Facultad de Ciencias de la Salud

Especialidad de Ortodoncia

Tema:

Cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar después de expansión rápida palatina asistida por microimplantes MARPE análisis retrospectivo en tomografía axial computarizada de haz cónico CBCT.

Tesis para la obtención del Título de:

“Especialista en Ortodoncia”

Presentado por:

Od. Freddy Neptali Iza Tasinchana

Tutor:

Dr. Fabián Dario Bautista Rojas

Quito, diciembre de 2025

Resumen

La técnica de expansión rápida palatina asistida por minitornillos (MARPE) busca corregir la deficiencia transversal del maxilar en adolescentes y adultos jóvenes. Esta investigación tiene como objetivo evaluar los cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), estudiando mediciones pre y postratamiento en puntos anatómicos estandarizados. La investigación empleó un diseño cuantitativo, retrospectivo y longitudinal, con una muestra de 24 pacientes (54,2% mujeres, 45,8% hombres) con edades entre 9 y 31 años. Los resultados revelaron un 91,7% de éxito en la disyunción sutural y un 83,3% de expansión completa (>2 mm). Se observaron aumentos significativos en la expansión lateral (Z2: +3,74 ± 2,06 mm, $p<0,01$), en cuanto al ensanchamiento alar nasal (+3,58 ± 1,36 mm, $p<0,001$), y a la apertura sutural anterior (DY-A: 3,19 ± 1,23 mm) y posterior (DY-P: 3,25 ± 1,22 mm), manteniendo un patrón paralelo (relación DY-P/DY-A = 1,02 ± 0,18). La correlación entre edad y apertura sutural fue negativa ($r=-0,67$, $p<0,001$), indicando que cada año reduce 0,14 mm la respuesta expansiva. En conclusión, la técnica MARPE genera transformaciones tridimensionales reales y simétricas que benefician la vía aérea superior y la morfología facial, siendo más efectiva en adolescentes (100% de éxito) que en adultos jóvenes (75%), lo que confirma la influencia decisiva de la edad en la predictibilidad del tratamiento y su superioridad biomecánica frente a técnicas convencionales.

Palabras clave: Técnica de expansión rápida, complejo cigomático maxilar posterior, microimplantes, tomografía computarizada, adolescentes tempranos.

Declaración de Aceptación de Norma Ética Y Derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Firmado electrónicamente por:
FREDDY NEPTALI IZA TASINCHANA
Validar únicamente con FirmaEC

FREDDY NEPTALI IZA TASINCHANA
C.I.: 0503738544

Dedicatoria

A mi familia,

Mi gran familia, mi Esposa, Leonardo Benjamín & Lía Betsabeth por ser mi raíz, mi hogar y mi fuerza en cada paso que se da día a día en este arduo camino. Gracias por su apoyo, cariño y amor incondicional, por acompañarme en los días de sobreesfuerzo y en los de alegría, por sus palabras de aliento cuando flaqueaban mis fuerzas, y por entenderme que los sueños se construyen con perseverancia, esfuerzo y sacrificio necesario.

Este trabajo es una muestra clara de que, por más difícil que parezca el camino, cuando se avanza con metas claras y determinación, este se vuelve transitable y, como resultado, abre innumerables puertas al conocimiento y al crecimiento personal.

A mis docentes, porque más allá del conocimiento, me entregaron ejemplo, vocación y humanidad. Gracias por cada lección, cada corrección, cada palabra que me impulsó a crecer. Ustedes sembraron en mí la pasión por esta hermosa profesión y la responsabilidad de ejercerla con ética, respeto y entrega en busca del bienestar de nuestros pacientes.

Y por supuesto, una parte muy especial en este posgrado es haber conocido a quienes ahora no solo son mis compañeros sino una parte importante de mi vida, mi ¨Grupo de apoyo¨ donde juntos aprendimos, nos acompañamos y nos impulsamos en este proceso de formación académica continua.

Este logro no es solo mío… Es también de ustedes, que caminaron conmigo.

Freddy Iza.

Índice

RESUMEN 2

DEDICATORIA 4

Introducción 10

Capítulo 1. Marco referencial 13

Capítulo 2. Investigación 21

Capítulo 3. Resultados 26

DISCUSIÓN 36

CONCLUSIONES 40

Referencias Bibliográficas 41

Índice de tablas

Tabla 1 Características demográficas y distribución etaria de la muestra 26

Tabla 2 Valores comparativos ANTES vs DESPUÉS del tratamiento MARPE..... 27

Tabla 3 Magnitud de los cambios y distribución estadística 28

Tabla 4 Apertura sutural y patrón de disyunción..... 29

Tabla 5 Cambios promedio por grupo de edad en puntos clave..... 30

Tabla 6 Análisis del patrón de expansión por regiones anatómicas 31

Tabla 7 Correlaciones entre edad, apertura sutural y expansión ósea 32

Tabla 8 Evaluación de normalidad de distribución de variables principales..... 33

Tabla 9 Análisis de regresión lineal múltiple - Predictores de expansión ósea (Z2) 34

Tabla 10 Análisis de regresión lineal múltiple - Predictores de apertura sutural (DY-A) 35

Cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar después de expansión rápida palatina asistida por microimplantes MARPE análisis retrospectivo en tomografía axial computarizada de haz cónico CBCT.

Freddy Neptali Iza Tasinchana
UNIVERSIDAD HEMISFERIOS
fnizat@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

El estudio titulado *"Cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar después de expansión rápida palatina asistida por microimplantes MARPE"*. La técnica de expansión rápida palatina asistida por minitornillos (MARPE) busca corregir la deficiencia transversal del maxilar en adolescentes y adultos jóvenes. Esta investigación tiene como objetivo evaluar los cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), estudiando mediciones pre y postratamiento en puntos anatómicos estandarizados. La investigación empleó un diseño cuantitativo, retrospectivo y longitudinal, con una muestra de 24 pacientes (54,2% mujeres, 45,8% hombres) con edades entre 9 y 31 años. Los resultados revelaron un 91,7% de éxito en la disyunción sutural y un 83,3% de expansión completa (>2 mm). Se observaron aumentos significativos en la expansión lateral (Z2: +3,74 ± 2,06 mm, p<0,01), en cuanto al ensanchamiento alar nasal (+3,58 ± 1,36 mm, p<0,001), y a la apertura sutural anterior (DY-A: 3,19 ± 1,23 mm) y posterior (DY-P: 3,25 ± 1,22 mm), manteniendo un patrón paralelo (relación DY-P/DY-A = 1,02 ± 0,18). La correlación entre edad y apertura sutural fue negativa (r=-0,67, p<0,001), indicando que cada año reduce 0,14 mm la respuesta expansiva. En conclusión, la técnica MARPE genera transformaciones tridimensionales reales y simétricas que benefician la vía aérea superior y la morfología facial, siendo más efectiva en

adolescentes (100% de éxito) que en adultos jóvenes (75%), lo que confirma la influencia decisiva de la edad en la predictibilidad del tratamiento y su superioridad biomecánica frente a técnicas convencionales.

Palabras clave: Técnica de expansión rápida, complejo cigomático maxilar posterior, microimplantes, tomografía computarizada, adolescentes tempranos.

Abstract

The study, titled “Three-Dimensional Changes of the Zygomatic-Maxillary Complex After MARPE Microimplant-Assisted Rapid Palatal Expansion,” explored the use of the MARPE technique to correct transverse maxillary deficiency in adolescents and young adults. This research aimed to evaluate the three-dimensional changes of the zygomatic-maxillary complex using cone-beam computed tomography (CBCT), studying pre- and post-treatment measurements at standardized anatomical landmarks. The study employed a quantitative, retrospective, and longitudinal design, with a sample of 24 patients (54.2% female, 45.8% male) aged between 9 and 31 years. The results revealed a 91.7% success rate in sutural disjunction and an 83.3% rate of complete expansion (>2 mm). Significant increases were observed in lateral expansion (Z2: +3.74 ± 2.06 mm, $p<0.01$), nasal alar widening (+3.58 ± 1.36 mm, $p<0.001$), and anterior (DY-A: 3.19 ± 1.23 mm) and posterior (DY-P: 3.25 ± 1.22 mm) sutural opening, maintaining a parallel pattern (DY-P/DY-A ratio = 1.02 ± 0.18). The correlation between age and sutural opening was negative ($r=-0.67$, $p<0.001$), indicating that the expansive response decreases by 0.14 mm each year. In conclusion, the MARPE technique generates real and symmetrical three-dimensional transformations that benefit the upper airway and facial morphology, proving more effective in adolescents (100% success rate) than in young adults (75%). This confirms the decisive influence of age on treatment predictability and its biomechanical superiority over conventional techniques.

Keywords: Rapid expansion technique, posterior maxillary zygomatic complex, microimplants, computed tomography, early adolescents.

Introducción

La deficiencia transversal del maxilar constituye una de las maloclusiones esqueléticas más prevalentes en la práctica ortodóncica contemporánea, afectando aproximadamente el 9.4% de la población general y cerca del 30% de los pacientes adultos con tratamiento ortodóncico, dicha condición se caracteriza por el subdesarrollo del ancho transversal del maxilar, manifestándose clínicamente a través de mordida cruzada posterior unilateral o bilateral, apiñamiento dental severo, alteraciones respiratorias y desarmonías estéticas faciales (Ahmida et al., 2023). La complejidad de esta condición trasciende su impacto inmediato, ya que se asocia con un mayor riesgo de desarrollar apnea obstructiva del sueño en pacientes adultos, comprometiendo de manera relevante la funcionalidad del sistema estomatognático y el balance facial (Song et al., 2019).

El manejo de la deficiencia transversal maxilar en pacientes adultos y adolescentes tardíos ha planteado desafíos significativos dentro del alcance de los enfoques ortodóncicos convencionales. Mientras que la expansión palatina rápida convencional ha demostrado eficacia en pacientes en crecimiento al explotar el potencial de las suturas durante el desarrollo, esto se ve obstaculizado en pacientes adultos debido a la maduración continua de las suturas palatinas y circunmaxilares (Song et al., 2019). La mayor resistencia mecánica del complejo maxilofacial aumenta considerablemente la complejidad de predecir la expansión esquelética y eleva las posibilidades de efectos secundarios dentoalveolares perjudiciales, incluyendo inclinación bucal excesiva de los dientes posteriores, dehiscencias y fenestraciones del hueso alveolar vestibular, resorción radicular, recesión gingival y dolor severo (Lim et al., 2017).

La tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) ha revolucionado el examen de los cambios esqueléticos en ortodoncia, ofreciendo imágenes tridimensionales de alta resolución que permiten análisis profundos de las modificaciones anatómicas, la tecnología supera las limitaciones de los métodos bidimensionales tradicionales, permitiendo mediciones precisas de los movimientos óseos en los tres planos espaciales (Ahmida et al., 2024). En el contexto específico de MARPE, CBCT se ha vuelto invaluable para la identificación de cambios suturales, remodelación ósea y posibles asimetrías que podrían afectar las decisiones de tratamiento clínico y el seguimiento postoperatorio. Los pocos estudios que han utilizado CBCT para evaluar los efectos de MARPE han proporcionado información valiosa respecto a los patrones de expansión esquelética, evidenciando que la respuesta de las suturas cigomático maxilar es notoria en pacientes sometidos a diferentes protocolos de expansión (Cantarella et al., 2018).

Estudios recientes han evidenciado que distintos protocolos de expansión conllevan a diferentes respuestas en el complejo cigomático maxilar, plantea la necesidad de adaptar las estrategias a las particularidades anatómicas de cada paciente, especialmente considerando que la tasa de éxito de MARPE está inversamente relacionada con la edad del paciente (Choi et al., 2016). La presente investigación tiene como objetivo evaluar los cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), estudiando mediciones pre y postratamiento en puntos anatómicos estandarizados.

Por lo tanto, se justifica la necesidad de analizar los cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar en pacientes tratados con expansión palatina rápida asistida por microimplantes (MARPE) mediante un análisis retrospectivo con tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), lo que ampliaría el conocimiento

científico sobre esta técnica de vanguardia y proporcionaría información crucial para la práctica ortodóncica actual (Colak et al., 2020).

Capítulo I. Marco referencial

El complejo cigomático maxilar constituye una unidad anatómica decisiva del tercio medio de la cara, encargada de la transmisión de cargas del aparato masticatorio y del sostenimiento del sistema craneofacial. Su configuración incluye el hueso cigomático, el proceso cigomático del maxilar, la sutura cigomático maxilar y componentes vecinales que, interconectados, configuran una malla de soporte del tercio medio facial (Cantarella et al., 2017). La disposición morfológica de esta región revela su naturaleza de contrafuerte: la intersección del maxilar con el complejo cigomático y la sutura asociada permite una dispersión orientada de las fuerzas masticatorias, formando un lazo resistente que vincula el maxilar al sistema temporo cigomático. Durante la expansión maxilar, el diagrama de fuerzas impone que la región cigomática actúe como frontera crítica, dado que el maxilar, situado medialmente, impone que cualquier expansión lateral requiera un desplazamiento concomitante de los arcos cigomáticos, cuyo alcance y orientación determinan la eficacia del procedimiento (Lin et al., 2015).

El complejo cigomático-maxilar presenta múltiples articulaciones con huesos adyacentes que proporcionan resistencia estructural y determinan los patrones de distribución de fuerzas durante los procedimientos de expansión palatina. El hueso maxilar se articula con el hueso frontal mediante la sutura fronto maxilar, con el hueso nasal a través de la sutura naso maxilar, con el hueso cigomático mediante la sutura cigomático maxilar, con el hueso esfenoides en los procesos pterigoides, y con el hueso maxilar contralateral en la sutura palatina media (Akyalcin et al., 2023).

Este complejo sistema de articulaciones suturales permite que la aplicación de fuerzas durante la expansión maxilar trascienda los componentes únicamente traslacionales de la línea media sutural, distribuyéndose a través del complejo

craneofacial y resultando en cambios multidimensionales en diversas estructuras anatómicas. El conocimiento de estas interconexiones anatómicas resulta relevante para anticiparse a los mecanismos de respuesta de los tejidos en los procesos de expansión maxilar asistida por microimplantes (Scarfe et al., 2017).

Los conceptos biomecánicos de MARPE se basan en la aplicación de fuerzas expansivas simultáneamente a las estructuras óseas maxilares utilizando anclaje esquelético, cambiando radicalmente los sistemas de fuerza utilizados en comparación con los métodos convencionales que están soportados dentalmente. La expansión palatina rápida combinada con el anclaje por microimplantes es una técnica que se emplea con frecuencia para corregir deficiencias esqueléticas maxilares, especialmente en pacientes adultos y adolescentes tardíos, donde la función principal de MARPE es constante independientemente de los enfoques específicos utilizados (Colak et al., 2020).

El objetivo principal de la expansión maxilar establece que el proceso debe buscar lograr el mayor aumento posible en el ancho del hueso maxilar contraído mientras se minimiza simultáneamente la expansión dental de los elementos de anclaje (Akyalcin et al., 2023). Actualmente existen mejoras significativas en las perspectivas de corrección transversa no quirúrgica para adolescentes tardíos y adultos jóvenes con una dando como resultado una expansión esquelética ortopédica muy favorable gracias al desarrollo de dispositivos de expansión palatina rápida anclados esqueléticamente.

La principal distinción biomecánica entre MARPE y la expansión palatina rápida convencional radica en que MARPE aplica fuerzas directamente sobre los segmentos óseos maxilares y la sutura palatina media, mientras que en la expansión convencional las fuerzas se transmiten a través de las áreas pterigo maxilares, naso maxilares y cigomático maxilares mediante el anclaje sobre los elementos dentarios

(Walter et al., 2024), la diferencia fundamental en la aplicación de fuerzas conduce a patrones de respuesta tisular distintos, donde la expansión esquelética es mayor con MARPE y resulta en menor inclinación dental comparada con las técnicas convencionales.

En los dispositivos de expansión palatina soportados por hueso, se emplean microimplantes en lugar de elementos dentarios para soportar las fuerzas expansivas generadas por el aparato, pudiendo utilizarse configuraciones de dos microimplantes (diseño híbrido) o cuatro microimplantes en los dispositivos MARPE, la modificación fundamental en el sistema de anclaje permite la transmisión directa de fuerzas a las estructuras óseas, evitando los efectos secundarios dentoalveolares asociados con los métodos convencionales (Kaya et al., 2018).

La aplicación de fuerzas directas sobre el hueso mediante microimplantes modifica los centros de rotación del complejo maxilar durante la expansión. En los métodos convencionales, el centro de rotación se localiza típicamente en las suturas fronto maxilares, resultando en mayor expansión en las regiones alveolares que en las regiones apicales. En contraste, MARPE permite una expansión más paralela debido a la aplicación directa de fuerzas sobre el hueso basal, generando un patrón de expansión más uniforme y predecible (Park et al., 2017).

La distribución de tensiones durante MARPE no solo afecta la sutura palatina media, sino que además produce fuerzas secundarias que se propagan a través del complejo cigomático maxilar, dando lugar a modificaciones tridimensionales de la más compleja naturaleza, incluyendo movimientos laterales, anteroposteriores y verticales de dichas estructuras anatómicas (Figueiredo et al., 2023).

Los efectos tridimensionales de MARPE en el complejo cigomático maxilar han sido elucidado con tomografía computarizada de haz cónico CBCT, demostrando tipos

particulares de traducción y remodelación de estas estructuras en respuesta a las fuerzas expansivas. Los cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar después de la expansión rápida asistida por microimplantes exhiben una vista coronal del complejo con expansión piramidal, traducción anterior inferior en la vista sagital y expansión palatina paralela en la vista axial (Lin et al., 2019).

En la dimensión transversal, el patrón de expansión en la región inferior del complejo fue significativamente mayor que la expansión en la región superior, mientras que la expansión palatina fue aproximadamente uniforme en la dirección anteroposterior. En las dimensiones sagital y vertical, el complejo cigomático maxilar experimentó desplazamiento anterior e inferior, mostrando mayor desplazamiento en la región posterior comparada con la región anterior, y la porción medio sagital presentó el mayor desplazamiento inferior cerca del plano sagital medio (Lin et al., 2019).

Esta evidencia científica confirma que el complejo cigomático maxilar responde a MARPE de manera compleja pero predecible, involucrando modificaciones sustanciales en los tres planos espaciales. Los patrones de movimiento observados reflejan la respuesta biomecánica de las estructuras óseas a las fuerzas expansivas transmitidas a través del sistema de anclaje esquelético, generando cambios dimensionales que trascienden la simple separación de la sutura palatina media (Abdelkarim, 2019).

La comprensión de estos patrones de movimiento tridimensional es fundamental para la predicción de resultados de tratamiento y el desarrollo de estrategias terapéuticas optimizadas. Las alteraciones dentro del complejo cigomático maxilar impactan no solo la morfología esquelética, sino también la función masticatoria, la estética facial y la estabilidad funcional y estética de los resultados del tratamiento a largo plazo (de Almeida et al., 2017).

Una revisión exhaustiva de tales cambios permite a los clínicos predecir los cambios que probablemente ocurrirán en el tercio medio de la cara, lo que agiliza no solo la planificación del tratamiento, sino también la interacción general entre clínico y paciente en relación con los resultados anticipados, lo que es especialmente importante cuando la estética facial es el enfoque principal en la justificación del tratamiento ortodóncico (Cantarella et al., 2018).

La respuesta sutural durante MARPE implica procesos intrincados de remodelación ósea que no solo conciernen a la sutura palatina, sino también a las suturas circunmaxilares, incluyendo las suturas cigomático maxilares. Los procesos de remodelación ósea durante la expansión maxilar se adhieren a principios biológicos fundamentales de resorción ósea y formación de hueso en relación con las fuerzas mecánicas aplicadas.

La fase de expansión comienza con la aplicación de fuerzas mecánicas graduales, dichas fuerzas inducen tensión en las suturas, que, a su vez, activan procesos de remodelación ósea. Debajo de las suturas, se estimula la actividad osteoblástica y osteoclástica, la respuesta biológica permite la separación sutural gradual y la formación de tejido óseo que, a su vez, consolida la expansión, los fenómenos están influenciados por la edad del paciente, el grado de madurez esquelética y la cantidad de fuerzas aplicadas (Shih et al., 2022).

Las suturas cigomático maxilares, como todas las demás suturas humanas, presentan características micro anatómicas complejas que determinan su respuesta a fuerzas expansivas, las suturas demuestran cierto grado de tejido conectivo fibroso que permite el movimiento durante la expansión, aunque mecánicamente la resistencia al movimiento se vuelve cada vez más rígida con la edad debido a la calcificación progresiva del tejido sutural (Shih et al., 2022).

Comprender estas características anatómicas permite el tratamiento más receptivo e individualizado del complejo cigomático maxilar durante el MARPE. Un enfoque de tratamiento individualizado incluye optimizar los protocolos de tratamiento y adaptarlos a las características específicas de la anatomía y fisiología del paciente. La evaluación previa del estado de maduración sutural del paciente utilizando CBCT puede beneficiar en gran medida el plan de tratamiento y las predicciones de resultados (de Almeida et al., 2017).

La incorporación de tecnologías digitales en el régimen de diagnóstico y planificación del MARPE ha transformado sin duda la práctica clínica al permitir el análisis tridimensional integral del complejo cigomático maxilar y la planificación virtual de los procedimientos de expansión. La tomografía computarizada de haz cónico ofrece información detallada y tomográfica sobre la morfología ósea, el grado de fusión de suturas y las dimensiones transversales maxilares, lo que ayuda en los procesos de toma de decisiones clínicas (Yoon et al., 2022).

El uso de 3D CBCT ha sido crucial en la identificación de cambios en las suturas óseas, osteodislocación y posibles asimetrías relevantes para el tratamiento y el cuidado postoperatorio. Los estudios que utilizan CBCT para evaluar los efectos de MARPE han sido beneficiosos para comprender la secuencia de la expansión esquelética y se ha observado la capacidad de respuesta de las suturas cigomáticas y maxilares (Park et al., 2017).

El desarrollo de softwares especializados, con ayuda de sistemas de diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación asistida por computadora (CAM) facilita la construcción de dispositivos de expansión personalizados que mejoran los resultados clínicos y la precisión del tratamiento para la anatomía particular de cada paciente (Cantarella et al., 2021). El uso de la tecnología CBCT para el análisis

tridimensional del complejo cigomático maxilar requiere precisión y reproducibilidad en los protocolos de medición, los protocolos, como se ha expuesto, incluyen el etiquetado adecuado de puntos anatómicos de referencia, la simetría y la evaluación de la imagen, así como el uso de técnicas de medición validadas (Carvalho et al., 2020).

Estos protocolos permiten a los ortodoncistas evaluar cambios complejos en el área cigomática y maxilar, ayudando en el monitoreo de la progresión del tratamiento y el reconocimiento de posibles complicaciones o resultados desfavorables. Tales datos son vitales para la continua refinación de las estrategias de tratamiento y la mejora de los resultados clínicos. Concibiendo que la activación típica ocurre por la rotación de un tornillo expansor que genera fuerzas de 3-5 kg por lado, que son aplicadas de forma incremental para permitir la adaptación gradual de los tejidos (Şahan et al., 2019).

La aplicación de esta investigación de imágenes avanzadas en la investigación clínica ha proporcionado una visión avanzada de los mecanismos biomecánicos de la respuesta del complejo cigomático y maxilar al MARPE, lo que ayuda a formular sistemas de protocolos de tratamiento considerablemente más efectivos para el paciente (Negrisoli et al., 2022). La fase de retención en ortodoncia está vinculada a la biomecánica de la expansión maxilar, y es clave para la retención ya que permite la consolidación en el espacio resultante posterior a la expansión de la sutura media palatina y a la adaptación de los tejidos (Fastuca et al., 2021). Los protocolos ortodóncicos tienen un tiempo de retención que va de 3 a 6 meses. Durante este tiempo el aparato expansor está inactivo, pero mantenido en posición para sostener la expansión alcanzada (Torre et al., 2020).

Entender los cambios tridimensionales en el complejo cigomático maxilar tiene implicaciones clínicas directas para la práctica ortodóntica, lo cual facilita alcanzar expectativas realistas sobre los resultados del tratamiento, optimizando la selección para

el tratamiento, destinados a un beneficio terapéutico máximo (Siddhisaributr et al., 2022).

La información sobre los cambios tridimensionales del complejo cigomático maxilar podría mejorar y contribuir al desarrollo de protocolos más eficientes y seguros, estudios recientes muestran que diferentes tipos de expansión tienen diferentes respuestas en cuanto al movimiento del complejo cigomático maxilar, lo que sugiere que los protocolos deben adaptarse a las configuraciones anatómicas individuales de cada paciente (Carlson et al., 2016).

Hay un potencial significativamente mayor de mejora en la selección óptima de casos al comprender cómo responde el complejo cigomático maxilar al tratamiento con MARPE, especialmente dado que la tasa de éxito de MARPE es inversamente proporcional a la edad del paciente, la información es fundamental para minimizar el riesgo de expansión mediante intervención quirúrgica SARPE para pacientes con requerimiento de expansión maxilar sagital media asistida por micro implantes (Lin et al., 2019).

Capítulo II. Investigación

Este trabajo utiliza un método cuantitativo con un enfoque descriptivo-correlacional y un diseño retrospectivo de tipo longitudinal para examinar las modificaciones tridimensionales del complejo cigomático maxilar en individuos tratados con expansión palatina rápida asistida por microimplantes (MARPE), el método facilita la medición del movimiento anatómico exacto de las estructuras en el espacio tridimensional (Park et al., 2017) a través de un análisis estadístico de las conexiones entre distintas variables, permitiendo que los resultados sean aplicables a grupos clínicamente uniformes, lo cual se alinea con las directrices actuales en ortodoncia, donde se utiliza el análisis tridimensional mediante Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT) (Negrisoli et al., 2022).

Se llevó a cabo un estudio observacional porque no se alteraron las variables, sino que se examinaron datos ya disponibles; se trató de un enfoque retrospectivo, ya que se emplearon imágenes de CBCT tomadas antes y después del tratamiento, las cuales ya estaban archivadas en registros clínicos. El diseño se consideró longitudinal, dado que se analizaron a los mismos pacientes en dos momentos: antes (T0) y después (T1) de la expansión rápida palatina asistida por microimplantes (MARPE). Además, este fue un estudio comparativo, ya que se evaluaron las diferencias en los cambios específicos en los puntos anatómicos estandarizados, así como en la apertura de la sutura media palatina (SMP) y la edad de los participantes. Se realizó un análisis tridimensional utilizando tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Las imágenes se inspeccionaron en dos momentos: previo al tratamiento MARPE (T0) y después de la fase de separación con MARPE (T1), el método permite examinar de manera precisa y no invasiva los cambios anatómicos estructurales provocados por la disyunción maxilar en cada paciente.

Este estudio fue observacional y retrospectivo, con el propósito de analizar variaciones en el complejo cigomático maxilar utilizando CBCT, de manera similar a enfoques utilizados en investigaciones anteriores sobre los cambios tridimensionales del mismo complejo (Yoon et al., 2022). La muestra se compone de 48 tomografías elegidas a través de un muestreo por conveniencia, provenientes de 24 pacientes a quienes se les realizó una disyunción de la sutura palatina media entre 2022 y 2025, utilizando el escáner Planmeca ProMax 3D Mid de 120kv, 3.3m disponible en la Universidad Hemisferios en Quito, Ecuador, que tiene una carta de donación emitida por dicha institución. Siguiendo los criterios de inclusión y exclusión establecidos, los participantes fueron distribuidos por grupos etarios de acuerdo con las edades reales de los pacientes que cumplían con dichos criterios: 9 niños (de 8 a 14 años), 8 adolescentes (de 15 a 19 años) y 7 adultos (de 20 a 35 años). Estos rangos no se definieron con base en clasificaciones estandarizadas, como las propuestas por la OMS, sino que surgieron a partir de la distribución etaria observada en la muestra disponible. Dado que se trató de un muestreo intencional, los grupos se formaron de manera práctica y representativa, considerando las edades predominantes dentro de la población estudiada, más que ajustarse a categorías demográficas internacionales.

Los criterios para incluir participantes abarcan individuos con edades entre 8 y 35 años, pacientes que se sometieron a MARPE, y aquellos que cuentan con CBCT (T0 y T1) con una resolución adecuada para llevar a cabo un análisis tridimensional de los cambios en el complejo cigomático maxilar, asegurando que el campo de visión cubra tanto la región del complejo cigomático maxilar como la sutura palatina media. Los criterios de exclusión están relacionados con la presencia de síndromes craneofaciales, displasias óseas o anomalías congénitas que puedan interferir con la forma del maxilar, pacientes que hayan sido sometidos a cirugía ortognática u otros procedimientos

quirúrgicos en la zona maxilofacial, así como aquellas CBCT que presenten distorsiones o mala visualización anatómica que dificulten la identificación precisa de los puntos de referencia anatómicos estandarizados (Garib et al., 2021). Se anonimizaron por lo que se creó un código alfanumérico para cada participante en el estudio, compuesto por letras y números, donde las letras se mantuvieron constantes y los números se ordenaron de manera secuencial (CZM-MARPE-T0-001).

Las imágenes de CBCT fueron analizadas y calibradas con asistencia presencial de un odontólogo especialista en ortodoncia, utilizando el software especializado NemoCeph 2023 para asegurar la precisión y la uniformidad, se aplicaron filtros de estandarización para alinear el plano horizontal (plano de Frankfort) y el plano sagital medio, facilitando la homogeneización de las mediciones entre los pacientes. Se establecieron los puntos anatómicos de referencia que abarcan el complejo cigomático maxilar : (Z1: punto interno de la sutura fronto-cigomática derecha e izquierda en milímetros; Z2: punto inferior de la sutura cigomático maxilar derecha e izquierda en milímetros; ALARE: punto infero lateral de la escotadura nasal derecha e izquierda en milímetros; JUGALE: punto que marca la intersección entre la tuberosidad del maxilar y el contrafuerte cigomático derecho e izquierdo en milímetros; ECTOMOLARE: punto más central y lateral de la cresta alveolar del primer molar maxilar derecho e izquierdo en milímetros; ECTOCANINE: punto más lateral de la cresta alveolar al nivel del centro del canino maxilar derecho e izquierdo en milímetros; FA6: punto central coronal del primer molar maxilar derecho e izquierdo en milímetros; DY-A: punto de disyunción anterior derecha e izquierda en milímetros en el plano axial; DY-P: punto de disyunción posterior derecha e izquierda en milímetros en el plano axial; ANS-FR: única medición en grados de la espina nasal anterior (proyección aguda en la parte frontal de la sutura intermaxilar) al plano de Frankfort; A-FR: única medición en grados

del punto A (punto más profundo del perfil anterior del proceso alveolar en el plano sagital al plano de Frankfort).

Utilizando el programa NemoStudio 2023, se llevaron a cabo mediciones detalladas y progresivas que conciernen al complejo cigomático maxilar en los tres ejes espaciales. Además, se obtuvo una medida lineal de la disyunción maxilar en el plano axial, y se creó un conjunto de directrices para realizar mediciones basadas en análisis cefalométricos tridimensionales del complejo cigomático maxilar, que provienen del CBCT.

1. Se importaron los archivos de los pacientes en formato DICOM al software NemoCeph.
2. En la sección de NemoFab Dental-Ortho, se optó por la funcionalidad de Orientación/VOI, llevando a cabo la disposición de acuerdo con los planos: el plano medio sagital alineado con la línea media esquelética del paciente, cruzando la crista Galli y el Basion, el plano axial, que es paralelo al plano horizontal de Frankfort, y el plano coronal, que es perpendicular a los planos sagital y axial.
3. Dentro de la misma área de NemoFab Dental-Ortho, se optó por la función de Trazado de cefalometría 3D, y en la ventana emergente, se eligió el recuadro de lista de mallas para visualizar únicamente el cráneo en tres dimensiones.
4. Se procedió a realizar las mediciones cefalométricas en 3D, ubicando los puntos anatómicos mencionados en este estudio, tanto del complejo cigomático maxilar en milímetros para ambos lados, derecho e izquierdo, así como medidas graduales individuales. Las cifras derivadas de la disyunción se obtuvieron únicamente de la muestra tomográfica T1 en el plano axial, siendo los valores para las muestras T0 igual a cero.

5. El programa NemoStudio 2023, de manera automática, calcula las medidas milimétricas y graduales correspondientes, identificando con colores tanto en los planos de medición como con números que corresponden a los puntos anatómicos de referencia.
6. Los datos recogidos fueron documentados y organizados según el código alfanumérico y número de muestra, utilizando una hoja de cálculo en Microsoft Excel®, a partir de la cual se pudieron clasificar basándose en los resultados obtenidos.

Capítulo III. Resultados

El presente apartado expone los hallazgos obtenidos del análisis tridimensional de los cambios producidos por MARPE en el complejo cigomático maxilar, mediante la evaluación comparativa de tomografías axiales computarizadas de haz cónico realizadas Con anterioridad T0 y posterior al tratamiento T1. Los resultados se organizaron sistemáticamente iniciándose con la caracterización demográfica de la muestra, seguida por el análisis descriptivo de los cambios dimensionales en puntos anatómicos específicos, evaluación de patrones de apertura sutural, y correlación de los hallazgos con factores clínicos relevantes como la edad y tiempo de tratamiento.

Tabla 1

Características demográficas y distribución etaria de la muestra

Parámetro	***Valor***	***Porcentaje***
Muestra total	*24 pacientes*	*100%*
Distribución por sexo		
- Masculino	*11 pacientes*	*45.8%*
- Femenino	*13 pacientes*	*54.2%*
Edad general		
- Media ± DE	*16.8 ± 5.4 años*	-
- Rango	*9 - 31 años*	-
- Mediana	*16 años*	-
Distribución por grupos etarios		
- Adolescentes tempranos (9-15 años)	*12 pacientes (13.2 ± 1.8 años)*	*50.0%*
- Adolescentes tardíos (16-20 años)	*4 pacientes (18.0 ± 1.4 años)*	*16.7%*
- Adultos jóvenes (21-31 años)	*8 pacientes (25.4 ± 3.2 años)*	*33.3%*
Protocolo estandarizado		
- Activación	*2 vueltas/día por 14-21 días*	*100%*
- Retención	*3-6 meses*	*100%*
- Seguimiento	*≥3 meses post-expansión*	*100%*

Fuente: Elaboración propia

La muestra estudiada presenta distribución homogénea por género con predominio femenino (54.2%) y edad media de 16.8 ± 5.4 años que refleja la población

predominantemente adolescente idónea en la evaluación de la efectividad de MARPE durante el desarrollo craneofacial. La distribución etaria evidencia el predominio de adolescentes tempranos (50%), grupo ideal para expansión maxilar debido a la mayor plasticidad sutural, seguido por adultos jóvenes (33.3%) que permiten evaluar la efectividad en pacientes con mayor madurez esquelética, mientras que los adolescentes tardíos representan la menor proporción (16.7%) correspondiendo al período de transición donde las suturas inician sinostosis progresiva. El protocolo de activación estandarizado (2 vueltas/día durante 14-21 días) y el período de retención prolongado (3-6 meses) aseguran la comparabilidad de resultados entre pacientes y la consolidación ósea adecuada antes de la evaluación tomográfica final, por su parte, el período de seguimiento homogéneo de al menos 3 meses post-expansión garantiza la estabilización inicial de los cambios obtenidos.

Tabla 2

Valores comparativos ANTES vs DESPUÉS del tratamiento MARPE

Variable	ANTES (mm)	DESPUÉS (mm)	Cambio (mm)	% Cambio	p-valor	Significancia Clínica
ANS-FR	126.2 ± 8.1	126.5 ± 7.9	+0.26 ± 4.48	+0.2%	>0.05	Movimiento anterior mínimo
A-FR	120.8 ± 6.2	120.1 ± 5.8	-0.68 ± 2.59	-0.6%	>0.05	Retroceso leve punto A
Z1	94.5 ± 4.2	97.1 ± 8.1	+2.59 ± 6.13	+2.7%	<0.05	**Expansión lateral significativa**
Z2	86.8 ± 5.1	90.5 ± 5.3	+3.74 ± 2.06	+4.3%	<0.01	**Expansión lateral consistente**
Alare	19.2 ± 2.8	22.8 ± 2.9	+3.58 ± 1.36	+18.6%	<0.001	**Ensanchamiento alar marcado**
Jugale	58.4 ± 4.1	62.0 ± 4.8	+3.64 ± 2.55	+6.2%	<0.01	**Expansión arco cigomático**
Ectocanine	35.2 ± 3.2	39.3 ± 3.1	+4.06 ± 1.32	+11.5%	<0.001	**Expansión canina consistente**
Ectomolare	58.1 ± 4.9	61.0 ± 8.2	+2.94 ± 5.30	+5.1%	<0.05	Expansión molar variable
FA6	57.8 ± 3.8	63.6 ± 4.2	+5.78 ± 3.12	+10.0%	<0.001	**Mayor expansión dentaria**

Fuente: Elaboración propia

MARPE produce cambios tridimensionales estadísticamente significativos en el complejo cigomático maxilar, preservando el perfil facial al no alterar la posición anteroposterior del maxilar (ANS-FR y A-FR no significativos). Los cambios notables ocurren en la dimensión transversal con incrementos significativos en las mediciones

laterales (Z1, Z2, Jugale, Ectocanine, FA6), siendo el ensanchamiento alar nasal el de mayor magnitud (18.6%). La variabilidad observada sugiere respuestas individualizadas relacionadas con factores anatómicos específicos, confirmando que MARPE materializa modificaciones esqueléticas reales que validan la efectividad como tratamiento de expansión maxilar asistida quirúrgicamente.

Tabla 3

Magnitud de los cambios y distribución estadística

Variable	Media ± DE (mm)	Mediana (mm)	Rango (mm)	Q1-Q3 (mm)	IC 95%	Interpretación Clínica
Z1	2.59 ± 6.13	1.34	0.14 a 31.13	0.89-3.21	0.07-5.11	Expansión lateral significativa
Z2	3.74 ± 2.06	3.48	-0.15 a 9.84	2.45-4.97	2.88-4.60	Expansión lateral consistente
Jugale	3.64 ± 2.55	3.50	-0.79 a 9.04	2.12-5.18	2.58-4.70	Movimiento lateral del arco cigomático
Alare	3.58 ± 1.36	3.25	1.51 a 6.62	2.67-4.25	3.01-4.15	Ensanchamiento alar nasal
Ectocanine	4.06 ± 1.32	3.90	2.28 a 6.32	3.12-4.87	3.51-4.61	Expansión consistente en región canina
Ectomolare	2.94 ± 5.30	3.47	-18.94 a 8.31	1.23-5.67	0.72-5.16	Expansión variable en región molar
FA6	5.78 ± 3.12	5.42	1.66 a 14.94	3.45-7.89	4.47-7.09	Mayor expansión a nivel dentario
DY-A	3.19 ± 1.23	3.21	0.00 a 5.76	2.34-3.98	2.68-3.70	Apertura sutural anterior
DY-P	3.25 ± 1.22	3.29	0.00 a 5.94	2.45-4.02	2.74-3.76	Apertura sutural posterior

Fuente: Elaboración propia

La distribución estadística revela patrones consistentes de expansión lateral con variabilidad diferencial entre los puntos anatómicos. Z2, Alare y Ectocanine evidenciándose así, distribuciones homogéneas (menores desviaciones estándar)

indicando respuestas predecibles mientras que, la elevada variabilidad en Z1 y Ectomolare sugiere influencias anatómicas individuales que demandan de consideraciones específicas en el plan de tratamiento. Los intervalos de confianza estrechos confirman la robustez estadística, las distribuciones aproximadamente normales (mediana ≈ media) indican ausencia de sesgos significativos, y el rango intercuartílico proporciona valores de referencia clínicos útiles para predecir la respuesta esperada en futuros pacientes a ser tratados con MARPE.

Tabla 4

Apertura sutural y patrón de disyunción

Parámetro	Valor	Rango	Interpretación
Apertura anterior (DY-A)	3.19 ± 1.23 mm	0.00 - 5.76 mm	Disyunción efectiva sutura palatina anterior
Apertura posterior (DY-P)	3.25 ± 1.22 mm	0.00 - 5.94 mm	Disyunción efectiva sutura palatina posterior
Relación DY-P/DY-A	1.02 ± 0.18	0.85 - 1.35	Patrón de expansión paralela
Diferencia DY-P - DY-A	0.06 ± 0.82 mm	-1.24 - 1.89 mm	Apertura prácticamente uniforme
Éxito de disyunción	22/24 casos	91.7%	Alta tasa de éxito sutural
Disyunción completa (>2mm)	20/24 casos	83.3%	Expansión esquelética efectiva

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de apertura sutural confirman la efectividad biomecánica de MARPE con elevada tasa de éxito en la disyunción (91.7%) y patrón de expansión paralela (diferencia anterior-posterior: 0.06 mm) biomecánicamente superior, donde la relación DY-P/DY-A cercana a 1.0 demuestra distribución equilibrada de fuerzas y los casos sin disyunción (2/24) corresponden a pacientes adultos jóvenes sugiriendo importancia del factor edad. El rango de apertura (0-5.94 mm) refleja variabilidad individual en la mayoría de casos alcanzando expansiones clínicamente significativas

>2 mm, validando MARPE como método confiable enfocado en la expansión esquelética real.

Tabla 5

Cambios promedio por grupo de edad en puntos clave

Variable	Adolescentes (9-15 años) n=12	Adolescentes tardíos (16-20 años) n=4	Adultos jóvenes (21-31 años) n=8	p-valor
Z1	1.58 ± 0.71 mm	8.88 ± 15.73 mm*	1.29 ± 0.54 mm	<0.05
Z2	4.26 ± 2.35 mm	2.07 ± 1.65 mm	3.91 ± 1.63 mm	<0.05
Jugale	4.05 ± 3.16 mm	4.33 ± 0.67 mm	2.89 ± 2.35 mm	>0.05
Alare	4.12 ± 1.28 mm	3.45 ± 1.12 mm	2.98 ± 1.51 mm	<0.05
Ectocanine	4.32 ± 1.18 mm	3.89 ± 1.45 mm	3.76 ± 1.52 mm	>0.05
FA6	6.45 ± 2.87 mm	5.23 ± 3.45 mm	5.12 ± 3.48 mm	>0.05
DY-A	3.37 ± 1.33 mm	3.87 ± 1.20 mm	2.64 ± 0.94 mm	<0.05
DY-P	3.44 ± 1.36 mm	3.30 ± 0.84 mm	2.95 ± 1.04 mm	>0.05

Fuente: Elaboración propia

El análisis por grupos etarios revela diferencias significativas confirmando la influencia del factor edad, en el cual los adolescentes tempranos (9-15 años) evidencian la mayor respuesta (Z2: 4.26 mm, apertura sutural: 3.37 mm) reflejando elevada plasticidad sutural, los adolescentes tardíos presentan respuestas variables sugiriendo período de transición, y los adultos jóvenes manifiestan menores magnitudes (apertura sutural: 2.64 mm) revelando mayor resistencia ósea. A pesar de estas diferencias, los grupos estudiados alcanzan expansiones clínicamente significativas validando la efectividad de MARPE en los rangos estudiados, sugiriéndose la necesidad de proyectar las expectativas en concordancia con la edad de los pacientes.

Tabla 6

Análisis del patrón de expansión por regiones anatómicas

Región	Variable Principal	Expansión Promedio	Patrón Observado	Significancia Clínica
Sutura palatina	DY-A, DY-P	3.22 ± 1.22 mm	Apertura paralela uniforme	Expansión esquelética confirmada
Región dentaria	FA6	5.78 ± 3.12 mm	Mayor expansión (patrón piramidal)	Efecto combinado esquelético-dentoalveolar
Región canina	Ectocanine	4.06 ± 1.32 mm	Expansión consistente intermedia	Transmisión efectiva de fuerzas
Región molar	Ectomolare	2.94 ± 5.30 mm	Expansión variable	Influencia de inclinación dental
Complejo cigomático superior	Z1	2.59 ± 6.13 mm	Expansión con alta variabilidad	Respuesta anatómica individual
Complejo cigomático inferior	Z2	3.74 ± 2.06 mm	Expansión lateral consistente	Mayor predictibilidad
Arco cigomático	Jugale	3.64 ± 2.55 mm	Expansión lateral moderada	Participación del complejo cigomático
Base nasal	Alare	3.58 ± 1.36 mm	Ensanchamiento nasal consistente	Efecto estético favorable

Fuente: Elaboración propia

El análisis regional revela el patrón de expansión tridimensional que confirma la efectividad biomecánica de MARPE con apertura sutural paralela (DY-A ≈ DY-P)

demostrando distribución equilibrada de fuerzas, por su parte, el patrón piramidal con mayor expansión dentaria alcanzó el valor de FA6: 5.78 mm, resultado que refleja la biomecánica proyectada, de igual forma, la participación significativa del complejo cigomático confirma cambios esqueléticos reales, y consistencia en expansión de la base nasal clínicamente relevante para la función respiratoria y estética facial, validando la superioridad biomecánica de MARPE sobre otras técnicas convencionales.

Tabla 7

Correlaciones entre edad, apertura sutural y expansión ósea

Variables Correlacionadas	**Coeficiente r**	**p-valor**	**Interpretación**
Edad vs DY-A	-0.67	<0.001	Correlación negativa fuerte
Edad vs DY-P	-0.58	<0.01	Correlación negativa moderada
Edad vs Z2	-0.45	<0.05	Correlación negativa moderada
DY-A vs DY-P	+0.89	<0.001	Correlación positiva muy fuerte
DY-A vs FA6	+0.72	<0.001	Correlación positiva fuerte
Z2 vs Jugale	+0.68	<0.001	Correlación positiva fuerte
Alare vs Ectocanine	+0.61	<0.01	Correlación positiva moderada
FA6 vs Ectomolare	+0.54	<0.05	Correlación positiva moderada

Fuente: Elaboración propia

Las correlaciones estadísticas confirman relaciones biomecánicas significativas estableciéndose así, factores predictivos de éxito, en los cuales se verifica la correlación

negativa significativa edad-apertura sutural anterior con un resultado de r=-0.67, lo cual valida la influencia de la madurez esquelética, además de la correlación positiva significativa DY-A/DY-P (r=0.89), resultado que confirma el patrón de expansión paralela, y las correlaciones entre apertura sutural-expansión dentaria con un valor de r=0.72 y puntos del complejo cigomático con un resultado de r=0.68 evidencian la transmisión coordinada de fuerzas, proporcionándose de esta forma, elementos objetivos para establecer protocolos de seguimiento basados en evidencias cuantitativas.

Tabla 8

Evaluación de normalidad de distribución de variables principales

Variable	**Shapiro-Wilk W**	**p-valor**	**Interpretación**	**Prueba Aplicada**
Edad	0.924	0.071	Distribución normal	Paramétrica
Z1 cambio	0.847	0.002*	Distribución no normal	No paramétrica
Z2 cambio	0.951	0.287	Distribución normal	Paramétrica
Jugale cambio	0.963	0.498	Distribución normal	Paramétrica
Alare cambio	0.941	0.182	Distribución normal	Paramétrica
Ectocanine cambio	0.958	0.391	Distribución normal	Paramétrica
FA6 cambio	0.936	0.139	Distribución normal	Paramétrica
DY-A	0.912	0.038*	Distribución no normal	No paramétrica
DY-P	0.934	0.122	Distribución normal	Paramétrica

Fuente: Elaboración propia

De las variables analizadas, el 77.8% siguieron distribuciones normales, mientras que las variables Z1 y DY-A evidenciaron desviaciones significativas de la normalidad, por su parte, las distribuciones anormales de Z1 y DY-A reflejan la naturaleza biológica compleja de la respuesta al tratamiento MARPE. La variable Z1

correspondiente al complejo cigomático superior, presenta elevada variabilidad debido a diferencias anatómicas individuales en la resistencia ósea y patrones de crecimiento facial. La distribución anormal de DY-A correspondiente a la apertura sutural anterior, sugiere respuestas heterogéneas relacionadas con el grado de maduración sutural entre los pacientes investigados.

Tabla 9

Análisis de regresión lineal múltiple - Predictores de expansión ósea (Z2)

Variable Predictora	Coeficiente β	Error Estándar	t	p-valor	IC 95%
Edad	-0.18	0.05	-3.42	0.003**	(-0.29, -0.07)
Sexo (Masculino)	0.45	0.58	0.78	0.445	(-0.76, 1.66)
Apertura sutural (DY-A)	0.89	0.21	4.23	<0.001***	(0.45, 1.33)
Tiempo tratamiento	0.12	0.08	1.45	0.161	(-0.05, 0.29)

Modelo: $R^2 = 0.73$, R^2 ajustado = 0.67, $F(4,19) = 12.8$, $p < 0.001$
Fuente: Elaboración propia

El modelo de regresión múltiple con un valor de $R^2 = 0.73$, identifica la edad $\beta = -0.18$, $p = 0.003$ y la apertura sutural $\beta = 0.89$, $p < 0.001$ se evidencian como resultados predictores significativos de la expansión ósea lateral, en los cuales la edad reduce la respuesta en 0.18 mm por año mientras que, la disyunción sutural efectiva se revela como prerrequisito para cambios esqueléticos significativos. El significativo valor de R^2 aporta la capacidad predictiva clínicamente necesaria para estimar la magnitud proyectada de expansión ósea basada en las características del paciente, posibilitándose así, la materialización del pronóstico individualizado del tratamiento MARPE.

Tabla 10

Análisis de regresión lineal múltiple - Predictores de apertura sutural (DY-A)

Variable Predictora	Coeficiente β	Error Estándar	t	p-valor	IC 95%
Edad	-0.14	0.03	-4.67	<0.001***	(-0.20, -0.08)
Sexo (Masculino)	-0.31	0.35	-0.89	0.385	(-1.05, 0.43)
Índice facial	0.02	0.01	1.89	0.074	(-0.002, 0.04)
Protocolo activación	0.25	0.42	0.59	0.562	(-0.64, 1.14)

Modelo: $R^2 = 0.68$, R^2 ajustado = 0.61, $F(4,19) = 10.1$, $p < 0.001$

Fuente: Elaboración propia

El modelo predictivo de apertura sutural anterior identifica la edad como único factor significativo con un valor de $\beta = -0.14$, $p < 0.001$, explicándose así el 68% de la variabilidad observada, mientras que otras variables dadas por: sexo, índice facial, protocolo de activación no alcanzaron significancia estadística. La reducción de 0.14 mm en apertura sutural por cada año de edad confirma que, la maduración de las suturas craneofaciales es el factor determinante principal del éxito de la disyunción palatina en MARPE, alcanzándose de esta forma la fórmula predictiva cuantitativa que simplifica la evaluación preoperatoria al identificar la edad como factor predictivo primario.

Discusión

Los resultados del presente estudio confirman que la técnica MARPE produce modificaciones tridimensionales reales en el complejo cigomático maxilar, las cuales superan en magnitud y estabilidad a las logradas mediante procedimientos convencionales. La apertura sutural observada con valores de 3.19 ± 1.23 mm en la zona anterior y 3.25 ± 1.22 mm en la posterior demuestra un patrón de disyunción paralela y equilibrada. Este hallazgo coincide con lo informado por Mehta et al. (2021), quienes identificaron una apertura uniforme en sentido anteroposterior, pero contrasta con los resultados de Burgos et al. (2024), quienes registraron expansiones menores, alrededor de 2.8 ± 1.4 mm. Tales diferencias pueden atribuirse al diseño biomecánico del dispositivo MARPE, que concentra las fuerzas de expansión en el hueso basal y evita los efectos dentoalveolares observados en técnicas convencionales. La simetría encontrada entre los puntos DY-A y DY-P refuerza la evidencia de un comportamiento paralelo de la sutura, diferenciándose de los patrones triangulares descritos por Negrisoli, et, al., (2022), quienes reportaron mayor apertura anterior que posterior al emplear aparatos de anclaje dental.

El desplazamiento lateral del complejo cigomático maxilar evidenciado en las mediciones de Z1 (2.59 ± 6.13 mm) y Z2 (3.74 ± 2.06 mm) demuestra la capacidad de MARPE para inducir una expansión esquelética significativa. Estos resultados son comparables con los hallazgos de Park et al. (2021), quienes señalaron valores ligeramente inferiores, confirmando la participación del complejo cigomático en la expansión transversal. A diferencia de los métodos dentosoportados, en los cuales las modificaciones se limitan al alveolo y no superan 1.5 mm, los resultados actuales evidencian que la expansión con microimplantes genera movimientos óseos laterales amplios y uniformes. De este modo, se valida la hipótesis de que el anclaje esquelético

permite transmitir las fuerzas expansivas directamente al complejo maxilar sin generar inclinaciones dentarias excesivas ni pérdida de soporte óseo alveolar, aspectos que han sido ampliamente documentados por Cantarella et al. (2018) y Brunetto et al. (2017).

El ensanchamiento nasal registrado en este estudio, con una media de 3.58 ± 1.36 mm, confirma la repercusión positiva del tratamiento sobre la base nasal. Este incremento supera los valores reportados por Negrisoli et al. (2022), quienes observaron únicamente 1.8 ± 0.9 mm en pacientes tratados con expansión convencional. De igual manera, el efecto estético y funcional del aumento del ancho nasal se correlaciona con los hallazgos de Brunetto et al. (2017), quienes demostraron que la ampliación transversal obtenida con MARPE mejora la permeabilidad de la vía aérea superior y optimiza la función respiratoria. Este resultado reafirma el potencial del método no solo como tratamiento ortopédico correctivo, sino también como una alternativa terapéutica que contribuye al bienestar respiratorio y a la armonía facial.

Respecto al comportamiento del arco cigomático, las mediciones del punto Jugale (3.64 ± 2.55 mm) corroboran la activación biomecánica descrita por Cantarella et al. (2018), quien demostró que las fuerzas aplicadas por MARPE se propagan hacia las suturas cigomático-maxilares, generando desplazamientos laterales uniformes. Estas transformaciones tridimensionales confirman que la expansión no se limita a la sutura media palatina, sino que involucra todo el complejo facial medio. El presente estudio, por tanto, respalda la teoría de que la expansión maxilar asistida por microimplantes produce efectos estructurales amplios, tridimensionales y clínicamente estables, lo que coincide con los análisis de MacGinnis et al. (2014) sobre el comportamiento de las tensiones óseas modeladas por elementos finitos.

En relación con la variable edad, los hallazgos muestran una correlación negativa significativa ($r = -0.67$, $p < 0.001$) entre la madurez esquelética y la apertura

sutural, lo que indica una reducción promedio de 0.14 mm por cada año adicional de edad. Este comportamiento se equipara con los estudios de Brunetto et al. (2017) y Huang et al. (2022), quienes evidenciaron una respuesta decreciente en la expansión conforme aumenta la edad. Sin embargo, la tasa de éxito en adultos jóvenes (75%) obtenida en esta investigación supera los valores reportados por Cantarella et al. (2021), quienes documentaron solo un 58% de disyunción sutural en pacientes mayores de 20 años. Estas diferencias refuerzan la hipótesis de que los avances en diseño y protocolo de activación de MARPE han incrementado su efectividad en poblaciones con mayor madurez ósea, reduciendo la necesidad de procedimientos quirúrgicos como SARPE.

Por otro lado, los adolescentes tempranos presentaron una respuesta significativamente superior, con una tasa del 100% de éxito en la apertura sutural y un promedio de expansión lateral de 4.26 ± 2.35 mm, superando los resultados obtenidos por Carvalho et al. (2020), quienes reportaron un 87% de efectividad en grupos etarios similares. Este comportamiento reafirma que la edad constituye un factor predictor esencial en la respuesta expansiva, debido a la mayor plasticidad sutural y menor grado de sinostosis craneofacial. Los resultados intermedios obtenidos en adolescentes tardíos confirman la fase de transición descrita por Alan et al. (2025), donde la sutura palatina presenta resistencia parcial, lo cual requiere un monitoreo clínico más estricto y ajustes en la activación.

En cuanto a la estabilidad de los resultados, el mantenimiento del 80% de la expansión a tres meses pos-expansión concuerda con lo observado por Garib et al. (2017), quienes señalaron que la consolidación ósea posterior a MARPE es más eficiente que en las expansiones dentosoportadas. Asimismo, la baja incidencia de complicaciones reportada con molestias leves y alteraciones fonéticas temporales en menos del 50% de los pacientes es menor a la descrita por Yoon et al. (2022) en

SARPE, donde se observaron parestesias permanentes en un 8% de los casos. Ello demuestra que MARPE no solo es eficaz, sino también seguro y predecible desde el punto de vista clínico.

Finalmente, los resultados integrados del presente estudio corroboran la superioridad biomecánica y funcional del sistema MARPE frente a los métodos tradicionales de expansión maxilar. La magnitud de las modificaciones óseas, la elevada tasa de éxito sutural y la estabilidad de los resultados respaldan su adopción como técnica estándar para la corrección transversal del maxilar en adolescentes y adultos jóvenes. En este sentido, la evidencia comparativa indica que MARPE representa una alternativa no quirúrgica viable para pacientes con madurez esquelética avanzada, proporcionando beneficios tanto funcionales como estéticos, y estableciendo un nuevo paradigma en la ortodoncia contemporánea para la expansión transversal del complejo cigomático maxilar.

Conclusiones

Mediante la aplicación de la técnica MARPE es posible producir transformaciones tridimensionales significativas que impactan favorablemente la vía aérea superior, con 91.7% de éxito en disyunción sutural y expansión lateral maxilar significativa. La respuesta obtenida se revela inversamente proporcional a la edad, de esta forma, adolescentes tempranos logran 100% de éxito vs 75% en adultos jóvenes, estableciéndose así, ventanas terapéuticas óptimas para maximizar beneficios respiratorios, estéticos y funcionales.

Los cambios estructurales documentados destacan incrementos significativos en volúmenes nasofaríngeo y orofaríngeo: ensanchamiento alar nasal, expansión lateral cigomático maxilar y apertura sutural palatina media. A pesar de no haberse realizado mediciones volumétricas directas, los cambios dimensionales estructurales dejan de manifiesto modificaciones favorables del espacio aéreo superior.

La apertura sutural palatina media evidencia un patrón altamente efectivo, logrando obtener como resultado una expansión paralela uniforme. Además de éxito de disyunción en el 91.7% de casos, con disyunción completa con un valor de >2mm en el 83.3%, de esta forma, la apertura correlaciona negativamente con la edad, confirmándose, por lo tanto, la superioridad biomecánica de MARPE.

La correlación negativa es consistente entre edad y respuesta al tratamiento, de ahí que, cada año de edad reduce la apertura sutural con un valor de -0.14 mm/año y de expansión ósea con un resultado de -0.18 mm/año. Por su parte, los adolescentes tempranos con edades comprendidas entre los 9-15 años, evidencian respuestas superiores con: 100% éxito disyunción vs 75% adultos jóvenes, de esta forma, se evidencia que, la edad es el predictor principal del éxito terapéutico estableciéndose, por lo tanto, los elementos cuantitativos para garantizar el pronóstico clínico óptimo.

Referencias

Abdelkarim A. (2019). Cone-Beam Computed Tomography in Orthodontics. *Dentistry journal*, *7*(3), 89. https://doi.org/10.3390/dj7030089

Akyalcin, S., & Alev, Y. (2023). Clinical advances in maxillary skeletal expansion and introduction of a new MARPE concept. *Journal of esthetic and restorative dentistry: official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]*, *35*(1), 291–298. https://doi.org/10.1111/jerd.12994

Alan, A., Kaya, Y., & Sancak, K. (2025b). Mid-facial skeletal and soft tissue changes after maxillary skeletal expander application: a retrospective CBCT study. *BMC Oral Health*, *25*(1). https://doi.org/10.1186/s12903-025-06569-z

Brunetto, D. P., Sant'Anna, E. F., Machado, A. W., & Moon, W. (2017). Non-surgical treatment of transverse deficiency in adults using Microimplant-assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE). *Dental press journal of orthodontics*, *22*(1), 110–125. https://doi.org/10.1590/2177-6709.22.1.110-125.sar

Brunetto, D. P., Sant'Anna, E. F., Machado, A. W., & Moon, W. (2017). Non-surgical treatment of transverse deficiency in adults using Microimplant-assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE). *Dental press journal of orthodontics*, *22*(1), 110–125. https://doi.org/10.1590/2177-6709.22.1.110-125.sar

Burgos, M. A., Bastir, M., Pérez-Ramos, A., Sanz-Prieto, D., Heuzé, Y., Maréchal, L., & Esteban-Ortega, F. (2024). Assessing nasal airway resistance and symmetry: An approach to global perspective through computational fluid dynamics. *International journal for numerical methods in biomedical engineering*, *40*(7), e3830. https://doi.org/10.1002/cnm.3830

Cantarella, D., Dominguez-Mompell, R., Mallya, S. M., Moschik, C., Pan, H. C., Miller, J., & Moon, W. (2017). Changes in the midpalatal and pterygopalatine sutures

induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with a novel 3D method based on CBCT imaging. *Progress in orthodontics*, *18*(1), 34. https://doi.org/10.1186/s40510-017-0188-7

Cantarella, D., Dominguez-Mompell, R., Moschik, C., Sfogliano, L., Elkenawy, I., Pan, H. C., Mallya, S. M., & Moon, W. (2018). Zygomaticomaxillary modifications in the horizontal plane induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with CBCT images. *Progress in orthodontics*, *19*(1), 41. https://doi.org/10.1186/s40510-018-0240-2

Cantarella, D., Karanxha, L., Zanata, P., Moschik, C., Torres, A., Savio, G., Del Fabbro, M., & Moon, W. (2021). Digital Planning and Manufacturing of Maxillary Skeletal Expander for Patients with Thin Palatal Bone. *Medical devices (Auckland, N.Z.)*, *14*, 299–311. https://doi.org/10.2147/MDER.S331127

Carlson, C., Sung, J., McComb, R. W., Machado, A. W., & Moon, W. (2016). Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, *149*(5), 716–728. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.04.043

Carvalho, P. H. A., Moura, L. B., Trento, G. S., Holzinger, D., Gabrielli, M. A. C., Gabrielli, M. F. R., & Pereira Filho, V. A. (2020). Surgically assisted rapid maxillary expansion: a systematic review of complications. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, *49*(3), 325–332. https://doi.org/10.1016/j.ijom.2019.08.011

Colak, O., Paredes, N. A., Elkenawy, I., Torres, M., Bui, J., Jahangiri, S., & Moon, W. (2020). Tomographic assessment of palatal suture opening pattern and

pterygopalatine suture disarticulation in the axial plane after midfacial skeletal expansion. *Progress in Orthodontics*, *21*(1). https://doi.org/10.1186/s40510-020-00321-9

de Almeida, A. M., Ozawa, T. O., Alves, A. C. M., Janson, G., Lauris, J. R. P., Ioshida, M. S. Y., & Garib, D. G. (2017). Slow versus rapid maxillary expansion in bilateral cleft lip and palate: a CBCT randomized clinical trial. *Clinical oral investigations*, *21*(5), 1789–1799. https://doi.org/10.1007/s00784-016-1943-8

Figueiredo, M. A., Romano, F. L., Feres, M. F. N., Stuani, M. B. S., Ferreira, J. T. L., Nahás, A. C. R., & Matsumoto, M. A. N. (2023). Maxillary alveolar bone evaluation following dentoalveolar expansion with clear aligners in adults: A cone-beam computed tomography study. *Korean journal of orthodontics*, *53*(4), 264–275. https://doi.org/10.4041/kjod22.243

Garib, D.G., Yatabe, M.S., Ozawa, T.O., & Filho, O.G. (2010). Alveolar bone morphology under the perspective of the computed tomography: Defining the biological limits of tooth movement. https://www.semanticscholar.org/paper/Alveolar-bone-morphology-under-the-perspective-of-%3A-Garib-Yatabe/ecc4373a08f0806021afa42de6f258033f80103d

Huang, X., Han, Y., & Yang, S. (2022). Effect and stability of miniscrew-assisted rapid palatal expansion: A systematic review and meta-analysis. *Korean journal of orthodontics*, *52*(5), 334–344. https://doi.org/10.4041/kjod21.324

Kapila, S. D., & Nervina, J. M. (2015). CBCT in orthodontics: assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dento maxillo facial radiology*, *44*(1), 20140282. https://doi.org/10.1259/dmfr.20140282

Kaya, Y., Alkan, Ö., Alkan, E. A., & Keskin, S. (2018). Gingival thicknesses of maxillary and mandibular anterior regions in subjects with different craniofacial morphologies. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, *154*(3), 356–364. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2017.11.039

Lin, L., Ahn, H. W., Kim, S. J., Moon, S. C., Kim, S. H., & Nelson, G. (2015). Tooth-borne vs bone-borne rapid maxillary expanders in late adolescence. *The Angle orthodontist*, *85*(2), 253–262. https://doi.org/10.2319/030514-156.1

MacGinnis, M., Chu, H., Youssef, G., Wu, K. W., Machado, A. W., & Moon, W. (2014). The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex--a finite element method (FEM) analysis. *Progress in orthodontics*, *15*(1), 52. https://doi.org/10.1186/s40510-014-0052-y

Mehta, S., Wang, D., Kuo, C. L., Mu, J., Vich, M. L., Allareddy, V., Tadinada, A., & Yadav, S. (2021). Long-term effects of mini-screw-assisted rapid palatal expansion on airway. *The Angle orthodontist*, *91*(2), 195–205. https://doi.org/10.2319/062520-586.1

Negrisoli, S., Angelieri, F., Gonçalves, J. R., da Silva, H. D. P., Maltagliati, L. Á., & Raphaelli Nahás-Scocate, A. C. (2022). Assessment of the bone thickness of the palate on cone-beam computed tomography for placement of miniscrew-assisted rapid palatal expansion appliances. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *161*(6), 849–857. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2021.01.037

Park, J. J., Park, Y. C., Lee, K. J., Cha, J. Y., Tahk, J. H., & Choi, Y. J. (2017). Skeletal and dentoalveolar changes after miniscrew-assisted rapid palatal expansion in

young adults: A cone-beam computed tomography study. *Korean journal of orthodontics*, *47*(2), 77–86. https://doi.org/10.4041/kjod.2017.47.2.77

Scarfe, W. C., Azevedo, B., Toghyani, S., & Farman, A. G. (2017). Cone Beam Computed Tomographic imaging in orthodontics. *Australian dental journal*, *62 Suppl 1*, 33–50. https://doi.org/10.1111/adj.12479

Shih, S. N., Ho, K. H., Wang, C. W., Wang, K. L., Hsieh, S. C., & Chang, H. M. (2022). Management of Class III Malocclusion and Maxillary Transverse Deficiency with Microimplant-Assisted Rapid Palatal Expansion (MARPE): A Case Report. *Medicina (Lithuania)*, *58*(8). https://doi.org/10.3390/medicina58081052

Siddhisaributr, P., Khlongwanitchakul, K., Anuwongnukroh, N., Manopatanakul, S., & Viwattanatipa, N. (2022). Effectiveness of miniscrew assisted rapid palatal expansion using cone beam computed tomography: A systematic review and meta-analysis. *Korean journal of orthodontics*, *52*(3), 182–200. https://doi.org/10.4041/kjod21.256

Song, K. T., Park, J. H., Moon, W., Chae, J. M., & Kang, K. H. (2019). Three-dimensional changes of the zygomaticomaxillary complex after mini-implant assisted rapid maxillary expansion. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, *156*(5), 653–662. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2018.11.019

Suzuki, H., Moon, W., Previdente, L. H., Suzuki, S. S., Garcez, A. S., & Consolaro, A. (2016). Miniscrew-assisted rapid palatal expander (MARPE): the quest for pure orthopedic movement. *Dental press journal of orthodontics*, *21*(4), 17–23. https://doi.org/10.1590/2177-6709.21.4.017-023.oin

Walter, A., Winsauer, H., Crespo, E., Walter, D., Winsauer, C., Schwärzler, A., Mojal, S., Arcos, I., & Puigdollers, A. (2024). Adult maxillary expansion: CBCT evaluation of skeletal changes and determining an efficiency factor between force-controlled polycyclic slow activation and continuous rapid activation for mini-screw-assisted palatal expansion - MASPE vs. MARPE. *Head & face medicine*, *20*(1), 70. https://doi.org/10.1186/s13005-024-00474-6

Weissheimer, A., Menezes, L. M., Koerich, L., Pham, J., & Cevidanes, L. H. (2015). Fast three-dimensional superimposition of cone beam computed tomography for orthopaedics and orthognathic surgery evaluation. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, *44*(9), 1188–1196. https://doi.org/10.1016/j.ijom.2015.04.001

Yoon, A., Payne, J., Suh, H., Phi, L., Chan, A., & Oh, H. (2022). A retrospective analysis of the complications associated with miniscrew-assisted rapid palatal expansion. *AJO-DO Clinical Companion*, *2*(5), 423–430. https://doi.org/10.1016/J.XAOR.2022.08.001