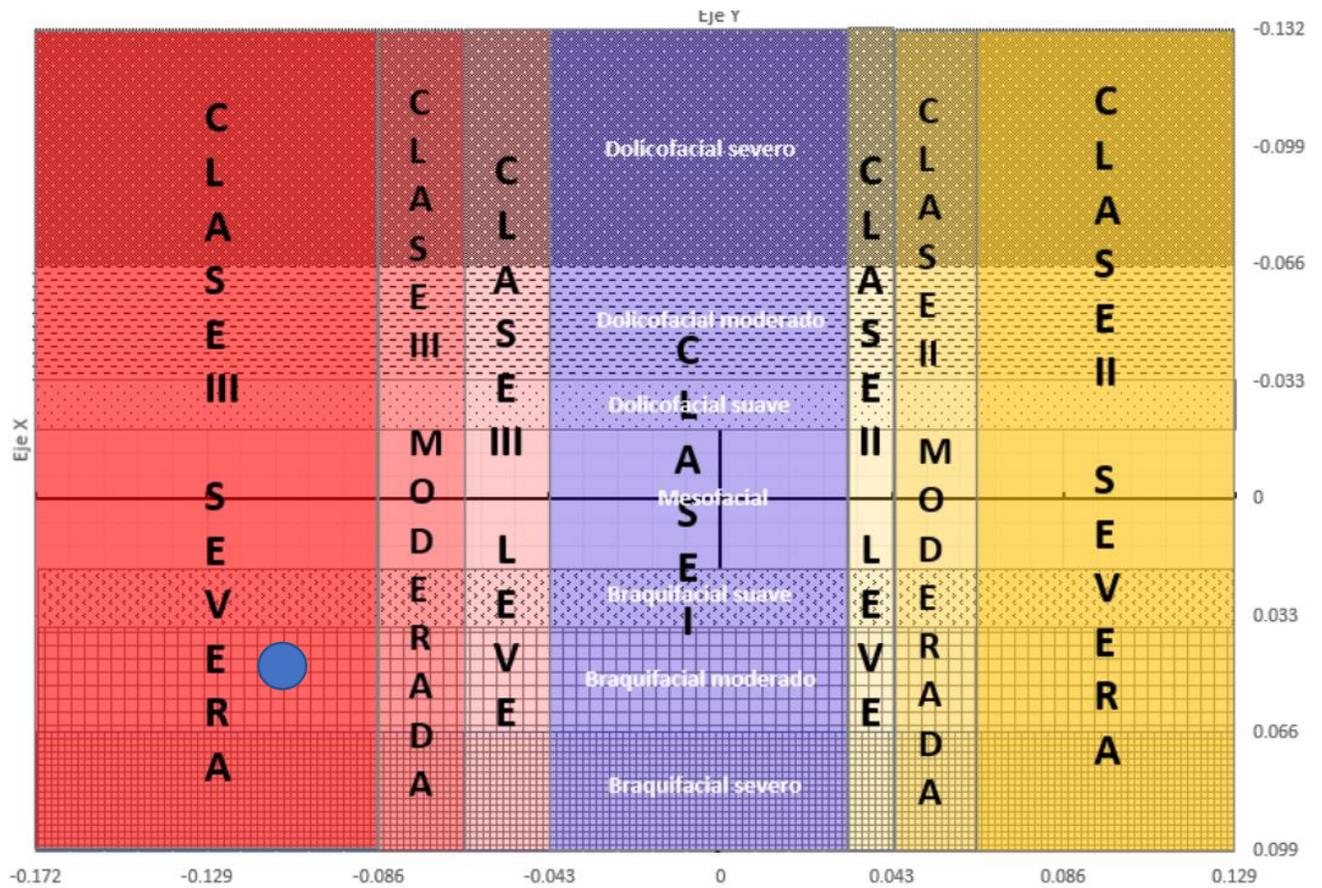


Figura 4. Propuesta de clasificación de Clase Esqueletal y Biotipo Facial mediante Morfometría Geométrica (Bastidas, 2021). Propuesta caracterizada por permitir un análisis integral de clase esquelética (en el eje x) y biotipo facial (en el eje y), para el diagnóstico dento-esquelético. Como ejemplo de clasificación, se puede ubicar un individuo en el círculo azul para determinar su diagnóstico dento-esquelético, correspondiendo a un individuo Clase Esqueletal III severa y Braquifacial moderado.

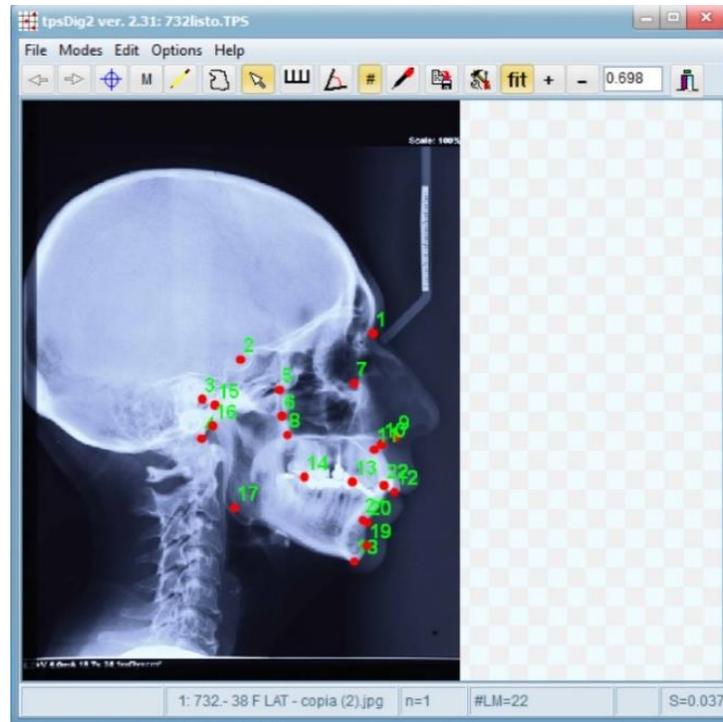


Figura 5. Telerradiografía lateral de cráneo con 22 puntos cefalométricos utilizados en el desarrollo de la nueva propuesta de clasificación. Para la nueva propuesta de clasificación se usaron 22 puntos cefalométricos como hitos en el procesamiento morfométrico, estos hitos, en su conjunto, representan geoméricamente la morfología craneofacial (Bastidas, 2021).

El presente trabajo de investigación constituye la segunda etapa del PRI-ODO 2019/06 “Análisis de Concordancia de la Actividad Electromiográfica Mandibular y Cervical entre distintos Métodos de Asignación del tipo de Morfología Facial”.

El objetivo del presente trabajo es determinar el nivel de concordancia diagnóstica entre las técnicas Cefalométricas Convencionales y de Morfometría Geométrica para clasificar clases esqueléticas, utilizando un conjunto de softwares que facilitan los análisis morfométricos y así poder dar un paso al uso clínico de la clasificación diagnóstica generada a partir de la Morfometría Geométrica.

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

A. HIPÓTESIS

El diagnóstico de clase esquelética según Morfometría Geométrica es concordante con el diagnóstico según Cefalometría Convencional.

B. OBJETIVO GENERAL

Determinar el nivel de concordancia del diagnóstico de clase esquelética obtenido mediante Morfometría Geométrica con el diagnóstico obtenido mediante Cefalometría Convencional.

C. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la Clase Esquelética mediante Cefalometría Convencional en una muestra de 439 telerradiografías laterales de cráneo.
2. Determinar la Clase Esquelética mediante Morfometría Geométrica en una muestra de 439 telerradiografías laterales de cráneo.
3. Determinar el nivel de concordancia taxonómica entre la clasificación de Clase Esquelética obtenida mediante Morfometría Geométrica y la clasificación cefalométrica según ángulo ANB y ANB individualizado.
4. Determinar el nivel de concordancia diagnóstica entre la clasificación de Clase Esquelética obtenida mediante Morfometría Geométrica y la clasificación cefalométrica según ángulo ANB y ANB individualizado.
5. Determinar la sensibilidad diagnóstica de Morfometría Geométrica y Cefalometría Convencional para diagnosticar la Clase Esquelética.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Tipo de estudio

El estudio realizado fue de tipo descriptivo transversal cuantitativo.

B. Universo y muestra

La muestra se obtuvo de un universo de 439 telerradiografías laterales de cráneo provenientes de la base de datos depositada en el Centro de Análisis Cuantitativo en Antropología Dental (CA2). Esta base de datos se encuentra completamente anonimizada y corresponde a telerradiografías de pacientes

que concurren o han concurrido a tratamiento ortodóncico en la Clínica Odontológica de 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. Calibración

Para realizar la clasificación de telerradiografías de perfil mediante Morfometría Geométrica y Cefalometría Convencional se utilizó la muestra digitalizada y procesada en el estudio “Desarrollo de un algoritmo de morfometría geométrica para diagnóstico dentoescelético” (Bastidas, 2021). La muestra ya se encontraba con los puntos cefalométricos digitalizados, calibrada con un grado de concordancia mayor al 80% determinado mediante el Test de kappa (Landis y Koch, 1977).

E. Identificación de los Hitos Anatómicos:

En el estudio “Desarrollo de un algoritmo de morfometría geométrica para diagnóstico dentoescelético” (Bastidas, 2021) se identificaron 22 hitos anatómicos en el programa TpsDig2 versión 2.31 © 2017, F. James Rohlf, New York, con estos puntos cefalométricos se realizó el análisis en Morfometría Geométrica y Cefalometría Convencional. En el presente trabajo se utilizó la misma definición de hitos (Anexo N°1).

F. Determinación de la Clase esquelética:

• Mediante Cefalometría Convencional:

El análisis mediante Cefalometría Convencional para la determinación de la clase esquelética fue definido por el ángulo ANB de Steiner y ángulo ANB individualizado (Freeman, 1981; Miralles y cols., 1991; Bong y cols.,

2007; Ahmed y cols., 2018). Estos análisis se realizaron utilizando el programa WebCeph™, Version 1.0.0., se utilizaron los hitos anatómicos ya identificados en el estudio de Bastidas (2021) y la información se registró en el programa Microsoft Excel (Versión 2203).

-Se midió el ángulo ANB según Steiner y se clasificó en Clase I (entre 0° y 4°), Clase II (mayor de 4°) o Clase III (menor de 0°).

-Para determinar el ángulo ANB individualizado, al valor de ANB se le restó 1 grado por cada 2° en que SNA exceda los 81.5°. Al valor de ANB se le sumó 1 grado por cada 2° en que SNA sea menor a 81.5°. El resultado se clasificó en Clase I (entre 0° y 4°), Clase II (mayor de 4°) o Clase III (menor de 0°)(Freeman, 1981; Miralles et al., 1991).

- **Mediante Morfometría Geométrica:**

El diagnóstico de clase esquelética mediante Morfometría Geométrica se obtuvo de la clasificación propuesta por Bastidas (2021) (Fig. 4). Corresponde a un espacio morfométrico de componentes principales de la forma. Dichos componentes principales corresponden al conjunto de variables que explican el cambio de la morfología craneofacial en el sentido sagital y vertical. En el eje x se encuentra el primer componente principal de la forma, que se asocia a la Clase Esquelética; en este eje la clase esquelética III se encuentra ubicada en el lado izquierdo, la clase esquelética II se encuentra ubicada en el lado derecho y en la zona central de la clasificación se ubica la clase I. En el eje y se encuentra el segundo componente principal de la forma, que se asocia al Biotipo Facial; en este eje el biotipo dolicofacial se ubica en la zona superior, el biotipo braquifacial en la zona inferior y el biotipo mesofacial en la zona central del eje.

En este sistema de clasificación basta con digitalizar la telerradiografía del paciente y determinar su ubicación en el Espacio Morfométrico para obtener su Clase Esquelética y Biotipo Facial, además de sus respectivos grados de severidad (Díaz y Manríquez, 2014; Bastidas, 2021).

La metodología con la que se desarrolló la nueva propuesta de clasificación se encuentra especificada en el Anexo N°2, que corresponde a un extracto del trabajo de Bastidas (2021).

G. Análisis estadístico:

La concordancia taxonómica se define como el grado de concordancia entre dos clasificaciones distintas al clasificar o agrupar un mismo organismo (Crisci, 1984). La concordancia taxonómica de la clase esquelética entre Morfometría Geométrica y Cefalometría se determinó mediante el Test de Mantel en el programa Past (Versión 4.08) (Hammer y cols., 2001) El Test de Mantel es un análisis de permutación que analiza dos o tres matrices de distancia (o matrices de similitud) arrojando un valor de correlación de r y su respectivo valor de p . En el presente estudio se obtuvieron las matrices de distancia/similitud de los ángulos ANB, ANB individualizado y de los componentes principales de la forma de morfometría geométrica. La concordancia de dichas matrices se analizó mediante el Test de Mantel y el valor de correlación obtenido se interpretó como el grado de similitud de las herramientas al clasificar la muestra en clases esqueléticas (Mantel, 1967; Sokal, 1979).

La concordancia diagnóstica se determinó mediante el Test de kappa en el programa Excel (Versión 2203). Este test usa el diagnóstico obtenido entre herramientas y determina el valor de concordancia entre ellas más allá del azar, o sea, determina el grado de concordancia diagnóstica independiente de la concordancia que se pudiera generar por azar (Abraira, 2001). Los niveles y valores de concordancia que determinan el test son: pobre [0], 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).

La sensibilidad diagnóstica de clase esquelética mediante Morfometría Geométrica y Cefalometría se determinó con el análisis de Función Discriminante en el programa Past (Versión 4.08) (Hammer y cols., 2001). Este análisis estadístico sirve para determinar la capacidad de las

herramientas de clasificar correctamente individuos con cierta condición o enfermedad (Parikh y cols., 2008.), mientras más alto sea el resultado obtenido más alta es la capacidad discriminadora de la herramienta al determinar clases esqueléticas.

V. RESULTADOS

Datos epidemiológicos:

Se usó un total de 439 telerradiografías laterales de cráneo de un rango de edad entre 18 y 69 años (promedio de edad 24.97 años, DS \pm 7.4) (Tabla 1). La muestra se conformó de 276 mujeres (promedio de edad 25.17 años, DS \pm 7.5) y 163 hombres (promedio de edad 24.61 años, DS \pm 7).

Tabla 1. Promedio y rango de edad de la muestra utilizada

	n	Rango de edad	Promedio de edad
Mujeres	276	18-60 años	25 años, DS \pm 7.5
Hombres	163	18-69 años	25 años, DS \pm 7.0
Total	439	18-69 años	24.5 años, DS \pm 7.4

Frecuencia de Clases Esqueléticas determinada mediante Cefalometría y Morfometría Geométrica

Mediante la clasificación de ángulo ANB se obtuvo un total de 135 individuos Clase I, 244 individuos Clase II y 60 individuos Clase III (Tabla 2).

Mediante la clasificación de ángulo ANB individualizado se obtuvo un total de 159 individuos Clase I, 83 individuos Clase II y 197 individuos Clase III.

Mediante la clasificación de morfometría geométrica se obtuvo un total de 270 individuos Clase I, 101 individuos Clase II y 68 individuos Clase III.

Tabla 2. Frecuencia de Clases Esqueletales obtenidas en las diferentes herramientas.

	ANB	ANB individualizado	Morfometría Geométrica
Clase I	135	159	270
Clase II	244	83	101
Clase III	60	197	68
Total	439	439	439

Concordancia taxonómica de Clase Esqueletal entre Cefalometría y Morfometría Geométrica

Los valores de concordancia taxonómica, obtenidos mediante el Test de Mantel, entre las herramientas fueron de 0.76 entre ángulo ANB y ángulo ANB individualizado, 0.69 entre morfometría geométrica y ángulo ANB, y 0.72 entre morfometría geométrica y ángulo ANB individualizado (Tabla 3). Estos valores representan una alta y similar concordancia taxonómica entre las clasificaciones, y con significancia estadística ($p < 0.01$).

Tabla 3. Test de Mantel entre herramientas de clasificación de Clase Esqueletal.

	ANB-ANB _{indv}	MG-ANB	MG-ANB _{indv}
Valor <i>r</i> de correlación	0.76	0.69	0.72
Valor de <i>p</i>	0.0001	0.0001	0.0001

Concordancia diagnóstica de Clase Esqueletal entre Cefalometría y Morfometría Geométrica

El valor de concordancia diagnóstica, obtenidos mediante el Test de kappa, entre Morfometría Geométrica y ángulo ANB fue de 0.42 ($\alpha < 0.01$) (Tabla 4), entre Morfometría Geométrica y ángulo ANB individualizado fue de 0.55 ($\alpha < 0.01$) (Tabla 5), entre ángulo ANB y ANB individualizado fue de 0.57 ($\alpha < 0.01$) (Tabla 6), estos valores corresponden a una concordancia diagnóstica moderada (tercer rango de concordancia según Landis y Koch (1977)).

Tabla 4. Concordancia diagnóstica de Clase Esqueletal entre Morfometría Geométrica y Ángulo ANB mediante Test de kappa (se muestra la matriz de confusión y el resultado final destacado en amarillo).

Cuenta de Concordancia Dx Etiquetas de columna					Cohen's Kappa	
Etiquetas de fila	Clase I	Clase II	Clase III	Total general		
Clase I	118	2	15	135	Alpha	0,01
Clase II	145	99		244		
Clase III	7		53	60	kappa	0,41832423
Total general	270	101	68	439	std err	0,03228384
					lower	0,33516657
					upper	0,50148189

Tabla 5. Concordancia diagnóstica de Clase Esqueletal entre Morfometría Geométrica y Ángulo ANB individualizado mediante Test de kappa (se muestra la matriz de confusión y el resultado final destacado en amarillo).

Cuenta de Concordancia Dx Etiquetas de columna					Cohen's Kappa	
Etiquetas de fila	Clase I	Clase II	Clase III	Total general		
Clase I	151	5	3	159	Alpha	0,01
Clase II	101	96		197		
Clase III	18		65	83	kappa	0,5512837
Total general	270	101	68	439	std err	0,03213814
					lower	0,46850134
					upper	0,63406607

Tabla 6. Concordancia diagnóstica de Clase Esqueletal entre Ángulo ANB y ANB individualizado mediante Test de kappa (se muestra la matriz de confusión y resultado final destacado en amarillo).

Cuenta de Concordancia Dx Etiquetas de columna					Cohen's Kappa	
Etiquetas de fila	Clase I	Clase II	Clase III	Total general		
Clase I	91	18	26	135	Alpha	0,01
Clase II	62	179	3	244		
Clase III	6		54	60	kappa	0,57291385
Total general	159	197	83	439	std err	0,03375977
					lower	0,48595444
					upper	0,65987325

Distribución de la muestra clasificada mediante Ángulo ANB en espacio morfométrico:

La Figura 6 muestra la ubicación de los 439 individuos clasificados según ángulo ANB en el espacio morfométrico de la propuesta de clasificación. Los individuos Clase III (color rojo) se ubican en el sector izquierdo del espacio, sector en donde según la clasificación mediante Morfometría Geométrica también se ubican los individuos Clase III (Fig. 4). Los individuos Clase II (color amarillo) se ubican principalmente en el sector derecho del espacio, sector en donde según la clasificación mediante Morfometría Geométrica también se ubican los individuos Clase II. Los individuos Clase I (color azul) se ubican en una posición intermedia con respecto a las Clases III y II, sector en donde según la clasificación mediante Morfometría Geométrica también se ubican los individuos Clase I. Aunque haya una distribución marcada, se produce un solapamiento entre clases en cada extremo de la distribución de Clase I al clasificar mediante ángulo ANB.

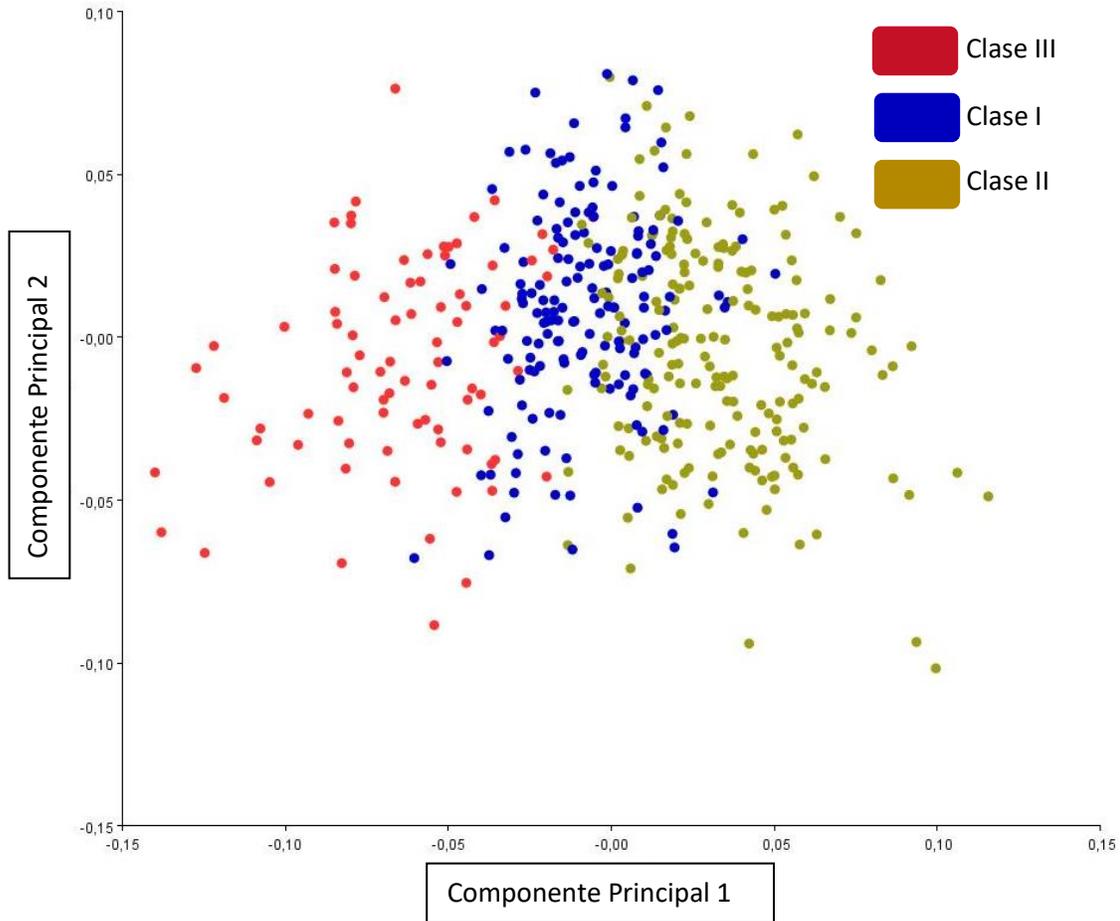


Figura 6. Distribución de la muestra clasificada mediante ángulo ANB en el espacio morfométrico de la nueva propuesta de clasificación. El total de la muestra fue clasificada según el ángulo ANB para determinar la distribución del ángulo cefalométrico en el espacio morfométrico de la nueva propuesta de clasificación.

Distribución de la muestra clasificada mediante Ángulo ANB Individualizado en espacio morfométrico:

La Figura 7 muestra la ubicación de los 439 individuos clasificados según ángulo ANB individualizado en el espacio morfométrico de la propuesta de clasificación. Los individuos Clase III (color rojo) se ubican en el sector izquierdo del espacio, sector en donde según la clasificación mediante Morfometría Geométrica también se ubican los individuos Clase III (Fig. 4). Los individuos Clase II (color amarillo) se ubican principalmente en el sector derecho del espacio, sector en donde según clasificación mediante Morfometría Geométrica también se ubican los individuos

Clase II. Los individuos Clase I (color azul) se ubican en una posición intermedia con respecto a las Clases III y II, sector en donde según clasificación mediante Morfometría Geométrica también se ubican los individuos Clase I. Aunque haya una distribución marcada, se produce un alto grado de solapamiento entre clases al clasificar mediante ángulo ANB individualizado.

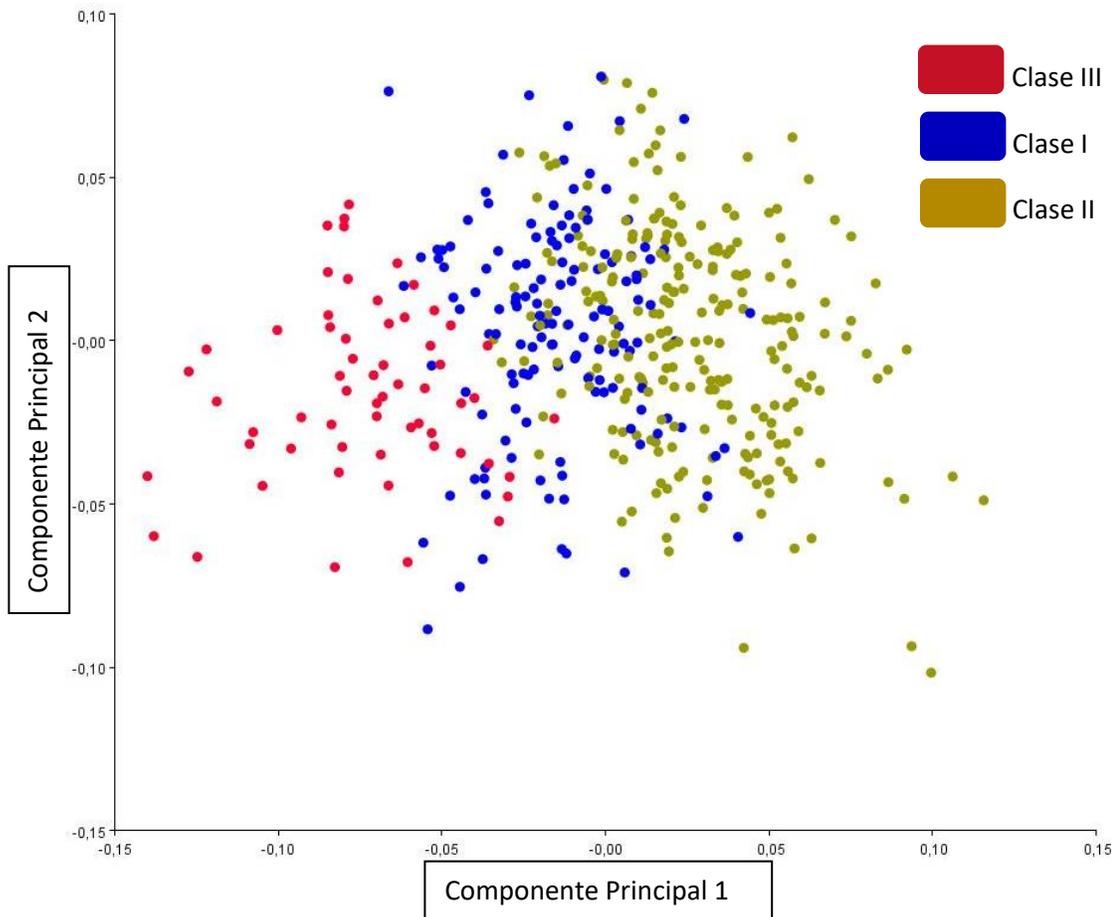


Figura 7. Distribución de la muestra clasificada mediante ángulo ANB individualizado en el espacio morfométrico de la nueva propuesta de clasificación. El total de la muestra fue clasificada según el ángulo ANB individualizado para determinar la distribución del ángulo cefalométrico en el espacio morfométrico de la nueva propuesta de clasificación.

Análisis estadístico de Función Discriminante de clasificación de Clase Esqueletal según ángulo ANB para la determinación de Sensibilidad Diagnóstica:

La clasificación de Clase Esqueletal mediante el ángulo ANB obtuvo un valor de 99.26% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal I, un 88.93% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal II y un 91.66% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal III (Tabla 7).

Tabla 7. Función Discriminante de clasificación de Clase Esqueletal mediante ángulo ANB.

	Clase I	Clase II	Clase III	Total	Sensibilidad diagnóstica
Clase I	134	0	1	135	99.26%
Clase II	27	217	0	244	88.93%
Clase III	5	0	55	60	91.66%
Total				439	

Análisis estadístico de Función Discriminante de clasificación de Clase Esqueletal según ángulo ANB individualizado:

La clasificación de Clase Esqueletal mediante el ángulo ANB individualizado obtuvo un valor de 100% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal I, un 92.39% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal II y un 79.52% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal III (Tabla 8).

Tabla 8. Función Discriminante de clasificación de Clase Esqueletal mediante ángulo ANB individualizado.

	Clase I	Clase II	Clase III	Total	Sensibilidad diagnóstica
Clase I	159	0	0	159	100%
Clase II	15	182	0	197	92.39%
Clase III	17	0	66	83	79.52%
Total				439	

Análisis estadístico de Función Discriminante de clasificación de Clase Esqueletal según Morfometría Geométrica:

La clasificación de Clase Esqueletal mediante Morfometría Geométrica obtuvo un valor de 77.78% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal I, un 87.13% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal II y un 94.12% de sensibilidad diagnóstica al clasificar Clase Esqueletal III (Tabla 9).

Tabla 9. Función Discriminante de clasificación de Clase Esqueletal mediante Morfometría Geométrica.

	Clase I	Clase II	Clase III	Total	Sensibilidad diagnóstica
Clase I	210	49	11	270	77.78%
Clase II	13	88	0	101	87.13%
Clase III	4	0	64	68	94.12%
Total				439	

VI. DISCUSIÓN

En el presente estudio se determinó el nivel de concordancia taxonómica, diagnóstica y sensibilidad diagnóstica entre los ángulos ANB, ANB individualizado y la nueva propuesta de clasificación mediante morfometría geométrica para el diagnóstico de clase esquelética.

El principal resultado de nuestro trabajo permite establecer una concordancia taxonómica, diagnóstica y sensibilidad diagnóstica aceptables entre las clasificaciones de clase esquelética según morfometría geométrica y cefalometría convencional.

La importancia de estos hallazgos es que nos permite dar un paso para la validación de la propuesta de clasificación según morfometría geométrica, siendo esta una herramienta con alta capacidad de descripción de la variación de la morfología craneofacial, permitiendo la identificación de morfologías leves y moderadas, integrando el análisis del patrón sagital (clase esquelética), vertical (biotipo facial) y el grado de severidad en el diagnóstico dento-esquelético del paciente. Además, al

ser una herramienta gráfica permitiría mejorar la comprensión por parte del paciente, ya que este puede visualizar directamente en el espacio morfométrico su condición.

Si bien no hay estudios que comparen una clasificación de clase esquelética mediante morfometría geométrica con respecto a la clasificación cefalométrica convencional, hay estudios que utilizan la morfometría geométrica como herramienta de análisis de la morfología craneofacial y clases esqueléticas (Freudenthaler y cols., 2017; Woon y cols., 2019). Nuestros resultados concuerdan con los estudios de Woon y cols. y Freudenthaler y cols., en los que determinaron que la morfometría geométrica permite analizar cambios de la morfología craneofacial en las diferentes clases esqueléticas a nivel de los huesos maxilar, mandibular, base de cráneo, posición de incisivos y diferencias en ángulo ANB, o sea que permite un análisis integral de la variación de la morfología craneofacial no solamente explicado por un ángulo específico. Otro resultado concordante con estos estudios, es el solapamiento que se produce en el espacio morfométrico entre clases esqueléticas cuando se usa como clasificador el ángulo ANB (Fig. 6) (Freudenthaler y cols., 2017; Woon y cols., 2019).

A partir de los resultados descritos de la Figura 6, se puede determinar que el espacio morfométrico de la nueva propuesta de clasificación contiene la variación de los ángulos cefalométricos. Además, el solapamiento en la distribución de estos se da ya que solo explican una porción del conjunto de variaciones de morfología craneofacial, conjunto de variaciones que se describen al usar el análisis integral de hitos cefalométricos que utiliza la nueva propuesta de clasificación.

Nuestros resultados también concuerdan con la función discriminante entre Clases Esqueléticas determinada en el estudio de Woon y cols, en el que obtuvieron un rango de 60% al 80% de sensibilidad clasificatoria al distinguir clases esqueléticas mediante Morfometría Geométrica, rango similar, aunque menor al nuestro. Esta diferencia se explica debido a la metodología utilizada en el estudio ya mencionado, en donde no hay una clasificación mediante morfometría geométrica, si no que a la base de datos morfométricos se añade solamente el clasificador mediante el ángulo

ANB y se evalúa el solapamiento entre clases, sin evaluar el resto de conjunto de variaciones de la forma (Woon y cols., 2019).

El nivel de concordancia taxonómica obtenida mediante el Test de Mantel se interpreta como que las diferentes clasificaciones tienen un grado alto y similar de concordancia al agrupar la muestra en clases esqueléticas. El Test de kappa, a su vez, determinó una concordancia diagnóstica moderada entre las diferentes herramientas. Estos resultados son similares con la forma de correspondencia entre clasificaciones que describió Bastidas (2021); describió, mediante morfometría geométrica, la morfología de las diferentes clases esqueléticas, incluyendo el cambio del ángulo ANB en las diferentes morfologías. En este estudio se determinó que la Clase III se caracteriza por tener “una mandíbula en una posición anterior al maxilar, aumento en la longitud de la rama y base mandibular, aumento del ángulo mandibular, disminución de la inclinación del plano palatino, bascula posterior de la base de cráneo, disminución de la inclinación del incisivo inferior y ángulo ANB negativo”. En el otro extremo de la transición morfológica, la Clase II se caracteriza por “un maxilar proyectado por delante de la mandíbula, aumento en la inclinación del plano palatino, bascula anterior de la base de cráneo, plano oclusal inclinado, aumento del resalte de los incisivos, aumento en la inclinación de los incisivos inferiores, ángulo ANB aumentado, disminución de la longitud de la rama y la base mandibular” (Bastidas, 2021). Estas descripciones morfológicas y el nivel de concordancia entre clasificaciones son similares a lo descrito en estudios de abordaje de morfometría geométrica y cefalometría (Singh y cols., 1997; Chang y cols., 2005; de Almeida y cols., 2017). Chang y cols concluyeron que la Clase Esquelética II se caracteriza por un desarrollo elongado del complejo palatomaxilar y un acortamiento mandibular anteroposterior, al contrario, la Clase Esquelética III se caracteriza por un desarrollo acortado del complejo palatomaxilar y una elongación mandibular anteroposterior (Chang et al., 2005). Los resultados también concuerdan con la revisión sistemática de abordaje cefalométrico de De Almeida y cols. (2017). En este estudio se analizaron la relación de diferentes ángulos con maloclusiones, entre ellos, determinó que el ángulo de la base de cráneo por sí mismo no juega un rol significativo en el desarrollo de maloclusiones (de Almeida y cols., 2017). Los estudios con análisis mediante morfometría geométrica concluyen

igualmente que, si bien hay diferencias en el ángulo de la base craneal, estas no son estadísticamente significativas en contraste con las diferencias morfológicas encontradas a nivel palatomaxilar y mandibular, que sí lo son (Freudenthaler y cols., 2017; Woon y cols., 2019). Por contraparte, Monirifard (2020), en su estudio de carácter cefalométrico, sí determina una relación significativa entre variaciones en la base de cráneo y clases esqueléticas (Monirifard y cols., 2020). Si bien en la literatura hay un consenso sobre relacionar ángulos con las diferentes clases esqueléticas, no son determinantes al momento de describirlas, por lo que estudiar una variación integral de la forma como lo hace la morfometría geométrica es una alternativa válida.

Nuestro nivel de concordancia diagnóstica entre herramientas es similar al nivel reportado en estudios que evalúan la concordancia entre parámetros cefalométricos para la determinación de clase esquelética, los cuales tienen niveles de concordancia moderados a aceptables (dentro de estos estudios se evaluaron los ángulos ANB, valor Wits y ángulo Beta) (del Santo, 2006; Gul y Fida, 2008; Wellens, 2009; Ahmed y cols., 2018; Qamaruddin y cols., 2018). Wellens (2009), considerando la falta de concordancia entre métodos de determinación de clase esquelética, evaluó la concordancia entre el ángulo ANB y valor Wits. Además, realizó un ajuste en sus resultados mediante el análisis de Procrustes (análisis incorporado en la morfometría geométrica, que ajusta la escala, y elimina el efecto de traslación y rotación, para el análisis de la forma propiamente tal), por lo que obtuvo los valores del ángulo ANB y valor Wits ajustados. El nivel de concordancia aumentó realizando este ajuste, evidenciando la necesidad de desarrollar una herramienta que logre analizar la morfología craneofacial como lo realiza la morfometría geométrica (Wellens, 2009).

Habiendo determinado el nivel de concordancia entre las clasificaciones estudiadas, para la presente discusión se puede detallar, como últimos comentarios, sobre el contexto diagnóstico en el que se ubica la nueva propuesta y la manera en que se diferencia su dato primario con el resto de mediciones cefalométricas. En la cefalometría existe un conjunto de parámetros cuyos datos primarios son el trazado de líneas y ángulos que determinan la clase esquelética, algunos de ellos son: ángulo ANB (Steiner y Hills, 1953), valor Wits (Jacobson, 1975), APDI (Kim y Vietas, 1978),

Ángulo ANB individualizado (Freeman, 1981). Sin embargo, estos indicadores no tienen un consenso en su uso, ya que como sus propios autores describen, una medición por sí sola no proporciona suficiente información (Kim y Vietas, 1978). El problema de determinar la Clase Esqueletal es que es un problema morfológico más complejo que la sola determinación de un ángulo. Bjork (1995) recomendó tener un mayor énfasis en el análisis de la forma, más que en cambios de posición de las estructuras al determinar diagnósticos y predicciones de crecimiento (Bjork, 1995). La cefalometría nos permite tener un análisis de la posición de las estructuras craneofaciales mediante sus datos primarios que, aunque sea un método que nos entrega información correcta, no permite una determinación y análisis de la forma craneofacial propiamente tal. Es en este punto que la morfometría geométrica cobra importancia, ya que se caracteriza por tener como datos primarios un conjunto de coordenadas de hitos cefalométricos que representan la morfología craneofacial. Al analizarlos integralmente, nos permite determinar variaciones de tamaños y forma mediante el tamaño del centroide y mediante el análisis de los componentes principales de la forma, lo que ha sido de gran importancia en el estudio de poblaciones. Por ejemplo, ha permitido determinar el dimorfismo sexual aislando el tamaño de la forma, donde las diferencias observadas se deben mayormente al tamaño y no a las diferencias de la forma (Rosas y Bastir, 2002; Kimmerle et al., 2008). Es así como la morfometría geométrica permite dar explicaciones más certeras con respecto a la variación de la forma propiamente tal. A nivel de la determinación de clase esquelética también permite dar explicaciones/caracterizaciones más certeras; un individuo con un ángulo ANB= -6° es clasificado como Clase III, y se caracteriza por tener una mandíbula protruida con respecto al maxilar. La propuesta de clasificación según morfometría geométrica nos permite evaluar integralmente las características de este individuo Clase III, ¿Qué tan protruida está su mandíbula en comparación al resto de morfologías de clases esqueléticas?, ¿qué otras características morfológicas tiene?, ¿en qué posición del espacio morfométrico se encuentra?, ¿en qué desviación estándar de la población estudiada se posiciona?, ¿qué severidad de clase esquelética y biotipo facial presenta?. La clasificación mediante morfometría geométrica también permite, gracias a sus programas, el cálculo de ángulos, o sea

que la cefalometría es una técnica que puede ser incluida en la evaluación mediante morfometría geométrica. Con todo esto, se puede concluir que el dato primario de la morfometría geométrica, a diferencia del dato primario de la cefalometría, es un dato enriquecido, ya que considera toda la complejidad de la morfología craneofacial, y no solamente valores angulares por separado y, con esto, tener una mayor relevancia clínica que permite mejorar la evaluación craneofacial propiamente tal del paciente.

Dentro de las limitaciones del presente estudio podemos encontrar que la muestra estudiada corresponde a una población proveniente de la Región Metropolitana de Chile, por lo que se necesita un estudio cuya muestra provenga de más regiones del país para aumentar su validez a nivel nacional. Otra limitación es la falta de definición de una herramienta gold estándar para la determinación de clase esquelética, por lo que se carece de una herramienta que permita establecer fielmente los niveles de sensibilidad diagnóstica, en el presente estudio se usaron como valores de referencia los ángulos ANB y ANB individualizado, ángulos, que como ya se ha mencionado, por si solos poseen un nivel cuestionable de confiabilidad. Por la falta de una herramienta gold estándar se puede formular un estudio que utilice como valores de referencia el indicador APDI y valor Wits, para determinar si la clasificación mediante morfometría geométrica tiene los mismos niveles de concordancia encontrados en la presente investigación, pero con mediciones cefalométricas diferentes y complementarias.

VII. CONCLUSIONES

1. La nueva propuesta clasificatoria de Clase Esquelética mediante Morfometría Geométrica tiene una concordancia diagnóstica aceptable con respecto a la Cefalometría Convencional.
2. Las variaciones del ángulo ANB y ANB individualizado son perfectamente identificables en el espacio morfométrico de la propuesta clasificatoria.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraira, V. (2001). El índice kappa. *SEMERGEN - Medicina de Familia*, 27(5), 247–249. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(01\)73955-X](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(01)73955-X)
- Aguila, J. (1996). *Manual de Cefalometría. Sevilla: Actualidades Médico Odontológicas Latinoamerica C.A.*
- Ahmed, M., Shaikh, A., & Fida, M. (2018). Diagnostic validity of different cephalometric analyses for assessment of the sagittal skeletal pattern. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 23(5), 75–81. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.23.5.075-081.oar>
- AlBarakati, S. F., Kula, K. S., & Ghoneima, A. A. (2012). The reliability and reproducibility of cephalometric measurements: A comparison of conventional and digital methods. *Dentomaxillofacial Radiology*, 41(1), 11–17. <https://doi.org/10.1259/dmfr/37010910>
- Angle, E. H. (1899). Classification of Malocclusion. *Dental Cosmos*, 41(3), 248–264.
- Argyropoulos, E., & Sassouni, V. (1989). Comparison of the dentofacial patterns for native Greek and American-Caucasian adolescents. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 95(3), 238–249. [https://doi.org/10.1016/0889-5406\(89\)90054-1](https://doi.org/10.1016/0889-5406(89)90054-1)
- Baik, C. Y., & Ververidou, M. (2004). A new approach of assessing sagittal discrepancies: The Beta angle. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 126(1), 100–105. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.08.026>
- Bastidas, N. (2021). *Desarrollo de un algoritmo de Morfometría Geométrica para Diagnóstico Dentoestructural*. Tesis (cirujano dentista), Universidad de Chile.
- Benítez, H. A., & Püschel, T. A. (2014). Modelando la varianza de la forma: Morfometría geométrica aplicaciones en biología evolutiva. *International Journal of Morphology*, 32(3), 998–1008. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022014000300041>
- Bertl, M. H., Bertl, K., Wagner, M., Gahleitner, A., Stavropoulos, A., Ulm, C., & Mitteroecker, P. (2016). Second premolar agenesis is associated with mandibular form: A geometric morphometric analysis of mandibular cross-sections. *International Journal of Oral Science*, 8(4), 254–260. <https://doi.org/10.1038/ijos.2016.41>
- Bjork A. (Jun de 1955). Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants. *Acta Odontológica Scandinava*, 13(1), 9-34. Bookstein, F. L. (1989). "Size and Shape": A Comment on Semantics. *Systematic Zoology*, 38(2), 173–180.

- Bookstein, F. L. (1992). *Morphometric Tools for Landmark Data*. In *Cambridge: Cambridge University Press*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511573064>
- Bronfman, C. N., Janson, G., Pinzan, A., & Rocha, T. L. (2015). Cephalometric norms and esthetic profile preference for the Japanese: A systematic review. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 20(6), 43–51. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.20.6.043-051.oar>
- Cauvi, D., & Madsen, R. (2007). *Manual de Cefalometría*. Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.
- Cerda-Peralta, B., Schulz-Rosales, R., López-Garrido, J., & Romo-Ormazabal, F. (2019). Parámetros cefalométricos para determinar biotipo facial en adultos chilenos. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*, 12(1), 8–11. <https://doi.org/10.4067/s0719-01072019000100008>
- Chang HP, Lin HC, Liu PH, Chang CH. Midfacial and mandibular morphometry of children with Class II and Class III malocclusions. *J Oral Rehabil*. 2005 Sep;32(9):642-7. doi: 10.1111/j.1365-2842.2005.01489.x.
- Crisci, J.V. (1984), TAXONOMIC CONGRUENCE. *TAXON*, 33: 233-239. <https://doi.org/10.2307/1221163>
- De Almeida, K. C. M., Raveli, T. B., Vieira, C. I. V., dos Santos-Pinto, A., & Raveli, D. B. (2017). Influence of the cranial base flexion on class I, II and III malocclusions: A systematic review. In *Dental Press Journal of Orthodontics* (Vol. 22, Issue 5, pp. 56–66). Dental Press Editora Ltda. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.22.5.056-066.oar>
- Del Santo, M. (2006). Influence of occlusal plane inclination on ANB and Wits assessments of anteroposterior jaw relationships. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(5), 641–648. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.09.025>
- Devereux, L., Moles, D., Cunningham, S. J., & McKnight, M. (2011). How important are lateral cephalometric radiographs in orthodontic treatment planning? *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 139(2), e175–e181. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2010.09.021>
- Díaz, A., & Manríquez, G. (2014). Skeletodental Diagnosis Using a Geometric Morphometric Approach. *International Journal of Odontostomatology*, 8(1), 05–11. <https://doi.org/10.4067/s0718-381x2014000100001>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39, 175-191.

- Freeman RS. Adjusting A-N-B angles to reflect the effect of maxillary position. *Angle Orthod.* 1981 Apr;51(2):162-71. doi: 10.1043/0003-3219(1981)051<0162:AAATRT>2.0.CO;2.
- Freudenthaler, J., Čelar, A., Ritt, C., & Mitteröcker, P. (2017). Geometric morphometrics of different malocclusions in lateral skull radiographs. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 78(1), 11–20. <https://doi.org/10.1007/s00056-016-0057-x>
- Gul-e-Erum, & Fida, M. (2008). A comparison of cephalometric analyses for assessing sagittal jaw relationship. *Journal of the College of Physicians and Surgeons--Pakistan : JCPSP*, 18(11), 679–683.
- Gregoret, J. (1997). *Ortodoncia y Cirugía Ortognática: Diagnóstico y Planificación.*, Barcelona. España: Editorial Espaxs, S.A. 520.
- Halazonetis, D. J. (2004). Morphometrics for cephalometric diagnosis. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 125(5), 571–581. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.05.013>
- Hammer, D. A. T., Ryan, P. D., Hammer, Ø., & Harper, D. A. T. (2001). Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. In *Palaeontologia Electronica* (Vol. 4, Issue 1). http://palaeo-electronica.orghttp://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- Jacobson, A. (1975). The “Wits” appraisal of jaw disharmony. *American Journal of Orthodontics*, 67(2), 125–138. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(75\)90065-2](https://doi.org/10.1016/0002-9416(75)90065-2)
- Rohlf, J. F., & Marcus, L. F. (1993). A revolution morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution*, 8(4), 129–132. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90024-J](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90024-J)
- Katsadouris, A., & Halazonetis, D. J. (2017). Geometric morphometric analysis of craniofacial growth between the ages of 12 and 14 in normal humans. *European Journal of Orthodontics*, 39(4), 386–394. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjw070>
- Kendall, D. G. (1977). The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability*, 9(3), 428-430. <https://doi.org/10.2307/1426091>
- Kim YH, Vietas JJ. Anteroposterior dysplasia indicator: an adjunct to cephalometric differential diagnosis. *Am J Orthod.* 1978 Jun;73(6):619-33. doi: 10.1016/0002-9416(78)90223-3.
- Kimmerle, E. H., Ross, A., & Slice, D. (2008). Sexual dimorphism in America: Geometric morphometric analysis of the craniofacial region. *Journal of Forensic Sciences*, 53(1), 54–57. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00627.x>
- Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353–357. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>

- Kouli, A., Papagiannis, A., Konstantoni, N., Halazonetis, D. J., & Konstantonis, D. (2019). A geometric morphometric evaluation of hard and soft tissue profile changes in borderline extraction versus non-extraction patients. *European Journal of Orthodontics*, *41*(3), 264–272. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjy056>
- Krapivka, S., Toro, J. E., Alcapán, A. C., Astorga, M., Presa, P., Pérez, M., & Guíñez, R. (2007). Shell-shape variation along the latitudinal range of the Chilean blue mussel *Mytilus chilensis* (Hupe 1854). *Aquaculture Research*, *38*(16), 1770–1777. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01839.x>
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, *33*(1), 159. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- López, B., Toro, V., Schilling, A., & Suazo, I. (2012). Nasal Profile Assessment Using Geometric Morphometrics in a Sample of Chilean Population: Clinical and Forensic Implications. *International Journal of Morphology*, *30*(1), 302–308. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022012000100054>
- Manosudprasit, A., Haghi, A., Allareddy, V., & Masoud, M. I. (2017). Diagnosis and treatment planning of orthodontic patients with 3-dimensional dentofacial records. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *151*(6), 1083–1091. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.10.037>
- Manríquez, G., Moraga, M., Santoro, C., Aspillaga, E., Arriaza, B. T., & Rothhammer, F. (2011). Morphometric and mtDNA analyses of archaic skeletal remains from Southwestern South America. *Chungara*, *43*(2), 283–292. <https://doi.org/10.4067/S0717-73562011000200009>
- Mantel N. The detection of disease clustering and a generalized regression approach. *Cancer Res.* 1967 Feb;*27*(2):209-20.
- McIntyre, G. T., & Mossey, P. A. (2003). Size and shape measurement in contemporary cephalometrics. *European Journal of Orthodontics*, *25*(3), 231–242. <https://doi.org/10.1093/ejo/25.3.231>
- Miralles, R., Hevia, R., Contreras, L., Carvajal, R., Bull, R., & Manns, A. (1991). Patterns of electromyographic activity in subjects with different skeletal facial types. In *Angle Orthodontist* (Vol. 61, Issue 4, pp. 277–284). [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1991\)061<0277:POEAIS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1991)061<0277:POEAIS>2.0.CO;2)
- Monirifard, M., Sadeghian, S., Afshari, Z., Rafiei, E., & Sichani, A. V. (2020). Relationship between cephalometric cranial base and anterior-posterior features in an Iranian population. In *Dental Research Journal* (Vol. 60). www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/1480
- Montt, J., Miquel, M.P., & Oyonarte, R. (2015). Características Cefalométricas en Jóvenes con Oclusión Normal y Perfil Armónico en Población Chilena. *International Journal of Morphology*, *33*(1), 237–244. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022015000100037>

- Moyers, R. E., & Bookstein, F. L. (1979). The inappropriateness of conventional cephalometrics. *American Journal of Orthodontics*, 75(6), 599–617. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(79\)90093-9](https://doi.org/10.1016/0002-9416(79)90093-9)
- Munandar, S., & Snow, M. D. (1995). Cephalometric analysis of Deutero-Malay Indonesians. *Australian Dental Journal*, 40(6), 381–388. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1995.tb04837.x>
- Nuzzolese, E., Randolph-Quinney, P., Randolph-Quinney, J., & di Vella, G. (2019). Geometric morphometric analysis of sexual dimorphism in the mandible from panoramic x-ray images. *Journal of Forensic Odonto-Stomatology*, 37(2), 35–44.
- O'Higgins, P. (2000). The study of morphological variation in the hominid fossil record: Biology, landmarks and geometry. *Journal of Anatomy*, 197(1), 103–120. <https://doi.org/10.1017/S0021878299006330>
- Ordóñez, M. de los A., Cassini, G. H., Vizcaíno, S. F., & Marsicano, C. A. (2019). A geometric morphometric approach to the analysis of skull shape in Triassic dicynodonts (Therapsida, Anomodontia) from South America. *Journal of Morphology*, 280(12), 1808–1820. <https://doi.org/10.1002/jmor.21066>
- Parikh R, Mathai A, Parikh S, Chandra Sekhar G, Thomas R. Understanding and using sensitivity, specificity and predictive values. *Indian J Ophthalmol*. 2008 Jan-Feb;56(1):45-50. doi: 10.4103/0301-4738.37595. PMID: 18158403; PMCID: PMC2636062.
- Qamaruddin, I., Alam, M. K., Shahid, F., Tanveer, S., Umer, M., & Amin, E. (2018). Comparison of popular sagittal cephalometric analyses for validity and reliability. *Saudi Dental Journal*, 30(1), 43–46. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.10.002>
- Rohlf, F. J. (2021). tpsRelw, relative warps analysis, version 1.75. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Rosas, A., & Bastir, M. (2002). Thin-plate spline analysis of allometry and sexual dimorphism in the human craniofacial complex. *American Journal of Physical Anthropology*, 117(3), 236–245. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10023>
- Singh, G. D., Mcnamara, J. A. J., & Lozanoff, S. (1997). Spline analysis of the mandible in human subjects with class iii malocclusion. In *Archs oral Biol* (Vol. 42, Issue 5).
- Singh, G. D., McNamara, J. A., & Lozanoff, S. (1997). Thin-plate spline analysis of the cranial base in subjects with Class III malocclusion. *European Journal of Orthodontics*, 19(4), 341–353. <https://doi.org/10.1093/ejo/19.4.341>

- Sokal Robert. (June de 1979). Testing statistical significance of geographic variation patterns. *Systematic Zoology*, 28(2), 227-232. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/2412528>
- Steiner, C. C., & Hills, B. (1953). Cephalometrics for you and me. *American Journal of Orthodontics*, 39(10), 729–755.
- Subhashchandra Phulari, B. (2013). An Atlas on Cephalometric Landmarks. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.
- Toro Ibacache, M. V., Manriquez Soto, G., & Suazo Galdames, I. (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. <https://doi.org/10.4067/s0717-95022010000400001>
- Toro-Ibacache, V., Cortés Araya, J., Díaz Muñoz, A., & Manríquez Soto, G. (2014). Morphologic variability of nonsyndromic operated patients affected by cleft lip and palate: A geometric morphometric study. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 146(3), 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2014.06.002>
- Walker, G., & Kowalski, C. (1971). The distribution of the ANB Angle in normal individuals walker. *Angle Orthodontist*, 41(4), 332–335.
- Wellens, H. (2009). Improving the concordance between various anteroposterior cephalometric measurements using Procrustes analysis. *European Journal of Orthodontics*, 31(5), 503–515. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjp052>
- Wendall N. Cotton, W. S. T. A. Wi. M. W. W. (1951). *The Downs Analysis Applied to Three Other Ethnic Groups Angle Orthod 1951.pdf* (p. 21(4)). The Angle orthodontist. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1951\)021%3C0213:TDAATT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1951)021%3C0213:TDAATT%3E2.0.CO;2)
- Woon, C. K., Jamal, N. A. A., Mohd Noor, M. N. I., Abdullah, S. M., Ibrahim, N. M., Norman, N. H., & Alias, A. (2019). Geometric morphometric analysis of malocclusion on lateral cephalograms in Malaysian population. *Anatomy and Cell Biology*, 52(4), 397–405. <https://doi.org/10.5115/acb.19.118>
- Zhang, M., Ruan, Y., Wan, X., Tong, Y., Yang, X., & Bai, M. (2019). Geometric morphometric analysis of the pronotum and elytron in stag beetles: Insight into its diversity and evolution. *ZooKeys*, 2019(833), 21–40. <https://doi.org/10.3897/zookeys.833.26164>

IX. ANEXO

ANEXO N°1

Puntos cefalométricos y su definición operacional, utilizado en clasificación cefalométrica y morfometría geométrica:

N°	Puntos	Definición
1	Nasion (N)	Punto más anterior en el medio de la sutura frontonasal.
2	Silla (S)	Corresponde al centro de la cripta ósea ocupada por la hipófisis.
3	Porion (Pr)	Punto más superior del meato auditivo externo.
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.
5	Pterigoideo (Pt)	Corresponde a la intersección de las paredes posterior y superior de la fisura pterigomaxilar.
6	Punto Pterigomaxilar inferior (PTM)	Corresponde a la fisura Pterigomaxilar Inferior.
7	Orbitario (Or)	Punto más bajo en el margen inferior de la órbita.
8	Espina Nasa Posterior (ENP)	Intersección de la continuación de la pared anterior de la fosa pterigopalatina y el piso de las fosas nasales.
9	Espina Nasal Anterior (ENA)	Proyección más anterior del piso de la fosa nasal.
10	A de Downs (A)	Punto más profundo en el contorno óseo entre la espina nasal anterior y la cresta del hueso alveolar.
11	Ápice Incisivo Superior	Ápice de la raíz del incisivo central maxilar más anterior.
12	Punto Incisal Superior	Borde incisal de incisivo central maxilar más anterior.
13	Oclusal Premolar	Es el punto de contacto entre los primeros premolares superiores e inferiores.
14	Oclusal Molar	Es el punto de contacto más distal entre los segundos molares superiores e inferiores.
15	Condilion	Punto más superior de la curvatura del cóndilo.

16	Articularis (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.
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.
18	Menton (Me)	Es el punto más inferior del contorno de la sínfisis.
19	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.
20	B de Downs (B)	Es el punto más posterior de la curvatura ósea de la mandíbula entre la cresta alveolar y Pogonion.
21	Ápice Incisivo Inferior	Ápice de la raíz del incisivo central mandibular más anterior.
22	Punto incisal Inferior	Borde incisal del incisivo central mandibular más prominente.

ANEXO N°2. Metodología, de estudio “Desarrollo de un algoritmo de morfometría geométrica para diagnóstico dentoalveolar”, utilizada para el desarrollo de la nueva propuesta de clasificación de clase esquelética mediante Morfometría Geométrica (Bastidas, 2021):

El procesamiento estándar de Morfometría Geométrica que utilizó Bastidas (2021) inicia con la calibración y posterior digitalización de las telerradiografías laterales en el programa TpsDig2, versión 2.31 © 2017, F. James Rohlf, New York. En donde se ubicaron 22 puntos anatómicos (Fig. 1 de anexo) que representan geoméricamente la morfología craneofacial, las definiciones operacionales de los puntos cefalométricos seleccionados fueron obtenidas del “An Atlas on Cephalometric Landmarks” (Subhashchandra Phulari, 2013) y del “Manual de Cefalometría de la Universidad de Chile” (Cauvi y Madsen, 2007).

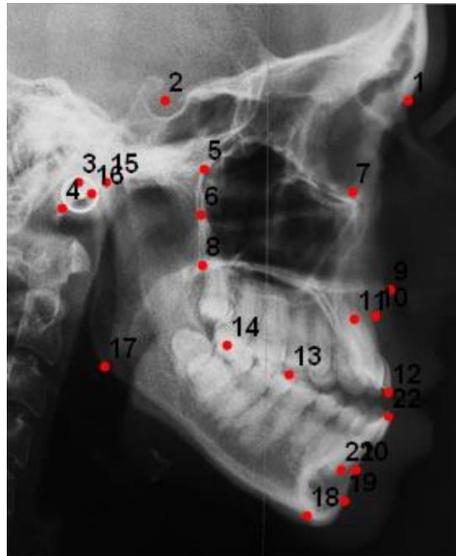


Figura 1 de Anexo. Mapa de Homologías conformado por 22 hitos cefalométricos (Bastidas, 2021). Conjunto de hitos cefalométricos que representan geoméricamente la morfología craneofacial.

Posteriormente se ingresaron los datos obtenidos de las telerradiografías al programa TpsRelwarp, versión 1.70 © 2019, F. James Rohlf, New, para visualizar gráficamente las telerradiografías (Fig. 2 de anexo). El programa TpsRelwarp realiza un análisis de deformación relativa, determinando la ubicación de la matriz representativa de la telerradiografía de perfil del individuo a clasificar y del mapa de

homología previamente creado, todo esto en un plano tangente al espacio múltiple multivariado donde se ubican las matrices (espacio de Kendall). En dicho plano es posible proyectar grillas de deformación relativa que expresa la variación de la forma y ubica a la telerradiografía de perfil en la zona de su respectiva clase esquelética.

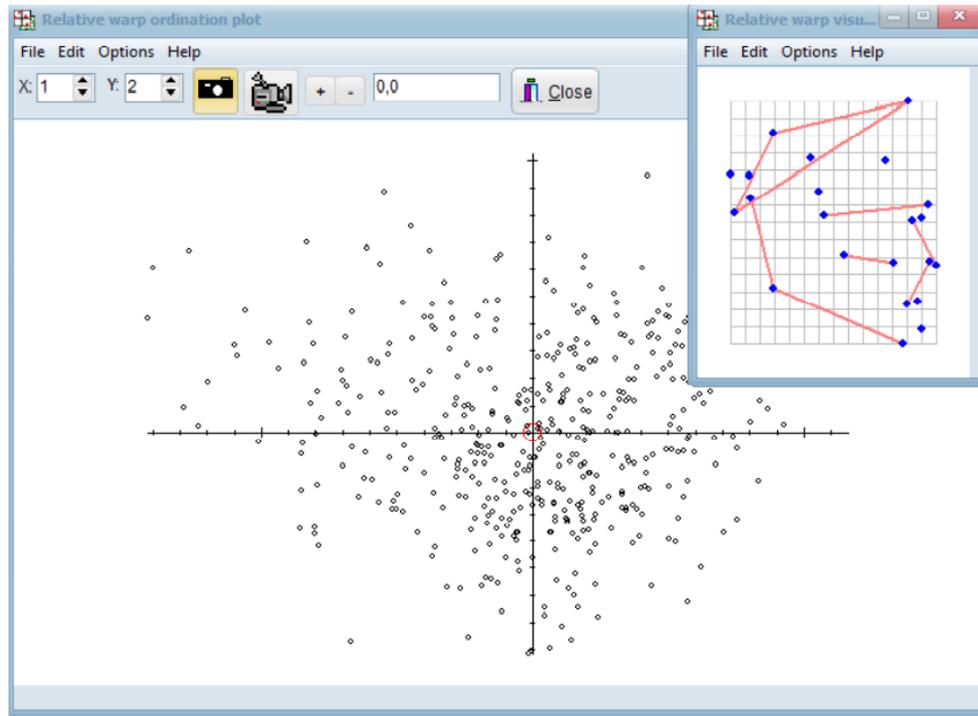


Figura 2 de Anexo. Programa TpsRelwarp con 439 telerradiografías digitalizadas. Se muestra la configuración de consenso ubicada en el centro de la distribución ($x= 0$, $y= 0$) (recuadro) (Bastidas, 2021). El programa TpsRelwarp permite realizar el análisis de deformación relativa de grillas para el estudio de la forma de la muestra procesada.

En los programas MorphoJ versión 1.07^a (Klingenberg, 2011) y G*Power versión 3.1.9.6 (Faul y cols, 2007) se realizaron los análisis estadísticos de los datos. En el programa MorphoJ se realizan los siguientes análisis morfométricos automatizados:

-Ajuste de Procrustes (AP): Las diferencias de traslación, rotación y escala son eliminadas para obtener los componentes de la forma y el consenso, siendo este último el promedio de los componentes, en este momento se genera la matriz de datos a analizar.

-Análisis de componentes principales (PCA): Se estudia gráficamente el patrón de variación de la forma a partir de los datos generados en el AP, separando gráficamente cada grupo de clase esquelética.

La variación de la morfología craneofacial obtenida de los 439 individuos se representó con el Componente Principal de la forma 1 (representa el 29,97% de la varianza total de la forma) y Componente principal de la forma 2 (representa el 17.22% de la varianza total de la forma) (Fig. 3 de anexo).

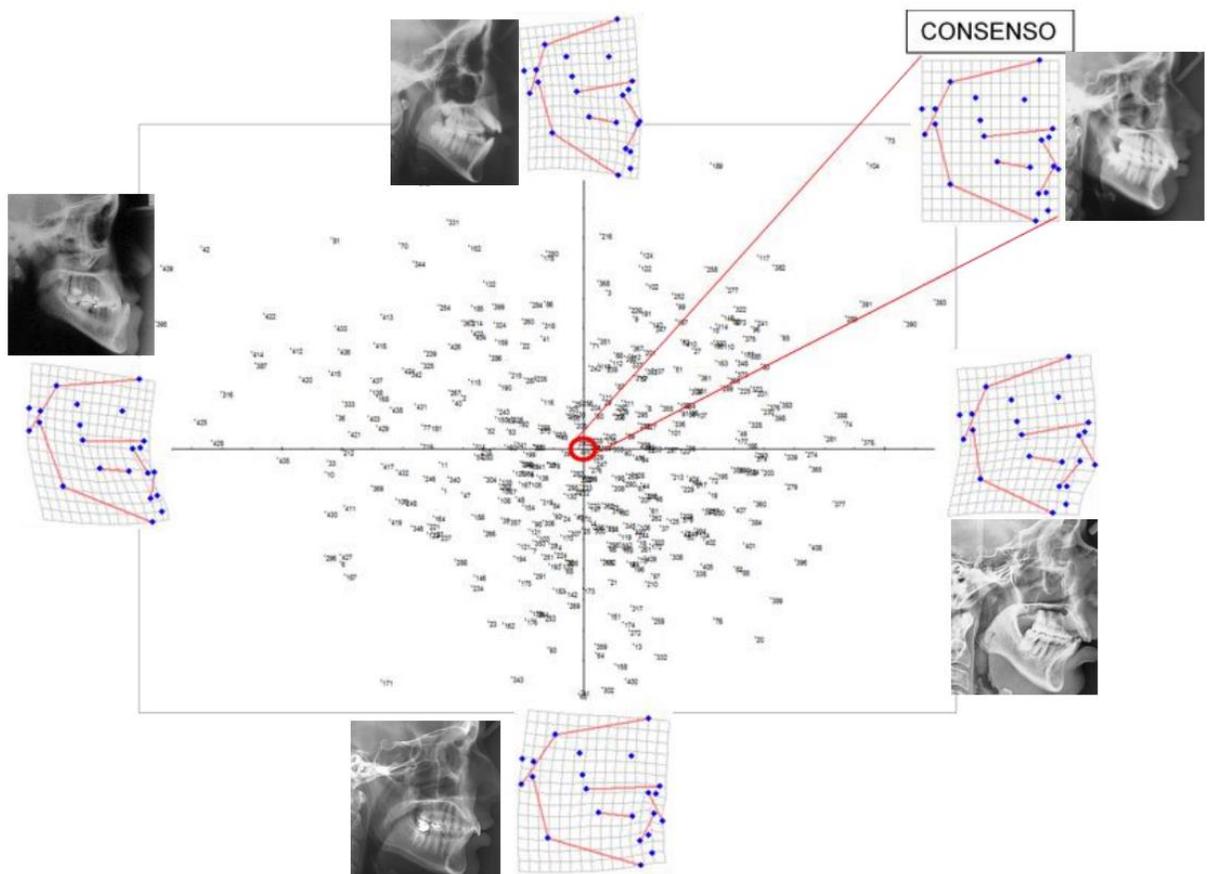


Figura 3 de Anexo. Mapa de deformación relativa del total de la muestra. Las imágenes de los extremos de ambos ejes muestran la variación de forma craneofacial y la imagen proyectada desde el centro señala a el consenso. Se acompaña cada imagen con una telerradiografía de los individuos más extremos de clase esquelética y biotipo facial y el más cercano al consenso (Bastidas, 2021).

En el eje horizontal se representan las clases esqueléticas I, II y III, mientras que en el eje vertical se representan los biotipos faciales dolicofacial, mesofacial y braquifacial (Fig. 3 de anexo).

Posteriormente se determinó la distribución de la muestra para el eje X e Y (Fig. 4 de anexo). La curva indicada por la flecha roja representa la distribución esperada, el histograma representa lo observado (resultados) y la curva de Kernel (indicada con flecha verde) se utiliza para observar anomalías en la distribución esperada. El resultado de estos análisis indica que los resultados obtenidos coinciden con una distribución normal.

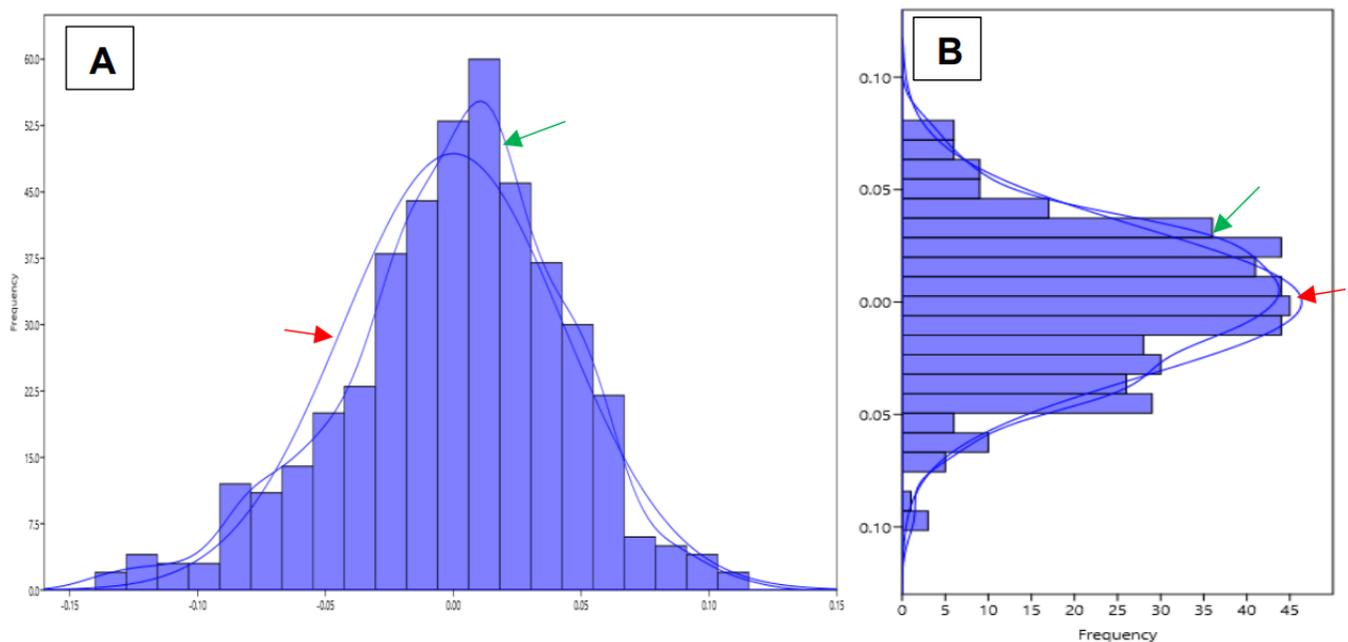


Figura 4 de Anexo. A. Histograma de distribución normal para el eje X. B. Histograma de distribución normal para el eje Y (Bastidas, 2021). Con esto se determinó la distribución normal de la muestra para la determinación posterior de los límites en la nueva propuesta de clasificación.

A partir de los resultados obtenidos, se establecieron los límites en el espacio morfométrico para clasificar a los individuos según Clase Esquelética y Biotipo Facial (Fig. 4). Estos límites fueron establecidos a partir de las desviaciones estándar determinadas para cada eje y la distribución observada en el espacio morfométrico.