



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLÓGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS**

**DESCRIPCIÓN DE LA INTERDEPENDENCIA
MORFOLÓGICA ENTRE MAXILAR E INCLINACIÓN DE LOS
INCISIVO SUPERIORES**

Javiera Liuba Campos Jadrijevic

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

REQUISITO PLAN FORMATIVO PARA TÍTULO DE

CIRUJANO/A DENTISTA

TUTOR/A PRINCIPAL

María Viviana Toro Ibacache

TUTORES/AS ASOCIADOS

Arnoldo Hernández Caldera

Adscrito a Línea de Investigación Morfología y Patología Musculoesqueletal

Código: LI2024-06

Santiago Chile

2025



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLÓGÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS**

**DESCRIPCIÓN DE LA INTERDEPENDENCIA
MORFOLÓGICA ENTRE MAXILAR E INCLINACIÓN DE LOS
INCISIVO SUPERIORES**

Javiera Liuba Campos Jadrijevic

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**REQUISITO PLAN FORMATIVO PARA TÍTULO DE
CIRUJANO/A DENTISTA**

TUTOR/A PRINCIPAL

María Viviana Toro Ibacache

TUTORES/AS ASOCIADOS

Arnoldo Hernández Caldera

Adscrito a Línea de Investigación Morfología y Patología Musculoesqueletal

Código: LI2024-06

Santiago Chile

2025

AGRADECIMIENTOS

Agradezco muchísimo a todas las personas que fueron parte de este camino.

A mi tutora de tesis, Dra. Viviana Toro, quien me ayudó a dar mis primeros pasos en la investigación y ahora los últimos en la carrera.

A mi familia, que siempre ha estado presente con su apoyo y amor incondicional.

A Joaquín, por estar en todos los momentos que necesitaba palabras de aliento y quien ha sido mi fuente de inspiración y motivación.

Y por último a mis amigas y amigos, por creer en mí y por hacer más liviano este camino.

Índice

1. Resumen	6
2. Palabras clave	7
3. Antecedentes bibliográficos y planteamiento del problema científico.....	7
3.1. Introducción	7
3.2. Marco teórico	8
3.2.1. Relación entre diente y hueso	8
3.2.2. Hueso maxilar.....	8
3.2.3. Soporte periodontal	10
3.2.4. Relaciones esqueléticas.....	12
3.2.5. Remodelación ósea.....	16
3.2.6. Compensación dentoalveolar	17
4. Hipótesis científica o pregunta científica	18
5. Objetivo general	18
6. Objetivos específicos	18
7. Metodología	19
8. Resultados	24
8.1. Análisis error intraobservador	24
8.2. Análisis exploratorio.....	25
8.3. Análisis preliminares	27
8.4. Análisis confirmatorios	29
9. Discusión	35
10. Conclusiones	41
11. Referencias bibliográficas	42
12. Anexos.....	48

1. Resumen

La inclinación de los incisivos superiores presenta un rol estético y funcional, y su posición puede variar debido a discrepancias esqueléticas, mecanismos de compensación dentoalveolar, eje de erupción y hábitos orales. Si bien hay estudios acerca de estos procesos, aún no se ha descrito la interdependencia morfológica entre la inclinación de los incisivos superiores y la forma del hueso maxilar. Por lo tanto, el objetivo de este estudio consistió en comprobar la existencia de una interdependencia morfológica entre la inclinación de los incisivos superiores y la forma del maxilar junto con su proceso alveolar asociado en individuos con distinta clase esquelética.

Se seleccionaron 167 telerradiografías laterales de individuos entre 16 y 48 años, clasificados en clases esqueléticas I, II y III. Para representar la forma del maxilar y la inclinación incisal, se definieron ocho hitos anatómicos sobre cada imagen, los cuales fueron digitalizados para realizar un análisis de morfometría geométrica en el software MorphoJ. Se aplicaron análisis PCA, MANOVA, PERMANOVA y PLS para explorar y confirmar patrones de variación y covariación entre la forma del maxilar y la inclinación del incisivo superior.

El análisis PCA mostró que la inclinación del incisivo y la forma del proceso alveolar varían conjuntamente. La clase esquelética fue la única variable con efecto significativo sobre la forma ($p < 0,05$). El CVA reveló diferencias morfológicas significativas entre clases esqueléticas, con incisivos retroinclinados en clase II y proinclinados en clase III. El análisis PLS evidenció una covariación estadísticamente significativa entre la forma del maxilar y la inclinación del incisivo en todas las clases esqueléticas, siendo mayor en las clases II y III.

Existe una interdependencia morfológica significativa entre la inclinación de los incisivos superiores y la forma del hueso maxilar en todas las clases esqueléticas, lo que aporta evidencia relevante para la planificación ortodóncica y sugiere límites biológicos en la compensación dentoalveolar ante discrepancias esqueléticas.

2. Palabras clave

Incisivo, maxilar, compensación dental, radiografía, incisor, maxilla, dental compensation.

3. Antecedentes Bibliográficos y planteamiento del Problema Científico

3.1. Introducción

En el perfil facial, la inclinación de los incisivos superiores tiene un rol estético y funcional. Esta inclinación puede variar fuera de un rango considerado normal (de acuerdo al marco de referencia, cefalométrico o estético), y estar relacionada con discrepancias esqueléticas u otras anomalías dentoalveolares (Tamayo, 2008). A su vez, está influenciada por factores como el crecimiento y la acción morfogénica de los tejidos blandos y duros que soportan los dientes. Así, el conocimiento respecto del rol de estos factores y en especial de la morfología ósea en relación a la inclinación dental cobra relevancia clínica para la planificación y resultado del tratamiento ortodóncico (Dougherty, 1991), en este sentido, Al-Khawaja y cols. (2021) destacan la necesidad de estudios que evalúen la morfología del proceso alveolar respecto a la inclinación de los incisivos en diferentes relaciones sagitales entre maxilar y mandíbula.

La inclinación dentaria, y en particular la de los dientes incisivos puede verse modificada y/o provocada por compensaciones dentoalveolares (fisiológicas) o tratamientos ortodóncicos, con el fin de buscar una oclusión mayoritariamente fisiológica y/o estética. En ambos casos lo que ocurre es una remodelación del periodonto y del proceso alveolar frente a estímulos de estrés (Solow, 1980). Si bien la ocurrencia de este proceso es un hecho ya evidenciado, la interdependencia morfológica, es decir, cómo la forma del hueso cambia con la inclinación dentaria, no ha sido descrita.

3.2. Marco teórico

3.2.1. Relación entre diente y hueso

Los dientes son componentes anatómicos especializados del complejo craneofacial, los cuales se encuentran insertos en el proceso alveolar maxilar y mandibular, el cual se desarrolla en relación a ellos mismos (Nanci, 2012). El desarrollo dentario se produce en base a interacciones embrionarias entre el ectomesénquima o mesénquima cefálico y el epitelio oral que reviste el estomodeo (Gómez de Ferraris y Campos Muñoz, 2002). Durante la infancia y la adolescencia, los dientes erupcionan y migran incluso después de haber alcanzado la oclusión funcional lo que es posible gracias a los espacios creados por los desplazamientos y los movimientos de otros dientes. Esto se conoce como movimiento posteruptivo, el cual permite mantener la posición del diente en oclusión mientras crecen la mandíbula y el maxilar, además de compensar el desgaste oclusal y proximal (Nanci, 2012). Como se explicará más adelante, la compensación dentoalveolar es un mecanismo fisiológico que permite la mantención de una relación dentoalveolar adecuada a pesar de la variación morfológica de las bases óseas (Solow, 1980).

3.2.2. Hueso maxilar

El hueso maxilar deriva del primer arco faríngeo y se forma mediante osificación intramembranosa. Su desarrollo y crecimiento se produce por aposición subperióstica, el efecto de las estructuras centrales de la cara de osificación endocondral, y la actividad osteogénica en las suturas que conectan el maxilar con el cráneo, cuya actividad permanece en el tiempo hasta edades variables (Enlow, 1996). Durante la aposición subperióstica se agrega tejido óseo a un lado y se reabsorbe en el lado opuesto, lo que lleva a un desplazamiento del hueso en la dirección del depósito generando un agrandamiento general. En el desplazamiento

primario se da un proceso de transporte físico en conjunto con el propio agrandamiento del hueso. Así, a medida que todo el maxilar se desplaza hacia adelante y abajo respecto a la base craneal, su superficie se remodela de forma simultánea. Por otro lado, en el desplazamiento secundario el movimiento del hueso no está directamente relacionado con su propio agrandamiento, este se desplaza como resultado del crecimiento de otros huesos cercanos y sus tejidos blandos. De este modo, hay un "empuje" desde atrás del maxilar hacia adelante producido por el crecimiento de la base craneal y la actividad de las suturas retrofaciales que se lleva a cabo hasta aproximadamente los 20 años (Cobourne y DiBiase, 2024; Proffit y Fields, 2013)

La morfología del hueso maxilar se ve afectada por el desarrollo y movimiento de los dientes, y por los fenómenos de remodelación ósea (Barbeito-Andrés y cols., 2012; Sardi y cols., 2008). Con respecto a su anatomía, este consiste en un cuerpo y cuatro procesos que articulan con las estructuras faciales adyacentes, estos son: proceso frontal, cigomático, alveolar y palatino. En su parte superior articula con el hueso frontal, lateralmente con el hueso cigomático, posteriormente con el hueso palatino, inferiormente con los dientes a través del proceso alveolar y por anterior con los huesos nasales mediante el proceso frontal. En la línea mediana, plano sagital, los procesos alveolares se conectan a través de la sutura intermaxilar, la cual se sitúa por debajo de la espina nasal anterior. El proceso palatino del maxilar junto a las láminas horizontales del hueso palatino forma el paladar óseo, el cual presenta en su borde posterior libre y a nivel de la línea mediana, una proyección ósea correspondiente a la espina nasal posterior (Berkovitz y cols., 2017; Nanci, 2012; Soriano y Das, 2025).

El proceso alveolar, que contiene los alveolos dentales, está compuesto por una tabla cortical externa (vestibular y palatina), hueso esponjoso en su parte central y hueso alveolar que recubre el alveolo. La tabla cortical externa está formada por hueso compacto, que generalmente es más delgado en maxilar.

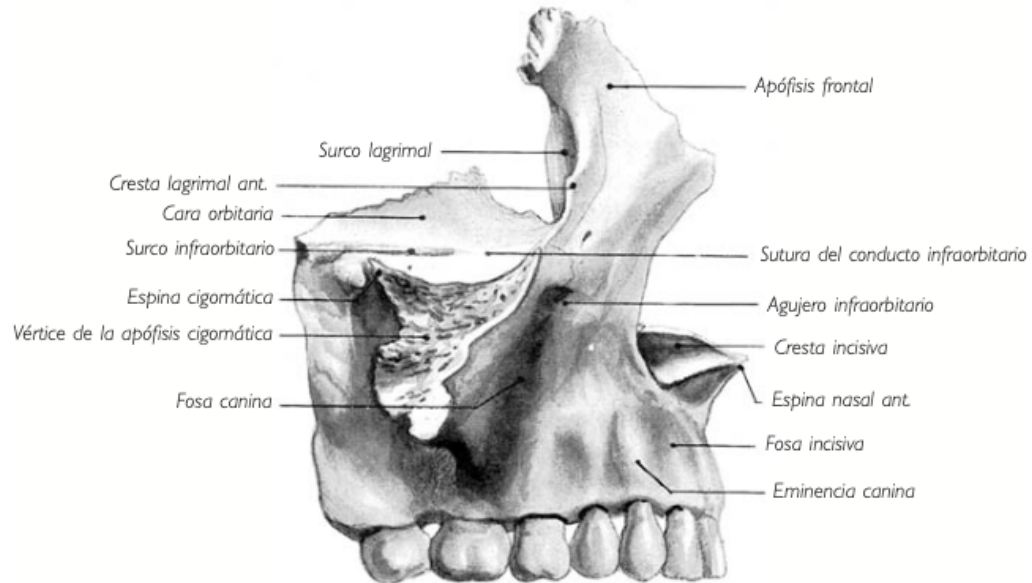


Figura 1. Anatomía del Hueso Maxilar (Rouvière y Delmas, 2005).

3.2.3. Soporte periodontal

Hueso alveolar

El hueso alveolar está conformado por hueso esponjoso y por una capa fina de hueso compacto ubicado en su superficie alveolar, denominada *bundle bone*, el cual presta inserción a las fibras principales del ligamento periodontal, permitiendo la absorción de las fuerzas a las que están expuestas los dientes durante la función o el tratamiento ortodóncico. Estas fuerzas determinan, junto a la genética, la morfología del proceso alveolar cuyo desarrollo y mantenimiento es dependiente de la presencia de los dientes (Creanor y Ali, 2016; Nanci, 2012).

Ligamento periodontal

El ligamento periodontal corresponde a un tejido conectivo celular y vascular que rodea las raíces de los dientes y une el cemento radicular con el hueso alveolar. Este tejido especializado cumple las funciones de unir el diente a su alveolo, soportar las fuerzas de masticación, actuar como receptor sensitivo que permite la

correcta posición de las bases óseas durante la función, y mantener y reparar el hueso alveolar junto con el cemento radicular. Está conformado por vasos sanguíneos, terminaciones nerviosas, elementos celulares de diversos tipos, un compartimiento extracelular de fibras de colágeno y sustancia fundamental. La célula principal de este tejido es el fibroblasto, el cual posee mecanotransductores, contractibilidad y una alta tasa de recambio de colágeno, que le permite adaptarse a las demandas funcionales del diente. El ligamento periodontal presenta también células mesenquimatosas indiferenciadas, que se encargan de mantener la homeostasis en los tejidos periodontales, ya que a través de mecanismos de señalización pueden diferenciarse en cementoblastos, osteoblastos y fibroblastos (Berkovitz y cols., 2017; Nanci, 2012; Nuñez y cols., 2019).

Las fibras de colágeno del ligamento periodontal se organizan en haces de colágeno lo que permite mantener una arquitectura y funcionalidad estable mientras se realiza un recambio continuo de las fibras. Los haces de fibra que se extienden entre el cemento CAFE (cemento acelular de fibras extrínsecas) y el bundle bone se conocen como “fibras principales”, que según su orientación y ubicación se subdividen en varios tipos. Estos comprenden: fibras de la cresta dentoalveolar, fibras horizontales, fibras oblicuas, fibras apicales y fibras interradiculares. Su disposición espacial conforma una red compleja, esencial en el funcionamiento del ligamento periodontal, ya que genera un soporte tridimensional y protección ante fuerzas multidireccionales que actúan sobre los dientes (de Jong y cols., 2017). La porción terminal de estas fibras que quedan dentro ambas estructuras son denominadas fibras de Sharpey y se encuentran parcialmente mineralizadas en su periferia. Estas fibras son más numerosas y pequeñas en su unión con el cemento, al contrario de su unión con el hueso donde hay una menor cantidad, pero son más gruesas (Berkovitz y cols., 2017; Nanci, 2012).

Cemento radicular

El cemento corresponde a una delgada capa de tejido mineralizado y avascular que cubre las raíces de los dientes, está adherido firmemente a la dentina y provee la

unión con las fibras principales del ligamento periodontal. Este tejido se clasifica de forma general en base a la presencia de células, correspondientes a cementocitos. El cemento de tipo acelular provee unión al diente y el de tipo celular tiene un rol adaptativo en respuesta a los movimientos dentarios y asociado a la reparación de los tejidos periodontales (Yamamoto y cols., 2016).

La presencia de estos tejidos periodontales (cemento, ligamento y hueso alveolar), permite la distribución y absorción de las fuerzas producidas durante la masticación. Estas fuerzas van a implicar la remodelación de estos tejidos mencionados, lo cual puede implicar un cambio de forma del hueso alveolar y un potencial cambio en la posición del diente inserto en él. Este principio es la base de los movimientos ortodóncicos.

3.2.4. Relaciones esqueléticas

El maxilar y la mandíbula pueden presentar distintas relaciones entre sí en sentido anteroposterior. Cada una de estas se clasifica en clases esqueléticas: la clase esquelética tipo I corresponde a una relación equilibrada entre maxilar y mandíbula donde sus funciones habitualmente se realizan con normalidad; la clase tipo II presenta una relación posterior de la mandíbula respecto al maxilar; y la clase tipo III, presenta una relación anterior de la mandíbula con respecto al maxilar. En estas dos últimas clases esqueléticas pueden existir adaptaciones funcionales en funciones elementales como la fonarticulación, masticación, respiración y deglución (Villanueva y cols., 2009). Además, tienen un gran impacto en la posición y alineación de los dientes temporales y permanentes (Joshi, 2014). Debido a su relevancia en la práctica clínica ortodóncica, este trabajo se centrará en las variaciones de forma presentes en estos grupos.

Las clases esqueléticas II y III se consideran maloclusiones de origen esquelético. Estas corresponden a discrepancias sagitales entre el maxilar y la mandíbula, causadas por una alteración en el desarrollo normal. La discrepancia presente en los individuos clase esquelética II suele deberse a una retrognatia (desarrollo reducido de la mandíbula o maxilar) mandibular y/o a una prognatia (desarrollo excesivo de la mandíbula o maxilar) maxilar, así como a una alteración en la posición tridimensional de los huesos. Por otro lado, la relación intermaxilar en los individuos clase esquelética III puede deberse a una prognatia mandibular, una retrognatia maxilar, una combinación de ambas y/o a una alteración en la posición tridimensional de los huesos (Gershater y cols., 2021; Zhou y cols., 2025).

La etiología de estas variaciones y maloclusiones es multifactorial. La influencia de factores genéticos y ambientales, como los huesos, dientes y músculos, actúa sobre los componentes del complejo craneofacial (Nishio y Huynh, 2016). Sin embargo, determinar una etiología específica para las maloclusiones es un proceso complejo, debido a que existen múltiples factores que influyen en el crecimiento y desarrollo, y que interactúan entre sí. Estos factores se clasifican principalmente en influencias hereditarias, influencias ambientales y causas específicas como, por ejemplo, defectos en el desarrollo embrionario, defectos en el periodo fetal y perinatal, deformidades progresivas en la niñez, entre otras (Proffit y Fields, 2013).

El diagnóstico de las clases esqueléticas se realiza correlacionando la anamnesis, el examen clínico, de modelos dentales, y el análisis cefalométrico. Este último es una herramienta estándar en la evaluación ortodóntica y la planificación del tratamiento (Durão y cols., 2013). Se encarga de evaluar las radiografías laterales de cráneo para determinar las relaciones anteroposteriores y verticales de la mandíbula y el maxilar en relación con la base craneal y entre sí, así como la posición de los dientes superiores e inferiores en relación a sus bases óseas apicales. El análisis consiste en la identificación específica de puntos anatómicos de referencia que permiten medir diversas variables angulares y lineales específicas

de cada paciente y que se comparan con los promedios poblacionales (Ghodsara y Brizuela, 2025).

Existen diversos métodos de análisis cefalométrico que permiten determinar el tipo de relación sagital. Dentro de los más usados se encuentra el análisis de Steiner. Este análisis utiliza las medidas de los ángulos SNA (formado por los puntos S, N y A, determinando la posición anteroposterior del maxilar en relación con la base craneal.) y SNB (formado por los puntos S, N y B, determinando la posición anteroposterior de la mandíbula en relación con la base craneal.) que indican la magnitud de discrepancia esquelética entre maxilar y mandíbula. Esta diferencia es representada por el ángulo ANB (formado por los puntos A, N y B), de esta forma el posicionamiento de las bases apicales se determina en relación al punto N (Nasion). Sin embargo, hay factores anatómicos que pueden influir en una correcta interpretación de este ángulo como la longitud de la base anterior del cráneo, cuyo comportamiento va a definir la posición anteroposterior del punto N y el efecto rotacional de los maxilares.

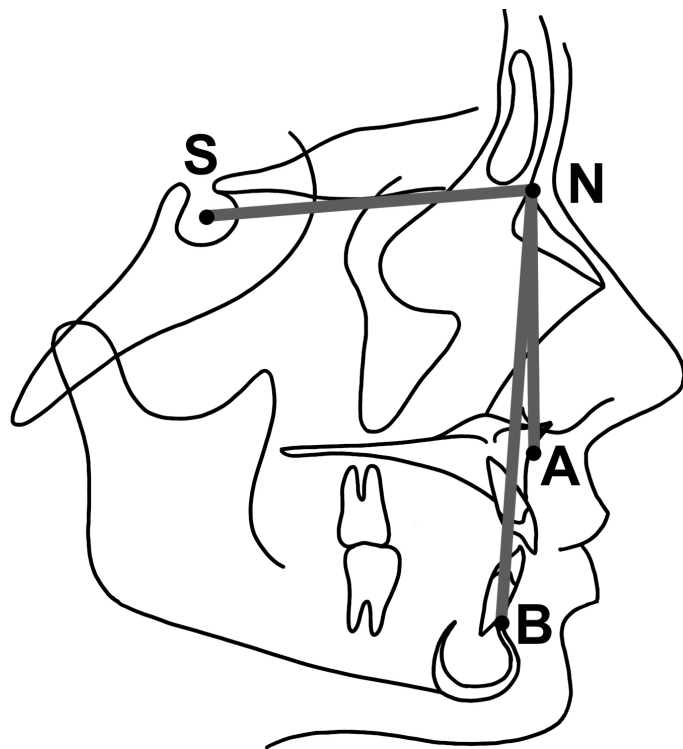


Figura 2. Trazado cefalométrico para análisis de Steiner.

Jacobson en el año 1975 propuso una nueva medición denominada “Wits”, con el objetivo de eliminar estas variables en la inclinación y longitud de la base del cráneo. Esta medida no incluye los puntos anatómicos S (silla turca) y N considerados como puntos lejanos a la zona de interés, pero si utiliza los puntos A y B. Estos se proyectan sobre el plano oclusal en un ángulo recto generando los puntos AO (formado por los puntos A y el plano oclusal) y BO (formado por los puntos B y el plano oclusal), cuya diferencia lineal determinará la medida Wits. Si la relación anteroposterior de la mandíbula y maxilar es normal, AO y BO se ubicarán casi en el mismo punto. Para determinar la magnitud de una discrepancia clase II se evalúan cuantos milímetros el punto AO se encuentra por delante del punto BO, esta diferencia corresponderá a un valor positivo. En cambio, para determinar la discrepancia de una clase III se miden cuantos milímetros el punto BO está por delante del AO, correspondiéndole un valor negativo (Dokovska y Maneva Ristovska, 2021; Proffit y Fields, 2013).

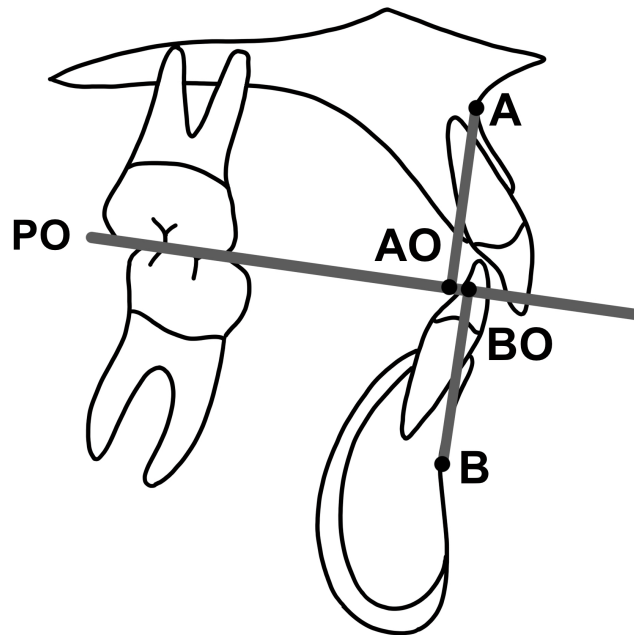


Figura 3. Trazado cefalométrico para análisis de Wits.

3.2.5. Remodelación ósea

El aparato masticatorio produce cargas de magnitud variable y alta frecuencia sobre los dientes, maxilar y mandíbula, que los deforman de manera microscópica, induciendo la remodelación ósea (Buvinic y cols., 2020). La remodelación ósea, que se produce tanto en el hueso cortical como trabecular, es un proceso de reestructuración del hueso, que está en constante formación y resorción. Los osteocitos son células que se encuentran embebidas en la matriz ósea de manera abundante, formando una red tridimensional interconectada a lo largo del tejido óseo. Estas células sensan las microdeformaciones óseas mediante mecanorreceptores, entre los cuales se incluyen el citoesqueleto, cilios primarios, integrinas, canales iónicos, entre otros. Esta detección provoca cambios en la actividad metabólica del osteocito, que desencadena la producción de señales moleculares como Wnt, proteína morfogenética ósea (BMPs), óxido nítrico y prostaglandina E2, entre otras, encargadas de modular la diferenciación, reclutamiento y acción de las células óseas responsables del depósito y la resorción ósea (osteoblastos y osteoclastos respectivamente) (Buvinic y cols., 2020; Hemmatian y cols., 2017; Wang y cols., 2024). Los osteoclastos reabsorben una cantidad determinada de hueso, y los osteoblastos forman una matriz osteoide, precursora de hueso nuevo. Además de ser el principio que rige el uso de las fuerzas ortodóncicas (en las cuales la resorción ocurre en el lado de compresión y la formación ósea en el lado de tensión), la remodelación ósea es el proceso por el cual el proceso alveolar se renueva constantemente en respuesta a las demandas funcionales. También podemos ver que esta lleva a cabo ajustes estructurales continuos para adaptarse a cambios intrínsecos y extrínsecos (Enlow, 1996), como las discrepancias esqueléticas. Se ha demostrado que, durante la masticación en humanos, las áreas de mayor deformación microscópica de la cara son el proceso

alveolar en relación con el diente cargado y los procesos frontal y cigomático del maxilar (Buvinic y cols., 2020).

3.2.6. Compensación dentoalveolar

Como se mencionó antes, durante el proceso natural de compensación dentoalveolar se intenta lograr relaciones normales entre arcos dentoalveolares de forma que se asegure la oclusión dentaria y la adaptación a las estructuras basales del maxilar y la mandíbula con diferentes discrepancias esqueléticas (Enlow, 1996). Los factores que influyen en esta compensación dentoalveolar son; presentar un sistema eruptivo normal, entendido como la capacidad de los dientes para realizar movimientos eruptivos continuos; las presiones de los tejidos blandos circundantes y la influencia de los dientes vecinos y antagonistas durante la oclusión (Alhammadi, 2019; Solow, 1980). La búsqueda de una oclusión adecuada muchas veces implica la alteración de las posiciones axiales de los dientes, en relación con la posición esquelética desviada (Kim y cols., 2019).

Como mencionamos anteriormente, la inclinación de los incisivos superiores se puede encontrar fuera de sus rangos considerados normales cuando existen estas discrepancias máxilo-mandibulares, lo que hará que actúe este mecanismo de compensación dentoalveolar que buscará una posición estable de la oclusión a través de un remodelamiento óseo. En consecuencia de esto, se podrá ver modificada la morfología del maxilar e inclinación de los incisivos. En base a estos antecedentes y a la necesidad de recabar información adicional que permita determinar la importancia de esta relación en la planificación de tratamientos ortodóncicos, hemos planteado la siguiente pregunta de investigación: ¿Hay una interdependencia morfológica entre la inclinación de los incisivos superiores y la forma del proceso alveolar? La presente tesis evaluará en individuos con distintas clases esqueléticas, como ejemplo de variaciones dentoalveolares en los que se pueden dar fenómenos de compensación dentoalveolar.

4. Hipótesis Científica o Pregunta Científica

Existe una interdependencia morfológica entre la inclinación de los incisivos superiores y la forma del maxilar y su proceso alveolar asociado, que se presenta de diversas maneras en individuos con distinta clase esquelética.

5. Objetivo General

Comprobar que existe una interdependencia morfológica entre la inclinación de los incisivos superiores y la forma del maxilar y su proceso alveolar asociado, mediante la evaluación de la covariación entre la inclinación dentaria de los incisivos superiores y la forma del maxilar en individuos con distinta clase esquelética.

6. Objetivos Específicos

- Evaluar la variación general de la forma dentoalveolar (incisivo, maxilar y su proceso alveolar asociado) de la muestra a través de análisis de componentes principales.
- Comparar los patrones de covariación de la forma del maxilar con su proceso alveolar asociado, y la inclinación de incisivos superiores entre las distintas clases esqueléticas.

7. Metodología

Para realizar este trabajo, se seleccionaron 167 telerradiografías laterales obtenidas de la base de datos AAOF (disponibles en <http://www.aaoflegacycollection.org>) y se seleccionó una muestra particular, resultado de un filtro basado en la aplicación de criterios, tales como: calidad de la imagen y de edad. Quedaron seleccionadas finalmente 167 telerradiografías laterales correspondientes a individuos cuyas edades fluctuaron entre 16 y 48 años, 85 mujeres y 82 hombres, clasificados en la base de datos de origen según las categorías I, II y III Angle. Sin embargo, ya que esta clasificación no cumplía con los objetivos de este estudio, se realizó una reclasificación de la muestra a través del análisis de Wits que nos permite evaluar el comportamiento sagital de las bases apicales entregándonos 3 nuevos grupos: Clase esquelética I, II y III. Debido a que la muestra se seleccionó por conveniencia, no se hizo un análisis de tamaño muestral *a priori*.

Para esto se utilizó Webceph (<https://webceph.com>), una plataforma comercial utilizada por ortodoncistas para realizar análisis cefalométricos con la ayuda de inteligencia artificial. Cada radiografía fue ingresada al sistema de forma individual y los puntos cefalométricos fueron posicionados automáticamente. Los casos que presentaban posiciones desajustadas fueron corregidos de forma manual. Posteriormente el sistema analizó los valores de Wits para cada individuo y se les asignó la Clase esquelética correspondiente, en base a los promedios definidos por Jacobson (Jacobson, 1975).

- Para sexo masculino un valor de Wits entre -2mm a 4mm corresponde a Clase esquelética I, un Wits > 4 mm corresponde a Clase esquelética II y Wits < -2mm corresponde a Clase esquelética III.

- Para sexo femenino un valor de Wits entre -4.5 mm a 1.5 mm corresponde a Clase esquelética I, Wits > 1.5 mm corresponde a Clase esquelética II y Wits < -4.5 mm corresponde a Clase esquelética III.

Para el estudio de la forma a través de morfometría geométrica, se definieron ocho hitos anatómicos que representan la forma del maxilar y la inclinación de los incisivos superiores (Figura 4 y Tabla 1). Estos hitos anatómicos fueron marcados sobre las telerradiografías laterales por una sola observadora (Javiera Campos) (Figura 4). Para esto se utilizó el software gratuito TpsDig2 (<https://www.sbmorphometrics.org/soft-dataacq.html>), que crea los correspondientes archivos de salida con los datos y metadatos.

Tabla 1: Descripción de los hitos anatómicos seleccionados

Hito	Nombre de la estructura	Definición de Hitos anatómicos
(1) Punto ENA	Espina nasal anterior	Zona más anterior del piso de la cavidad nasal
(2) Punto A	Punto A	Zona más cóncava del reborde anterior del maxilar.
(3) Punto UVD	Unión vestibular dentomaxilar	Unión entre la tabla palatina del hueso maxilar y el incisivo central superior.
(4) Punto IS	Incisivo superior	Punto medio del borde incisal del incisivo central superior
(5) Punto As	Ápice superior	Punto medio del ápice radicular del incisivo central superior.
(6) Punto UPD	Unión palatina dentomaxilar	Unión entre la tabla vestibular del hueso maxilar y el incisivo central superior
(7) Punto CMP	Curvatura máxima palatina	Curvatura sagital máxima del maxilar
(8) Punto ENP	Espina nasal posterior	Proyección más posterior de la unión de los huesos palatinos

Posteriormente, el conjunto de estos archivos, se ensamblaron y ordenaron mediante el software TpsUtility para construir una base de datos matricial digital, el

input del software MorphoJ (Klingenberg, 2011). Este último programa se encarga de realizar el análisis morfométrico geométrico de los datos de referencia bidimensionales utilizados.

La morfología de cada individuo fue representada por un conjunto de coordenadas cartesianas (x,y). Mediante el software MorphoJ, se realizó un análisis de Procrustes sobre el set de datos de los individuos de la muestra, el cual consiste en minimizar las diferencias de escala, traslación y rotación entre sets de datos para generar las variables de la “forma pura” (que llamaremos “forma”), lo que permitió el estudio de las variaciones de esta y su correlación con diversos factores (Toro Ibacache y cols., 2010).

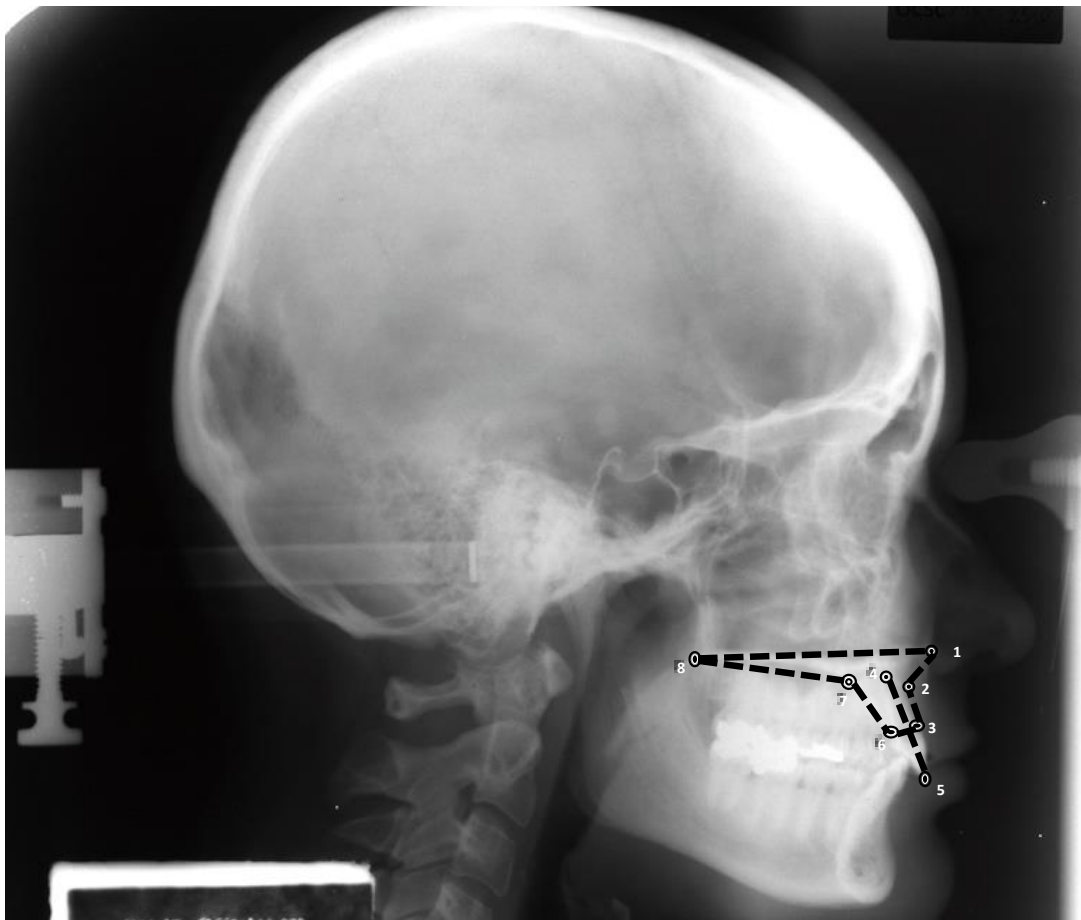


Figura 4. Telerradiografía de perfil de la colección AAOF Legacy que muestra los hitos, marcados con números, asociados a la forma del hueso maxilar (hitos 1-2-3-6-7-8) y la inclinación de los incisivos superiores (hitos 4-5). Esta forma es representada por un esquema tipo *wireframe*.

Con el propósito de descartar la introducción de sesgo debido al efecto de error de medición intraobservador, se realizó nuevamente el posicionamiento de los hitos anatómicos sobre diez telerradiografías laterales seleccionadas al azar por cada una de las 3 clases esqueléticas (30 individuos en total). Las posiciones de estos hitos fueron nuevamente digitalizados a través de la aplicación de la secuencia de softwares TpsDig2 y TpsUtility, para procesarlos finalmente con el software MorphoJ. En este último se realizó el Análisis de la Varianza (ANOVA) de Procrusto en esta nueva muestra donde se cuantificó el error en las mediciones mediante el

estadístico F , definido como la razón de la varianza (cuadrados medios) debida a la variación entre individuos, sobre la varianza originada por la doble digitalización. Un valor de $F > 1$ correspondería al caso favorable en el cual se descarta este tipo de error.

Una vez hecha la medición del error intraobservador se continuó con los análisis de forma sobre la muestra completa en MorphoJ, siguiendo con un análisis de componentes principales (PCA). Este último corresponde a un método de análisis exploratorio que reemplaza las variables originales por nuevas, llamadas componentes principales (PCs), que son combinaciones lineales de las variables originales e independientes entre sí. Estos componentes principales describen la variación general de la forma entre individuos, la cual se visualiza a través de esquemas tipo *wireframe* (Figura 1) (Zelditch y cols., 2012).

Posteriormente, se realizaron análisis preliminares para buscar la variable con mayor efecto sobre la forma. Para ello, se procedió con el Análisis MANOVA, que evalúa diferencias significativas entre grupos dentro de un conjunto de variables dependientes. Las variables dependientes utilizadas fueron los primeros cinco PCs que explican el 82% de la variabilidad de la muestra. Este se aplicó en los factores sexo, clase esquelética y sexo+clase esquelética (generando grupos con ambas variables combinadas). Los valores de p obtenidos fueron corregidos por el método Bonferroni, el cual ajusta los valores de p debido al riesgo de obtener un falso positivo al realizar múltiples pruebas estadísticas (Armstrong, 2014). Luego se realizó un Análisis PERMANOVA con 9999 permutaciones para evaluar diferencias significativas en la forma entre los factores sexo, clase esquelética y la interacción de estas. Para estos análisis se utilizó el software PAST (Hammer y cols., 2001).

La siguiente etapa consistió en efectuar los análisis confirmatorios. Primero fue realizado un Análisis de Variación Canónica (CVA), que evaluó las diferencias de la forma entre las tres clases esqueléticas. Luego se realizó un análisis de mínimos cuadrados parciales (PLS) para determinar la covariación entre maxilar e incisivo

central superior. Este último análisis fue aplicado a la muestra completa y a cada grupo de clase esquelética. Para estos análisis se utilizó el software MorphoJ.

8. Resultados

8.1. Análisis error intraobservador

Los resultados del ANOVA Procrustes para evaluar el análisis de error intraobservador se muestran en la tabla 2. Se observa a través del valor F que la varianza (MS) del efecto individual es 3,84 veces mayor que la varianza de error de repetidos, lo que nos indica que el error intraobservador es bajo.

Tabla 2. Resultados del ANOVA Procrustes para medición error intraobservador.

Efecto	SS	MS	df	F
Variación entre individuos	0,566	0,00163	348	3,84
Doble digitalización	0,152	0,000423	360	

8.2. Análisis exploratorio

El PCA indicó que el 62% de la variabilidad de la muestra se explica por los primeros tres componentes principales:

- PC1 = 26%
- PC2 = 24%
- PC3 = 12%

En la Figura 5 se puede observar los gráficos de dispersión del PC1 vs PC2 y PC1 vs PC3. En estos se muestra cómo se distribuyen los grupos, etiquetados según sexo y clase esquelética.

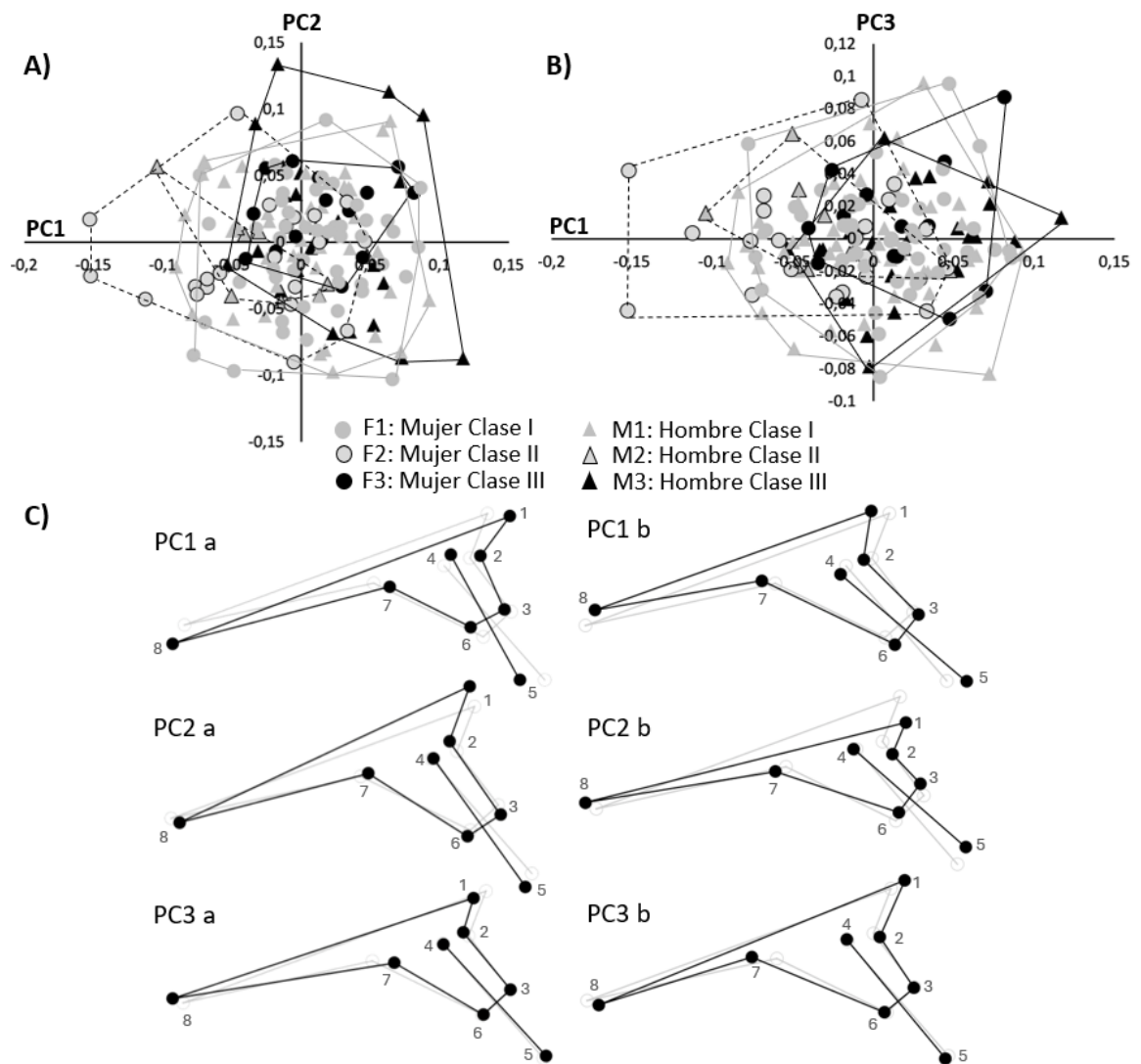


Figura 5. A y B: Gráficos de dispersión del PCA. **A.** PC1 vs PC2. Se observa amplia superposición entre grupos, con M3 más disperso que F3 y F2, que M2. **B.** PC1 vs PC3. Se observa amplia superposición de grupos, con F2 más disperso que M2. **C.** Wireframe representando las variaciones de la forma en los tres primeros componentes principales (PC1, PC2 y PC3). **a y b:** wireframes de individuos en valores mínimo y máximo respectivamente. **PC1 a.** Incisivo retroinclinado y proceso alveolar acortado. **PC1 b.** Incisivo proinclinado y proceso alveolar elongado hacia vestíbulo. **PC2a.** Incisivo retroinclinado y proceso alveolar elongado. **PC2b.** Incisivo proinclinado y proceso alveolar acortado. **PC3a.** Curvatura máxima palatina cercana a incisivo. Espina nasal anterior acortada. **PC3b.** Curvatura máxima palatina cercana a espina nasal posterior. Proceso alveolar ancho.

En ambos se aprecia un amplio solapamiento entre grupos, sin embargo, se distinguen tendencias de agrupación hacia distintos extremos del eje horizontal. La Clase esquelética II tiende a distribuirse hacia el extremo negativo de PC1, la Clase III hacia el extremo positivo mientras que la Clase I tiende a agruparse en el centro. En la Figura 5A se destaca que el grupo M3 presenta una mayor dispersión que F3, y F2 presenta una mayor dispersión que M2. Esta última observación también se destaca en la Figura 5B.

En la Figura 5C se observan los wireframe que muestran la variación de la forma dentro de los tres primeros PCs. En PC1 se destaca principalmente una variación en la inclinación del incisivo. En los valores mínimos se muestra un incisivo retroinclinado (PC1a), mientras que en los valores máximos presenta un incisivo proinclinado (PC1b). Junto a esta variación se observa que el proceso alveolar asociado ajusta su forma hacia el sentido de inclinación. También se destaca un maxilar de mayor altura en PC1b en comparación al de PC1a. Por otro lado, PC2 muestra la misma variación en la inclinación del incisivo que en PC1, pero en un menor grado. Además, se aprecia una evidente diferencia en la altura del maxilar, siendo esta mayor en PC2a. Por último, en PC3 se puede evidenciar un leve cambio en la ubicación de la curvatura máxima palatina estando ésta más cerca del incisivo en PC3a y a la espina nasal posterior en PC3b.

8.3. Análisis preliminares

El análisis MANOVA mostró que la variable clase esquelética tiene el mayor efecto sobre la forma. En la tabla 3 y 4 se observan los valores de p corregidos con el método Bonferroni, estos nos indican que las diferencias de forma entre sexo no son significativas, mientras que entre clases esqueléticas, sí. La tabla 5 evidencia que en la interacción de sexo y clase esquelética se presentan diferencias significativas entre los grupos F2-M3, F1-F2, F2-F3, F3-M1, F2-M1, los cuales al ser entre sexos pero de distintas clases esqueléticas, indican que el sexo no es una variable que induzca a error en los resultados.

Los valores de p originales no tuvieron diferencias con los corregidos por método Bonferroni.

Tabla 3. Resultados del MANOVA para factor sexo. Valores p corregidos por Bonferroni

	F	M
F	-	0,95855
M	0,95855	-

Tabla 4. Resultados del MANOVA para factor clase esquelética. Valores p con corrección de Bonferroni

	Clase esquelética I	Clase esquelética II	Clase esquelética III
Clase esquelética 1	-	0,00096	0,00507
Clase esquelética 2	0,00096	-	0,00019
Clase esquelética 3	0,00507	0,00019	-

Tabla 5. Valores p corregidos por Bonferroni resultado de MANOVA para factores sexo y clase esquelética combinados. (* = valores $p < 0.05$)

	F1	F2	F3	M1	M2	M3
F1	-	*0,00458	0,07604	0,68143	0,24238	0,31332
F2	*0,00458	-	*0,00902	*0,04115	0,93309	*0,00394
F3	0,07604	*0,00902	-	*0,02444	0,34215	0,61977
M1	0,68143	*0,04115	*0,02444	-	0,34749	0,06559
M2	0,24238	0,93309	0,34215	0,34749	-	0,21851
M3	0,31332	*0,00394	0,61977	0,06559	0,21851	-

Con el fin de confirmar los resultados obtenidos con el test paramétrico, el análisis Two-way PERMANOVA con una cantidad de 9999 permutaciones se aplicó para factores sexo, clase esquelética y la interacción de ambas. En la tabla 6 se observan sus resultados. El factor clase esquelética fue el único con un valor de p significativo.

Tabla 6. Resultados del PERMANOVA (* = valores $p < 0.05$)

Fuente	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	F	p
clase	0,0674498	2	0,033725	4,9893	*0,0001
sexo	0,00142268	1	0,0014227	0,21047	0,9499
Interacción	0,0110604	2	0,0055302	0,81815	0,5955
Residual	1,08827	161	0,0067594		
Total	1,1682	166			

8.4. Análisis confirmatorios

Se realizó un análisis CVA que permitió evaluar las diferencias de la forma entre las tres clases esqueléticas. La Figura 6A presenta un gráfico de dispersión donde se observa que los tres grupos están solapados, pero hay distintas tendencias de distribución.

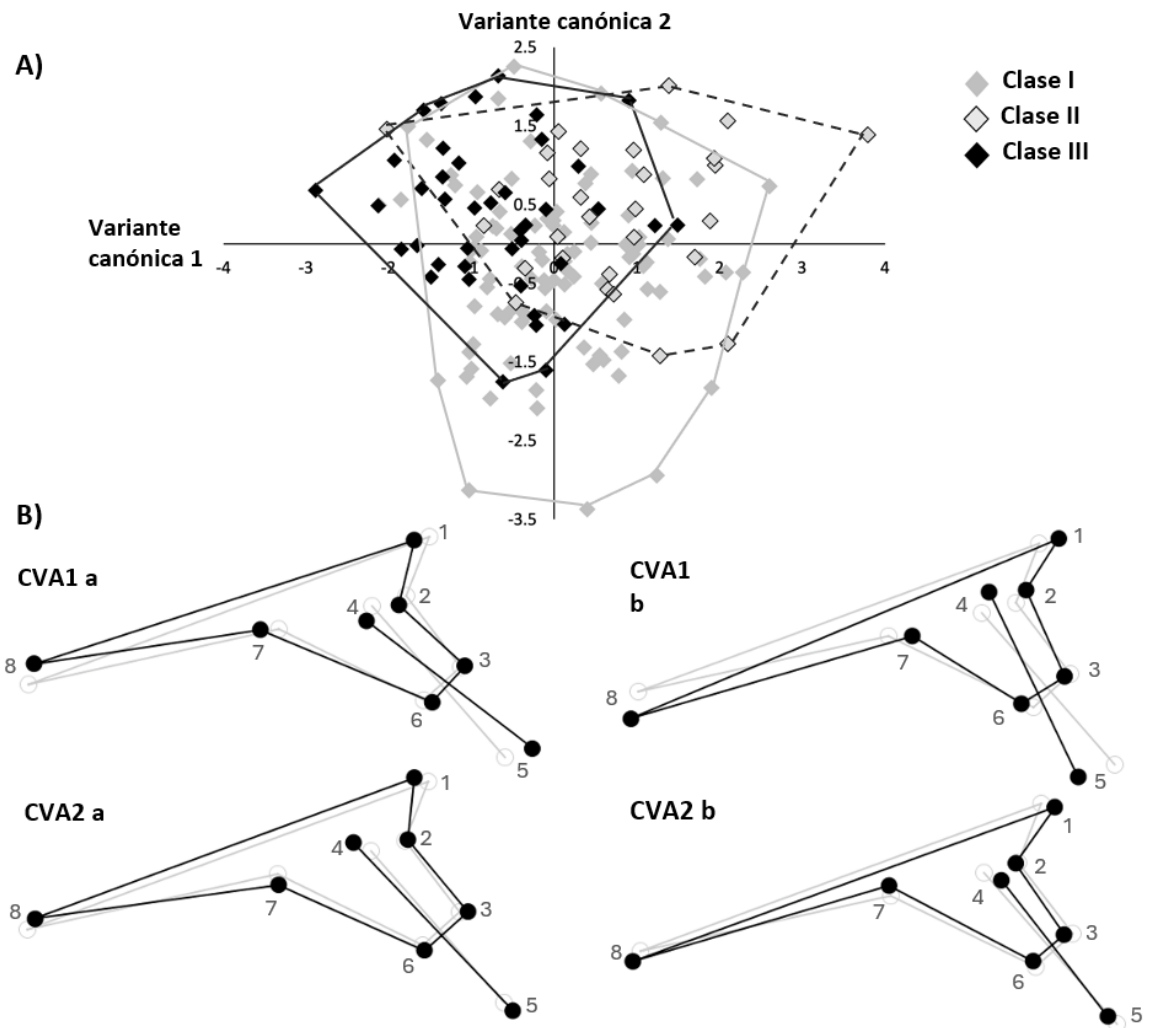


Figura 6: A) Gráfico de dispersión del CVA. Se observa amplia superposición entre clases, pero también áreas propias para cada grupo. El grupo Clase II se distribuye principalmente hacia el extremo positivo de CV1, mientras que el grupo Clase III se distribuye mayoritariamente hacia el extremo negativo. El grupo Clase I se distribuye de forma similar en este mismo eje, pero en el eje de la variante canónica 2 tiende a distribirse más hacia el extremo negativo. **B)** Wireframe del CVA representando las variaciones de la forma (**a**: extremo negativo. **b**: extremo positivo) en 2 variantes canónicas. **CVA1a.** Diente y proceso alveolar proinclinados. **CVA1b.** Diente y proceso alveolar retroinclinados. **CVA2a.** Diente levemente proinclinado. Proceso alveolar grueso. **CVA2b.** Diente levemente retroinclinado y cortical vestibular delgada.

Los individuos de Clase esquelética II presentan una mayor variación dentro del eje horizontal, agrupándose hacia el extremo positivo. Los individuos de Clase I presentan una variación acentuada en el eje vertical, agrupándose mayoritariamente hacia el extremo negativo. Mientras que la Clase III es el grupo con menos variación dentro de las variantes canónicas, y se agrupa principalmente hacia el extremo negativo del eje horizontal

Los wireframe (Figura 6B) representan la variación de la forma en la variante canónica 1 y 2. Se observa que en la CVA1 hay una mayor variación en la forma, manifestada principalmente en la inclinación del incisivo central superior y en su proceso alveolar asociado, con variación aumentada en el CV2 respecto a los otros grupos. En CVA1a el diente y proceso alveolar se encuentran proinclinados, mientras que en CVA2b se encuentran retroinclinados. Por otro lado, en las formas de CVA2 se evidencia una mínima variación en la inclinación del incisivo y se destaca una variación en el grosor del proceso alveolar. Este último, se presenta engrosado en CVA2a y adelgazado en CVA2b, particularmente en la cortical bucal.

Los resultados del CVA se presentan en la Tabla 7. En esta se observa que las diferencias de forma, entre cada clase esquelética, es significativa ($p < 0,05$). Sin embargo, la Clase esquelética II es la que presenta una mayor diferencia en comparación con el resto.

Tabla 7. Distancias de Procrustes (DP) y valores P (P) entre clases esqueléticas, obtenidas a través del CVA.

	Clase esquelética I	Clase esquelética II
Clase esquelética II	DP = 0,0401 P = 0,0003	-
Clase esquelética III	DP = 0,0268 P = 0,0214	DP = 0,0574 P ≤ 0,0001

Del análisis PLS, que evaluó la covariación entre la forma del maxilar y la posición del incisivo central superior, se obtuvieron la Figura 7 y Tabla 8.

En la figura 4 se observan los wireframe resultantes de los PLS realizados en cada clase esquelética. Todas las clases presentan una variación en la inclinación del incisivo que se acompaña de una deformación del proceso alveolar en el mismo sentido. La clase esquelética 1 presenta un mayor rango de variación en la inclinación del incisivo, seguido de la clase 2 y por último la clase 3. Otra variación observada fue la altura del proceso alveolar en las clases esqueléticas 1 y 3.

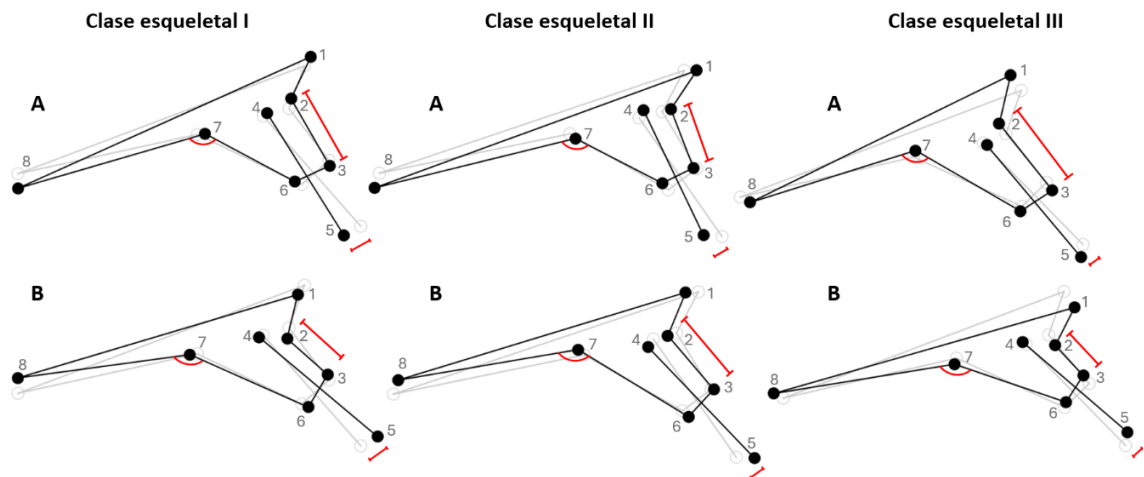


Figura 7. A: PLS variante de la forma en torno al valor mínimo. **B:** variante de la forma en torno al valor máximo. Las líneas rojas representan la longitud en altura del proceso alveolar, la cantidad de inclinación incisal y el ángulo generado en la curvatura máxima palatina.

La Figura 8 muestra los gráficos de dispersión para cada PLS. En la Figura 8A, que muestra el PLS sobre toda la muestra, se observa una distribución lineal de los individuos que evidencia una covariación alta entre maxilar e incisivo. Los grupos están superpuestos; sin embargo, se aprecia una orientación diferente para cada clase. La Clase II tiende a ubicarse hacia los negativos de cada eje, la Clase III hacia los positivos y la Clase I se encuentra más central. En la Figura 8B se presentan los gráficos resultantes de los PLS para cada clase esquelética. En las tres clases se observa una clara covariación entre incisivo y maxilar.

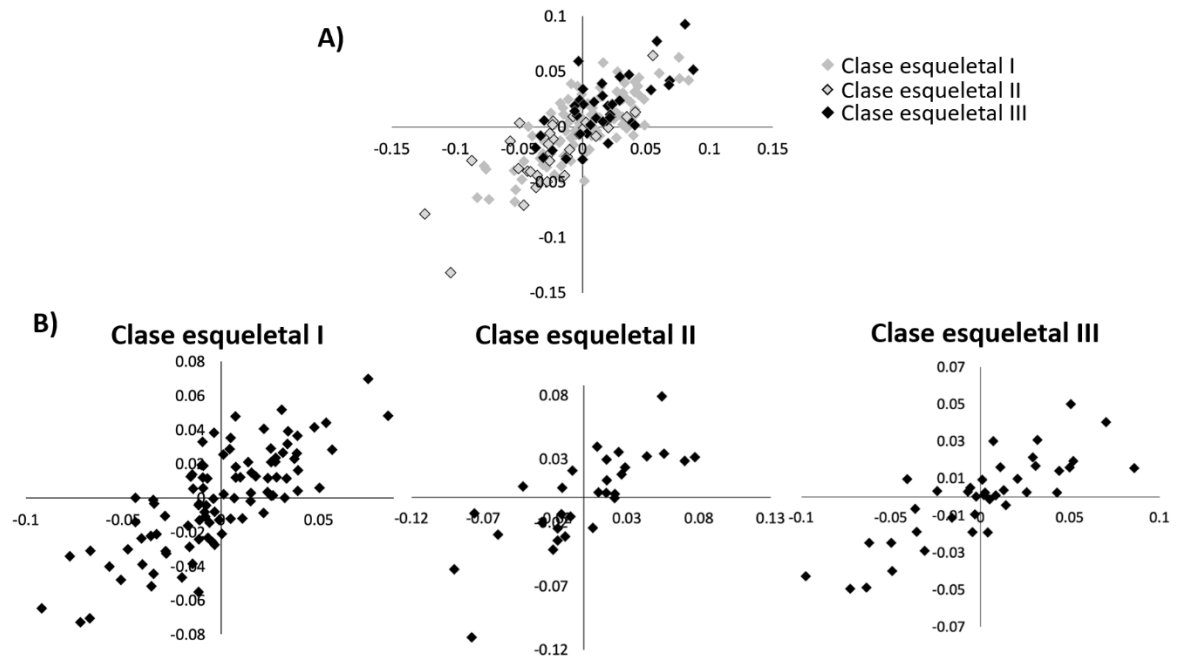


Figura 8. Gráficos de dispersión del PLS. Eje x: bloque 1 (maxilar). Eje y: bloque 2 (incisivo). A: PLS sobre toda la muestra. B: PLS sobre cada clase esqueletal.

El PLS aplicado a la muestra completa y a cada clase esqueletal por separado, se realizó mediante un test de permutación con 10.000 rondas. La covariación se midió en base a los valores de p y del coeficiente RV. Para cada análisis se obtuvieron valores que evidenciaron una covariación estadísticamente significativa entre maxilar e incisivo. Las tablas 8, 9, 10 y 11 muestran los valores para cada muestra.

Tabla 8. Resultado PLS para muestra completa.

	Valor singular	Valor-p (perm.)	% total covar.	Correlación	Valor-p (perm.)	RV
PLS1	0,00092796	< 0,0001	58,72	0,7822	< 0,0001	0,389201

Tabla 9. Resultado PLS para Clase esqueletal I

	Valor singular	Valor-p (perm.)	% total covar.	Correlación	Valor-p (perm.)	RV
PLS1	0,00078346	< 0,0001	56,729	0,78011	< 0,0001	0,334112

Tabla 10. Resultado PLS para Clase esqueletal II

	Valor singular	Valor-p (perm.)	% total covar.	Correlación	Valor-p (perm.)	RV
PLS1	0,00117811	0,0001	71,098	0,77759	0,0007	0,466818

Tabla 11. Resultado PLS para Clase esqueletal III

	Valor singular	Valor-p (perm.)	% total covar.	Correlación	Valor-p (perm.)	RV
PLS1	0,00100564	< 0,0001	67,487	0,85167	< 0,0001	0,446435

8.5. Cálculo del poder estadístico.

Se calculó el poder estadístico del análisis de MANOVA, que distinguió los grupos sexo+clase esqueletal en primer lugar, utilizando el software GPower (Faul et al., 2007), con los siguientes parámetros: tamaño del efecto = 0,61 (en base a traza de Pillai 0,29, con seis grupos y cinco variables de respuesta), alfa = 0,05 y tamaño muestral total = 167. El resultado fue un poder estadístico (es decir, probabilidad de que un test detecte un efecto real cuando este existe, o bien, que, rechace correctamente la hipótesis nula cuando es falsa) de 0,99, lo que es alto.

9. Discusión

La inclinación de los incisivos superiores juega un rol fundamental en la práctica ortodóncica. Su posición es considerada un punto de referencia para el antes y después de los tratamientos debido a que sirven de apoyo para el labio superior, la definición de sonrisa y mantención de una oclusión estable (Al-Khawaja y cols., 2021). Además, se ha observado que los movimientos bucolinguales forman parte de los movimientos más críticos dentro de la mecánica ortodóncica (Garib y cols., 2010). Por otra parte, en estudios anteriores se ha recalcado la importancia de la evaluación morfológica del proceso alveolar asociado a estos dientes, ya que define los límites de los movimientos ortodóncicos; en particular, se ha descrito que las corticales a nivel apical actúan como una barrera biológica que restringe el movimiento dentario (Coskun y Kaya, 2019), cuyo traspaso puede generar efectos secundarios iatrogénicos para el soporte periodontal, como dehiscencias y fenestraciones (Sendyk et al., 2017). De esta forma podemos considerar que el estudio de la relación entre la inclinación incisivos superiores y el proceso alveolar es importante para la comprensión de cómo interactúan estos dos elementos y así otorgar mayor conocimiento y seguridad al momento de tomar decisiones en la planificación de tratamientos ortodóncicos.

En consecuencia, en el presente estudio se abordó el fenómeno de compensación dentoalveolar, en individuos con discrepancias esqueléticas sagitales, con el objetivo de validar y profundizar en la hipótesis de la interdependencia morfológica entre la inclinación de los incisivos superiores y el hueso maxilar. Diversos estudios han evaluado este fenómeno en relación a la inclinación de incisivos superiores en distintas clases esqueléticas; sin embargo, pocos han realizado una comparación entre todas ellas. Anwar y Fida (2009) mencionan que una comparación de las tres clases esqueléticas ayudaría a un mejor entendimiento de las compensaciones dentoalveolares, mientras que Ishikawa y cols. (2000) afirman que la cuantificación de estas compensaciones en las diferentes discrepancias esqueléticas aportaría información valiosa a la planificación de los tratamientos para pacientes que las presentan. La cuantificación de compensación dentoalveolar, presente en los

incisivos, es importante puesto que la baja cantidad de hueso en la que están insertos puede limitar la mecánica ortodóncica para llevarlos a un rango de normalidad, por lo que una estimación de los límites de la compensación es clave para el éxito del tratamiento (Kuitert y cols., 2006).

Para este estudio se usó como metodología la morfometría geométrica, una herramienta estadística que permite analizar cuantitativamente la forma de estructuras biológicas, eliminando las influencias del tamaño, la posición y la orientación (Toro Ibacache y cols., 2010). De acuerdo a la literatura revisada en este estudio, este sería el primer análisis que aborda la relación morfológica entre la inclinación de los incisivos superiores y el hueso maxilar utilizando morfometría geométrica.

De los análisis preliminares y exploratorios en este estudio se identificó el factor Clase esquelética como la única variable significativa ($p < 0,05$) para las variaciones de forma de la muestra (Tablas 4, 5 y 6). Además se evidenció, a través del análisis CVA, que existen diferencias significativas de forma entre cada clase esquelética, siendo la Clase II el grupo que presenta mayor diferencia respecto al resto (Tabla 4). Los wireframes del CVA, presentados en la Figura 6B, mostraron patrones morfológicos característicos para cada clase esquelética. Esto se reflejó en que los individuos de Clase esquelética II presentaron una tendencia de los incisivos a la retroinclinación, mientras que los de Clase esquelética III presentaron un patrón opuesto evidenciando una proinclinación incisal. Estos hallazgos son coincidentes con la evidencia presentada por Coskun y Kaya (2019), Alhammadi (2019) y Bibby (1980), quienes, utilizando otra metodología, identificaron una relación significativa entre la inclinación de los incisivos superiores y la clase esquelética exhibiendo el mismo patrón morfológico observado en este estudio.

Sin embargo, no todos los estudios revisados en este trabajo coinciden con este hallazgo. Al-Khawaja y cols. (2021) reportaron una relación significativa entre inclinación de incisivo superior y Clase esquelética, pero identificaron un patrón

inverso en esta relación, caracterizado por una proinclinación de los incisivos en los individuos de Clase II y una retroinclinación en individuos de Clase III. Ellos, en su discusión, atribuyeron que este patrón se debía a mecanismos compensatorios, particularmente a la acción de tejidos blandos. De acuerdo a su interpretación, este mecanismo se produciría en individuos Clase II por la acción del labio inferior que actúa detrás de los incisivos superiores favoreciendo su proinclinación, mientras que en el caso de los individuos Clase III, ocurriría lo inverso: el tejido blando compensaría la maloclusión mediante la retroinclinación de los incisivos superiores. Otro estudio (Taylor y cols., 2014), señala que si bien este mecanismo mencionado en el estudio de Al-Khawaja y cols. (2021) ha sido propuesto en la literatura, no ha sido debidamente comprobado. Además, el trabajo de Taylor y cols. (2014) plantea que la proinclinación de los incisivos superiores en pacientes Clase II podría explicarse por una falta de contacto oclusal sobre estos dientes lo que favorecería su migración vertical debido a que no hay una fuerza proveniente de la dentición antagonista que contraste este movimiento.

En otra investigación, Andrews y cols. (2022) evidenciaron diferencias significativas entre individuos Clase I y Clase II en la inclinación de los incisivos inferiores atribuyéndolo a una compensación natural donde los individuos Clase II compensan con una proinclinación de los incisivos inferiores, lo cual sigue la lógica de los resultados de presente estudio, aunque en relación con la arcada inferior. Sin embargo, en su estudio no encontraron evidencia significativa similar respecto a los incisivos superiores y sugieren que las compensaciones dentoalveolares ocurren más frecuentemente en la dentición inferior cuando existen discrepancias esqueléticas sagitales.

Estas diferencias, tanto de los datos como en la interpretación de resultados presentados en la literatura, reflejan la complejidad del fenómeno de compensación dentoalveolar y sugieren la necesidad de continuar profundizando la investigación de este mecanismo.

En el presente trabajo, para evaluar la relación entre la inclinación del incisivo superior y la forma del hueso maxilar, se realizó un análisis PLS, el cual reveló una covariación significativa ($p < 0,05$) entre la inclinación de los incisivos y la forma del maxilar en todas las Clases esqueléticas, siendo más fuerte en las clases II y III, según los coeficientes RV obtenidos (Tablas 8, 9, 10 y 11).

Estos resultados son decisivos y confirman la hipótesis planteada en este estudio, que postula la existencia de una interdependencia morfológica entre la inclinación de los incisivos superiores y la forma del hueso maxilar que se presenta en las diferentes clases esqueléticas.

En línea con lo anterior, los wireframes del PLS presentados en la Figura 7 confirman los patrones morfológicos del análisis CVA descritos previamente. Adicionalmente, la Figura 7 también evidencia que la retroinclinación de los incisivos en Clase II y la proinclinación en clase III se acompañan de modificaciones morfológicas del proceso alveolar, que siguen el mismo sentido de las inclinaciones incisales para cada Clase. Este hallazgo es coherente con la hipótesis de una interdependencia morfológica y permite describir cómo esta se manifiesta entre ambas estructuras. En esta misma dirección, los trabajos de Tian y cols. (2015) y Nahás-Scocate y cols. (2014) evidenciaron una relación similar significativa entre inclinación del incisivo superior y el grosor del hueso alveolar, lo cual es coherente y complementario con la evidencia encontrada en este trabajo de una covariación morfológica entre inclinación de incisivo y forma del hueso maxilar.

Otros estudios similares, realizados por Gracco y cols. (2009), Tian y cols. (2015) y Andrews y cols. (2022), encontraron una tendencia en los incisivos superiores a mantenerse en el tercio anterior del proceso alveolar independientemente de la discrepancia esquelética. Esta tendencia también fue observada en el presente estudio, a través de los wireframes que resultaron del PLS (Figura 7), donde se evidenció un paralelismo y una cercanía persistente entre la cortical vestibular y el

incisivo superior, presente además en todas las clases esqueléticas y sus variantes de forma. Este hallazgo, que evidencia una relación espacial estable entre ambas estructuras, es coherente con nuestra hipótesis de una interdependencia morfológica entre incisivo y hueso, y aporta en la descripción de la misma en diferentes clases esqueléticas.

Cabe destacar además que en los resultados del análisis PLS (Figura 7) se observó que las Clases II y III presentan un rango de variación en la inclinación incisal más reducido en comparación con la Clase I. Esto podría deberse a que en los individuos de Clases II y III ya habría ocurrido una compensación dentoalveolar, que alcanzó su límite biológico, lo cual impediría una mayor inclinación para camuflar las discrepancias esqueléticas. En concordancia con esta idea, Ishikawa y cols. (2000) determinaron que la eficacia compensatoria disminuye al haber un grado mayor de discrepancia, sugiriendo que la maloclusión es resultado de una compensación insuficiente y que los límites de esta son desconocidos. Asimismo, los coeficientes RV más altos presentados por las Clases II y III, sugieren que, en presencia de una discrepancia esquelética, la interdependencia morfológica es más estrecha, posiblemente debido a un mayor requerimiento de compensación dentoalveolar.

Cabe señalar que este estudio utilizó telerradiografías laterales, sobre las cuales se digitalizaron las coordenadas que dieron origen a la base de datos utilizada para el análisis estadístico. Debido a su naturaleza bidimensional, estas imágenes pueden presentar superposición de estructuras anatómicas y, por tanto, dificultades en su identificación. El número final de imágenes seleccionadas para el análisis fue 167, lo que corresponde a una muestra aceptable para estudios de esta naturaleza. Sin embargo, el número muestral de individuos de cada Clase fue desigual (96 de Clase I, 30 de Clase II y 41 de Clase III), lo que podría implicar un posible sesgo en los resultados de los análisis estadísticos. Respecto a la clasificación esquelética, este estudio optó por utilizar el análisis de Wits para evitar que factores anatómicos puedan influir en una correcta interpretación, de acuerdo a las conclusiones de Jacobson (1975).

Así, la evidencia aportada por los resultados de este estudio respalda la hipótesis sobre la existencia de una interdependencia morfológica entre la inclinación de los incisivos y la forma del hueso maxilar en distintas clases esqueléticas. Esta relación se manifiesta y respalda a partir de un análisis estadístico significativo.

En este contexto, los hallazgos de este estudio cobran relevancia clínica ya que permiten comprender las posibles limitaciones anatómicas y de respuesta ósea a las fuerzas externas durante la planificación del tratamiento ortodóncico. Esta comprensión puede favorecer la toma de decisiones terapéuticas y contribuir a la prevención de efectos iatrogénicos

10. Conclusiones

- La muestra analizada confirmó que existe una covariación estadísticamente significativa entre la inclinación de los incisivos superiores y la morfología del hueso maxilar en todas las clases esqueléticas.
- Esta covariación fue mayor en las Clases II y III, indicando una relación más estrecha entre ambas estructuras en presencia de discrepancias esqueléticas.
- La inclinación del incisivo superior se acompaña de un cambio morfológico del hueso asociado en el mismo sentido de la inclinación, independientemente de la clase esquelética
- La Clase II presentó una tendencia a la retroinclinación incisal y la Clase III a la proinclinación
- Las clases II y III presentaron un rango de variación en la inclinación incisal menor en comparación con la clase I, lo que sugiere la existencia de un límite biológico en el mecanismo de compensación dentoalveolar.
- Los hallazgos de este estudio permiten validar la hipótesis y respaldan la continuidad de investigaciones futuras en esta línea.
- Los patrones de covariación observados entre incisivos y hueso maxilar constituyen información morfológica útil para la planificación de tratamientos ortodóncicos.

11. Referencias bibliográficas

- Alhammadi, M. (2019). Dentoalveolar compensation in different anterioposterior and vertical skeletal malocclusions. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, e745-e753. <https://doi.org/10.4317/jced.56020>
- Al-Khawaja, N., Nahidh, M. y Abdulsahab, R. (2021). Assessment of maxillary incisors' angulation and position in different types of malocclusions using cone-beam computed tomography. *Contemporary Clinical Dentistry*, 12(4), 401-407. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_743_20
- Andrews, W. A., Abdulrazzaq, W. S., Hunt, J. E., Mendes, L. M. y Hallman, L. A. (2022). Incisor position and alveolar bone thickness: A comparative analysis of two untreated samples using lateral cephalograms. *Angle Orthodontist*, 92(1), 3-10. <https://doi.org/10.2319/022320-122.1>
- Anwar, N. y Fida, M. (2009). Evaluation of dentoalveolar compensation in skeletal class II malocclusion in a Pakistani University Hospital setting. *Journal of the College of Physicians and Surgeons--Pakistan : JCPSP*, 19(1), 11-16.
- Armstrong, R. A. (2014). When to use the Bonferroni correction. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 34(5), 502-508. <https://doi.org/10.1111/opo.12131>
- Barbeito-Andrés, J., Sardi, M. L., Anzelmo, M. y Pucciarelli, H. M. (2012). Matrices funcionales e integración Morfológica. un estudio ontogénico de la bóveda y el Maxilar. En *Rev Arg Antrop Biol* (Vol. 14, Número 1).
- Berkovitz, B. K. B., Holland, G. R. y Moxham, B. J. (2017). *Oral anatomy, histology and embryology* (5.^a ed.). Elsevier.
- Bibby, R. E. (1980). Incisor relationships in different skeletofacial patterns. *The Angle orthodontist*, 50(1), 41-44. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1980\)0502.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1980)0502.0.CO;2)
- Buvinic, S., Balanta-Melo, J., Kupczik, K., Vásquez, W., Beato, C. y Toro-Ibacache, V. (2020). Muscle-Bone Crosstalk in the Masticatory System: From Biomechanical to Molecular Interactions. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 606947. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.606947>

- Cobourne, M. T. y DiBiase, A. T. (2024). *Handbook of Orthodontics* (3.^a ed.). Elsevier.
- Coskun, I. y Kaya, B. (2019). Appraisal of the relationship between tooth inclination, dehiscence, fenestration, and sagittal skeletal pattern with cone beam computed tomography. *Angle Orthodontist*, 89(4), 544-551. <https://doi.org/10.2319/050818-344.1>
- Creanor, S. y Ali, K. (2016). Alveolar bone. En S. Creanor (Ed.), *Essential Clinical Oral Biology* (pp. 85-96). Wiley-Blackwell.
- de Jong, T., Bakker, A. D., Everts, V. y Smit, T. H. (2017). The intricate anatomy of the periodontal ligament and its development: Lessons for periodontal regeneration. *Journal of Periodontal Research*, 52(6), 965-974. <https://doi.org/10.1111/jre.12477>
- Dokovska, H. y Maneva Ristovska, M. (2021). Comparative analysis of the use of ANB angle and Wits appraisal for determination of the sagittal jaw relationship. *Македонски стоматолошки преглед*, 44(1), 7-12. <https://doi.org/10.55302/MSP21441007d>
- Dougherty, H. L. (1991). The orthodontic standard of care. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 99(5), 482-485. [https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(05\)81583-5](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(05)81583-5)
- Durão, A. R., Pittayapat, P., Rockenbach, M. I. B., Olszewski, R., Ng, S., Ferreira, A. P. y Jacobs, R. (2013). Validity of 2D lateral cephalometry in orthodontics: a systematic review. *Progress in Orthodontics*, 14(1), 31. <https://doi.org/10.1186/2196-1042-14-31>
- Enlow, D. H. (1996). *Essentials of Facial Growth* (2.^a ed.). Saunders.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G. y Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>

- Garib, D. G., Yatabe, M. S., Ozawa, T. O. y da Silva Filho, O. G. (2010). Alveolar bone morphology under the perspective of the computed tomography: Defining the biological limits of tooth movement. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 15(5), 192-205. <https://doi.org/10.1590/S2176-94512010000500023>
- Gershater, E., Li, C., Ha, P., Chung, C.-H., Tanna, N., Zou, M. y Zheng, Z. (2021). Genes and Pathways Associated with Skeletal Sagittal Malocclusions: A Systematic Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23). <https://doi.org/10.3390/ijms222313037>
- Ghodasra, R. y Brizuela, M. (2025). *Orthodontics, Cephalometric Analysis*.
- Gómez de Ferraris, M. E. y Campos Muñoz, A. (2002). *Histología y Embriología Bucodental*. Editorial Médica Panamericana S.A.
- Gracco, A., Lombardo, L., Mancuso, G., Gravina, V. y Siciliani, G. (2009). Upper incisor position and bony support in untreated patients as seen on CBCT. *Angle Orthodontist*, 79(4), 692-702. <https://doi.org/10.2319/081908-437.1>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. y Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4.
- Hemmatian, H., Bakker, A. D., Klein-Nulend, J. y van Lenthe, G. H. (2017). Aging, Osteocytes, and Mechanotransduction. *Current osteoporosis reports*, 15(5), 401-411. <https://doi.org/10.1007/s11914-017-0402-z>
- Ishikawa, H., Nakamura, S., Iwasaki, H., Kitazawa, S., Tsukada, H. y Chu, S. (2000). Dentoalveolar Compensation in Negative Overjet Cases. En *Angle Orthodontist* (Vol. 70, Número 2).
- 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)
- Joshi. (2014). Skeletal Malocclusion: A Developmental Disorder With a Life-Long Morbidity. *Journal of Clinical Medicine Research*. <https://doi.org/10.14740/jocmr1905w>
- Kim, H.-J., Hong, M. y Park, H.-S. (2019). Analysis of dental compensation in patients with facial asymmetry using cone-beam computed tomography.

- American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 156(4), 493-501. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.10.025>
- 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>
- Kuitert, R., Beckmann, S., van Loenen, M., Tuinzing, B. y Zentner, A. (2006). Dentoalveolar compensation in subjects with vertical skeletal dysplasia. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 129(5), 649-657. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.09.032>
- Nahás-Scocate, A. C. R., De Siqueira Brandão, A., Patel, M. P., Lipiec-Ximenez, M. E., Chilvarquer, I. y Do Valle-Corottia, K. M. (2014). Bone tissue amount related to upper incisors inclination. *Angle Orthodontist*, 84(2), 279-285. <https://doi.org/10.2319/031213-211.1>
- Nanci, A. (2012). Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function. En *Ten Cates Oral Histology: Development, Structure, and Function, Eighth Edition*.
- Nishio, C. y Huynh, N. (2016). Skeletal Malocclusion and Genetic Expression: An Evidence-Based Review. *Journal of Dental Sleep Medicine*, 03(02), 57-63. <https://doi.org/10.15331/jdsm.5720>
- Nuñez, J., Vignoletti, F., Caffesse, R. G. y Sanz, M. (2019). Cellular therapy in periodontal regeneration. *Periodontology 2000*, 79(1), 107-116. <https://doi.org/10.1111/prd.12250>
- Proffit, W. R. y Fields, H. W. (2013). *Contemporary orthodontics* (5.^a ed.). Elsevier/Mosby. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2012.829>
- Rouvière, H. y Delmas, A. (2005). *Anatomía humana, 11 ed.: descriptiva, topográfica y funcional: sistema nervioso central, vías y centros nerviosos. Volumen 4* (11.^a, reimpresión ed.). Elsevier España.
- Sardi, M. L., Barbeito, J., Anzelmo, M., Rozzi, F. R. y Pucciarelli, H. M. (2008). El cierre de la sincondrosis eseno-basilar y su influencia en la morfología craneofacial. En *Revista Argentina de Antropología Biológica* (Vol. 10, Número 2).

- Sendyk, M., de Paiva, J. B., Abrão, J. y Rino Neto, J. (2017). Correlation between buccolingual tooth inclination and alveolar bone thickness in subjects with Class III dentofacial deformities. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 152(1), 66-79. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2016.12.014>
- Solow, B. (1980). The dentoalveolar compensatory mechanism: background and clinical implications. *British Journal of Orthodontics*, 7(3), 145-161. <https://doi.org/10.1179/bjo.7.3.145>
- Soriano, R. M. y Das, J. M. (2025). *Anatomy, Head and Neck, Maxilla*.
- Tamayo, A. (2008). Revista Facultad De Odontología. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*, 22(2), 227-245. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-246X2011000100009&lng=en&nrm=iso&tIng=es
- Taylor, C., Roudsari, R. V., Jawad, S., Ashley, M. P. y Darcey, J. (2014). The aetiology and management of labial and vertical migration of maxillary incisors: «Do you catch my drift?» En *British Dental Journal* (Vol. 216, Número 3, pp. 117-123). <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.96>
- Tian, Y. Lou, Liu, F., Sun, H. J., Lv, P., Cao, Y. M., Yu, M. y Yue, Y. (2015). Alveolar bone thickness around maxillary central incisors of different inclination assessed with cone-beam computed tomography. *Korean Journal of Orthodontics*, 45(5), 245-252. <https://doi.org/10.4041/kjod.2015.45.5.245>
- Toro Ibacache, M. V., Manriquez Soto, G. y 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>
- Villanueva, P., Morán, D., Loreto Lizana, M. y Palomino, H. M. (2009). Articulación de fones en individuos clase esquelética I, II y III. *Revista CEFAC*, 11(3), 423-430. <https://doi.org/10.1590/S1516-18462009000300009>
- Wang, T., Liu, X., Li, J., Yue, Y., Li, J., Wang, M., Wei, N. y Hao, L. (2024). Mechanisms of mechanical force in periodontal homeostasis: a review. *Frontiers in Immunology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1438726>

- Yamamoto, T., Hasegawa, T., Yamamoto, T., Hongo, H. y Amizuka, N. (2016). Histology of human cementum: Its structure, function, and development. *Japanese Dental Science Review*, 52(3), 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2016.04.002>
- Zelditch, M. L., Swiderski, D. L. y Sheets, H. D. (2012). Ordination methods. En M. L. Zelditch, D. L. Swiderski, & H. D. Sheets (Eds.), *Geometric morphometrics for biologists* (2.^a ed., pp. 135-167). Elsevier Academic Press.
- Zhou, X., Chen, S., Zhou, C., Jin, Z., He, H., Bai, Y., Li, W., Wang, J., Hu, M., Cao, Y., Liu, Y., Yan, B., Shi, J., Guo, J., Li, Z., Ma, W., Liu, Y., Li, H., Lu, Y., ... Chen, L. (2025). Expert consensus on early orthodontic treatment of class III malocclusion. *International Journal of Oral Science*, 17(1), 20. <https://doi.org/10.1038/s41368-025-00357-9>

12. Anexos

30/11/23, 10:47

Correo de Universidad de Chile - AAOF Legacy Collection Images Ready for Download - Partial



Universidad
de Chile

Javiera Campos <javiera.campos.j@ug.uchile.cl>

AAOF Legacy Collection Images Ready for Download - Partial

Info <info@aaoflegacycollection.org>
Para: javieracamposj <javiera.campos.j@ug.uchile.cl>

29 de marzo de 2023, 15:01

Some of the images that you requested are now available for download from the AAOF FTP Server.

As noted on the AAOF Legacy Collection Website, access to the Burlington Growth Study full resolution images requires completing some additional forms, and sending them to the BGC for approval. If you are still interested, I will email you the short application forms. You can complete them and return them to me, and I will forward them to the Burlington Growth Center. Approval should only take a few days.

Please note that the images will only be available for 60 days, and your account will be deleted after that time.

You can use any FTP client program that you wish to download your data from the AAOF server, but I think that the easiest way is using the free FileZilla FTP Client. Here are the steps, if you are not familiar with FileZilla:

- 1) You first need to download and install the FileZilla Client from www.filezilla-project.org. You only need the Client, not the Server. FileZilla is free and available for Windows, MacOS, and Linux.
- 2) Once you have downloaded the client, follow your OS's standard installation process to install the software.
- 3) Start FileZilla
- 4) Along the top of the window are a few boxes to fill in. The Host is <ftp.aaoflegacycollection.org>, your Username is "campos" and your Password is "aaof_req_campos". You can leave the Port blank.
- 5) Click Quickconnect to connect to the AAOF FTP Server
- 6) You should now be logged into the AAOF server. You will see the files and folders on your local PC on the left, and your AAOF folder(s) on the right. Start by selecting the local folder on the Local PC (on the left) where you want the downloaded files to be saved, and then transfer files by simply selecting them in the right panel and double clicking to copy them to the left. You can also click and drag entire folders to the left, and select and double click multiple files.
- 7) If you want, you can open the Site Manager (File/Site Manager...) in FileZilla, and save the login information for later sessions.
- 8) This should work the same on Mac/PC/Unix systems.

Attached is a document that explains how to make scaled measurements from the AAOF Images.

Note that we have not yet standardized all the image names, so some have a sequence number, some an age or date of film, and some a sequence number and age in the file name, which can be quite confusing. In the case of sequence numbers, you can cross-check with the website to get the corresponding age at image.

A note on Image File naming:

- Oregon Growth : File name has sequence number and age
- Iowa Growth : File name has sequence number, refer to the Website for age
- Denver Growth : File name has age
- Burlington Growth : File name has sequence number and age
- Michigan Growth : File name has film date and age in months
- UOP Mathews : File name has sequence number, refer to the Website for age
- Fels : File name has sequence number, refer to the Website for age
- Bolton Brush : File name has age
- Forsyth Twin : Most file names have age in years

Please remember:

- 1) The images are provided free of charge for your personal use. You may not redistribute them for any purpose other than publication of research results.

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=9745e700de&view=pt&search=all&permmsgid=msg-f:1761726078898807864&simpl=msg-f:1761726078898807864>

1/2

30/11/23, 10:47

Correo de Universidad de Chile - AAOF Legacy Collection Images Ready for Download - Partial

- 2) The ownership of the images remains with the original providing Institution.
- 3) Please credit the AAOF and the providing Institution(s) in any work that utilizes these images
- 4) The images are provided in the format and with the naming convention of the original provider. Therefore, some images may need to be converted by you to a more appropriate format.
- 5) The images are provided for non-commercial use only.


If you require additional images, you can request them via the website or by emailing me a list.

Please let me know if you have any questions at all - I am glad to help.

Yours,

Sean

Sean Curry
AAOF Legacy Collection Website and Database Developer

 **AAOF Scaled Measurement.pdf**
885K