



**Facultad de ciencias de la salud**

**Especialidad Ortodoncia**

**Tema:**

Análisis de la osificación de la sutura media palatina mediante pseudocoloración de unidades Hounsfield en tomografía computarizada de haz cónico : Estudio comparativo según grupos etarios

**Tesis para la obtención del Título de:**

**“ Especialista en ortodoncia”**

**Presentada por:**

Od. Cristian Dávila Vinueza

**Tutor:**

Dra. Daysi Galarza

**Quito, Enero de 2026**

## Resumen

La maduración de la sutura media palatina constituye un elemento decisivo al momento de definir si la expansión maxilar puede realizarse mediante procedimientos ortopédicos convencionales o si es necesario recurrir a técnicas asistidas o quirúrgicas. Tradicionalmente, esta evaluación se ha basado en la interpretación visual de imágenes en escala de grises, un enfoque que presenta limitaciones evidentes debido a su carácter subjetivo y a la variabilidad entre observadores. Si bien la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) ha permitido una visualización tridimensional más detallada de las estructuras óseas, su análisis continúa dependiendo, en gran medida, de criterios interpretativos.

El objetivo de este estudio fue evaluar de manera cuantificable la maduración de la sutura media palatina mediante un protocolo de pseudocoloración basado en unidades Hounsfield, aplicado a imágenes CBCT utilizando el software 3D Slicer. Se desarrolló un estudio observacional, transversal y analítico que incluyó una muestra de 60 pacientes, distribuidos en tres grupos etarios: adolescentes, adultos jóvenes y adultos mayores de 25 años. Cada caso fue clasificado en cinco estadios de maduración (I–V) a partir de rangos específicos de densidad ósea, representados mediante escalas cromáticas reproducibles.

El análisis estadístico evidenció diferencias significativas en la distribución de los estadios de maduración entre los grupos etarios ( $\chi^2$ ,  $p = 0.000121554$ ), lo que sugiere una tendencia hacia una mayor osificación con el incremento de la edad. Sin embargo, la correlación de Spearman mostró una asociación moderada entre la edad cronológica y el grado de osificación ( $\rho = 0.4369$ ), lo que confirma que la edad, por sí sola, no constituye un predictor absoluto. Se observó además una variabilidad individual relevante, con pacientes adultos en estadios tempranos y sujetos jóvenes en estadios avanzados, lo que refuerza la importancia de evaluar directamente el estado de la sutura.

En conjunto, estos resultados respaldan el uso de la pseudocoloración basada en unidades Hounsfield como un método diagnóstico objetivo y reproducible, capaz de superar las limitaciones del

análisis convencional en escala de grises. Su aplicación clínica permite orientar con mayor precisión la selección del tratamiento, favoreciendo la expansión ortopédica en estadios iniciales y el uso de MARPE o SARPE en estadios avanzados. De este modo, el protocolo propuesto se presenta como una herramienta útil tanto en la práctica clínica como en el ámbito académico, con potencial para estandarizar la evaluación de pacientes candidatos a expansión maxilar.

**Palabras clave:** sutura media palatina, maduración ósea, expansión maxilar, pseudocoloración, unidades Hounsfield, diagnóstico ortodóncico.

### **Declaración de aceptación de norma ética y derechos**

El presente documento se ajusta a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Declaro que el contenido del siguiente trabajo ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, la bibliografía está descrita. Autorizo a la Biblioteca para que tenga la disponibilidad y pueda ser pública su lectura en la Universidad. De igual manera doy mi completa autorización al 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 utilización.

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.

Cristian Dávila Vinuesa

C.I.1311894507

### **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado para todas las personas que pusieron su granito de arena en mi formación de especialista, a mis padres cuyo sacrificio ha valido cada hora de esfuerzo y de trabajo, para mi esposa que ha estado en cada momento de esta dura etapa de estudio dándome ánimos en cada paso.

A mis docentes que con mucha paciencia supieron darme rienda suelta para aprovechar todas sus enseñanzas, a mi querido grupo de apoyo que en los momentos más duros supimos cómo darnos la mano para lograr el éxito y en especial a la Universidad De Los Hemisferios quienes me abrieron las puertas a esta especialidad tan maravillosa y que me ha enriquecido profesionalmente.

## ÍNDICE

Resumen.....	2
Declaración de aceptación de norma ética y derechos.....	4
Dedicatoria.....	5
Resumen.....	9
Abstract.....	11
Introducción.....	13
Capitulo 1. Marco referencial.....	15
Capítulo 2 . Metodología.....	20
Capitulo 3. Resultados.....	29
Capitulo 4. Discusión.....	32
Conclusiones.....	35
Referencias.....	37

## Índice de tablas

Tabla 1 . Escala de pseudocoloración basada en unidades Hounsfield .....	21
Tabla 2. Clasificación de la maduración de la sutura media palatina (SMP) mediante pseudocoloración HU (Estadios I–V) .....	22
Tabla 3. Distribución de estadios de la SMP según grupo etario (Chi-cuadrado).....	29
Tabla 4. Correlación entre edad y estadio de maduración de la SMP (Spearman).....	29
Tabla 5. Relación entre estadio de SMP y tipo de tratamiento .....	30

## Indicé de figuras

Figura 1. Clasificación de la sutura media palatina .....	15
Figura 2. Escala de pseudocoloración.....	22
Figura 3. Importación de los archivos DICOM a 3d slicer.....	26
Figura 4. Visualización de cortes y orientación espacial .....	27
Figura 5 Aplicación de tabla de pseudocoloración .....	27

## **“Análisis de la osificación de la sutura media palatina mediante pseudocoloración de unidades Hounsfield en CBCT: Estudio comparativo según grupos etarios”**

**Autor Cristian Dávila Vinueza**

**Correo electrónico cr22davila@gmail.com**

### **Resumen**

La maduración de la sutura media palatina constituye un elemento decisivo al momento de definir si la expansión maxilar puede realizarse mediante procedimientos ortopédicos convencionales o si es necesario recurrir a técnicas asistidas o quirúrgicas. Tradicionalmente, esta evaluación se ha basado en la interpretación visual de imágenes en escala de grises, un enfoque que presenta limitaciones evidentes debido a su carácter subjetivo y a la variabilidad entre observadores. Si bien la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) ha permitido una visualización tridimensional más detallada de las estructuras óseas, su análisis continúa dependiendo, en gran medida, de criterios interpretativos.

El objetivo de este estudio fue evaluar de manera cuantificable la maduración de la sutura media palatina mediante un protocolo de pseudocoloración basado en unidades Hounsfield, aplicado a imágenes CBCT utilizando el software 3D Slicer. Se desarrolló un estudio observacional, transversal y analítico que incluyó una muestra de 60 pacientes, distribuidos en tres grupos etarios: adolescentes, adultos jóvenes y adultos mayores de 25 años. Cada caso fue clasificado en cinco estadios de maduración (I–V) a partir de rangos específicos de densidad ósea, representados mediante escalas cromáticas reproducibles.

El análisis estadístico evidenció diferencias significativas en la distribución de los estadios de maduración entre los grupos etarios ( $\chi^2$ ,  $p = 0.000121554$ ), lo que sugiere una tendencia hacia una mayor osificación con el incremento de la edad. Sin embargo, la correlación de Spearman mostró una

asociación moderada entre la edad cronológica y el grado de osificación ( $\rho = 0.4369$ ), lo que confirma que la edad, por sí sola, no constituye un predictor absoluto. Se observó además una variabilidad individual relevante, con pacientes adultos en estadios tempranos y sujetos jóvenes en estadios avanzados, lo que refuerza la importancia de evaluar directamente el estado de la sutura.

En conjunto, estos resultados respaldan el uso de la pseudocoloración basada en unidades Hounsfield como un método diagnóstico objetivo y reproducible, capaz de superar las limitaciones del análisis convencional en escala de grises. Su aplicación clínica permite orientar con mayor precisión la selección del tratamiento, favoreciendo la expansión ortopédica en estadios iniciales y el uso de MARPE o SARPE en estadios avanzados. De este modo, el protocolo propuesto se presenta como una herramienta útil tanto en la práctica clínica como en el ámbito académico, con potencial para estandarizar la evaluación de pacientes candidatos a expansión maxilar.

**Palabras clave:** sutura media palatina, maduración ósea, expansión maxilar, pseudocoloración, unidades Hounsfield, diagnóstico ortodóncico.

## Abstract

The maturation of the midpalatal suture plays a crucial role in determining whether maxillary expansion can be achieved through conventional orthopedic approaches or requires assisted or surgical techniques. Traditionally, this assessment has relied on visual interpretation of grayscale images, a method that presents inherent limitations due to subjectivity and interobserver variability. Although cone-beam computed tomography (CBCT) has improved three-dimensional visualization of craniofacial structures, its diagnostic interpretation still depends largely on qualitative criteria.

The aim of this study was to quantitatively evaluate midpalatal suture maturation using a pseudocolor protocol based on Hounsfield units applied to CBCT images through the 3D Slicer software. An observational, cross-sectional, and analytical study was conducted on a sample of 60 patients divided into three age groups: adolescents, young adults, and adults older than 25 years. Each case was classified into five maturation stages (I–V) according to predefined bone density ranges, represented by reproducible chromatic scales.

Statistical analysis revealed significant differences in the distribution of maturation stages among the age groups ( $\chi^2$ ,  $p = 0.000121554$ ), indicating a general trend toward increased ossification with advancing age. However, Spearman's correlation demonstrated only a moderate association between chronological age and the degree of ossification ( $\rho = 0.4369$ ), confirming that age alone cannot be considered an absolute predictor. Considerable individual variability was observed, with some adults presenting early maturation stages and younger patients showing advanced ossification, emphasizing the need to directly assess sutural status.

Overall, these findings support the use of Hounsfield unit-based pseudocolor mapping as an objective and reproducible diagnostic method that overcomes the limitations

of conventional grayscale evaluation. Its clinical application allows for a more precise selection of therapeutic strategies, favoring conventional orthopedic expansion in early stages and MARPE or SARPE in advanced stages. Consequently, this protocol represents a valuable tool for both clinical practice and academic training, with potential to become a standardized approach for evaluating patients who are candidates for maxillary expansion.

**Keywords:** midpalatal suture, bone maturation, maxillary expansion, pseudocolor mapping, Hounsfield units, orthodontic diagnosis.

## Introducción

El crecimiento y desarrollo craneofacial dependen en gran medida del maxilar superior, cuya morfología transversal está determinada por la sutura palatina media (SMP). Esta estructura anatómica juega un papel decisivo en el diagnóstico ortodóncico, ya que su maduración condiciona la posibilidad de realizar una expansión ortopédica convencional o la necesidad de recurrir a técnicas asistidas con microtornillos (MARPE) o quirúrgicas (SARPE). Durante la adolescencia temprana la SMP se mantiene relativamente abierta, mientras que con el avance de la edad progresa hacia una osificación progresiva e irregular, reduciendo la respuesta al tratamiento y aumentando las exigencias terapéuticas (Angelieri et al., 2013, pp. 759–769; Soto et al., 2022, pp. 90–97; Savoldi et al., 2022, pp. 1–9; Georgi et al., 2023).

La evaluación de la SMP se ha basado en la interpretación visual de imágenes tomográficas en escala de grises, siguiendo clasificaciones morfológicas como la propuesta por Angelieri et al., (2013, pp. 759–769) que clasifican la sutura en cinco estadios morfológicos. Sin embargo, la interpretación de estas imágenes depende de la experiencia clínica y presenta variabilidad Inter observador, lo que limita su confiabilidad diagnóstica (Soto et al., 2022, pp. 90–97; Shayani et al., 2022, pp. 1–12). Estas limitaciones han motivado a la búsqueda de herramientas diagnósticas más objetivas y cuantificables que permiten evaluar la maduración sutural con mayor precisión y reproducibilidad.

La incorporación de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) marcó un avance significativo en la ortodoncia, al proporcionar imágenes tridimensionales de alta resolución. A pesar de ello, la valoración visual en escala de grises sigue siendo limitada, por lo que se ha propuesto como una alternativa prometedora el uso de unidades Hounsfield (HU) para cuantificar la densidad ósea y caracterizar de manera más objetiva la maduración de la SMP. La aplicación de pseudocoloración basada en HU traduce estos valores en mapas

cromáticos permite diferenciar con mayor claridad el tejido no osificado, parcialmente osificado y completamente osificado, mejorando así la objetividad del análisis Colonna et al., 2021, pp. 1–8; Pauwels et al., 2015, p. 20140238; Chung et al., 2024, pp. 1–12). El desarrollo de software de acceso libre como 3D Slicer ha impulsado la aplicación de estas herramientas diagnósticas. Este programa, creado en el Surgical Planning Laboratory del Brigham and Women's Hospital y el MIT, permite la segmentación y visualización avanzada de imágenes médicas (Fedorov et al., 2012, pp. 1323–1341). Su uso facilita la implementación de metodologías reproducibles que fortalecen la práctica clínica y la investigación académica.

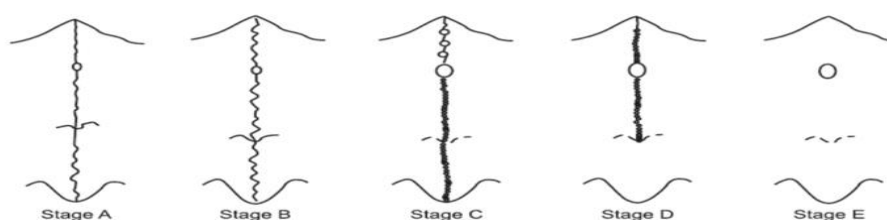
La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la maduración de la sutura media palatina en pacientes de la clínica de posgrado de ortodoncia de la Universidad de Los Hemisferios mediante pseudocoloración basada en unidades Hounsfield en CBCT, con el propósito de validar un método diagnóstico más preciso, objetivo y aplicable a la selección del tratamiento de expansión maxilar.

## Capítulo 1. Marco referencial

El crecimiento craneofacial es un proceso complejo en el que el maxilar superior desempeña un papel fundamental en la armonía estética y funcional del sistema estomatognático. El maxilar y el paladar derivan del primer arco branquial, con un inicio de desarrollo en la cuarta semana de vida intrauterina (Vellini Ferreira, 2002, pp. 45–47; Proffit et al., 2019). Este proceso determina la morfología facial y condiciona la relación transversal de las arcadas. En este contexto, la sutura media palatina (SMP) constituye la unión anatómica que conecta los huesos palatinos y maxilares, y cuya maduración progresiva refleja el desarrollo transversal del maxilar.

Durante la niñez y la adolescencia, la sutura se presenta relativamente abierta, lo que facilita la expansión ortopédica. Sin embargo, con el avance de la edad, la SMP experimenta cambios estructurales como interdigitaciones y fusión ósea que limitan la efectividad de los tratamientos convencionales de expansión (Angelieri et al., 2013, pp. 759–769; Festa et al., 2024, pp. 1–15; ). Alteraciones en el crecimiento maxilar, como la deficiencia transversal, son frecuentes en la práctica ortodóncica y requieren abordajes terapéuticos específicos. La clasificación propuesta por Angelieri et al., (2013, pp. 759–769), establece cinco estadios de maduración (figura 1), desde una sutura con mínima interdigitación hasta una completamente fusionada y aunque es una herramienta diagnóstica usada con frecuencia, depende de la interpretación subjetiva del operador y por tanto es susceptible de variabilidad diagnóstica (Soto et al., 2022, pp. 90–97; Mahdian et al., 2020, pp. 323–331).

Figura 1. Clasificación de la sutura media palatina





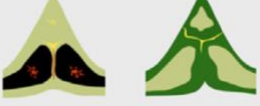
Referencia Angelieri et al., 2013, pp. 759–769

La introducción de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) supuso un avance significativo en el diagnóstico ortodóncico al proporcionar imágenes tridimensionales con alta resolución. A diferencia de las radiografías convencionales, la CBCT ofrece información volumétrica y cuantificable. En el caso de la SMP, permite analizar tanto la morfología de la sutura como la densidad ósea circundante, lo cual resulta determinante en el diagnóstico y la planificación terapéutica (Colonna et al., 2021, pp. 1–9; Chae et al., 2021, pp. 1–12).

No obstante, incluso con esta tecnología, el análisis en escala de grises puede ser subjetivo, lo que justifica la búsqueda de métodos complementarios que reduzcan la variabilidad entre evaluadores. En este sentido, las unidades Hounsfield (HU) constituyen un valor de referencia para permitir la medición de: densidad de los tejidos y, que al analizar la SMP permiten establecer diferencias cuantitativas entre tejido blando, hueso parcialmente osificado y hueso corticalizado (Pauwels et al., 2015, pp. 1–9). La aplicación de escalas de pseudocoloración sobre estas unidades incrementa la capacidad diagnóstica al traducir los valores numéricos en mapas visuales fáciles de interpretar (Chung et al., 2024, pp. 1–12; Elkersh et al., 2025.)

Este enfoque ha demostrado una mayor reproducibilidad y confiabilidad diagnóstica en estudios recientes, reduciendo la dependencia de la experiencia clínica individual. El método Angelieri et al., (2013, pp. 759–769) continúa siendo un referente para evaluar la maduración de la SMP; sin embargo, múltiples investigaciones han señalado su dependencia de la interpretación visual (Mahdian et al., 2020, pp. 323–331). La variabilidad Inter observador ha sido identificada como una de sus principales limitaciones, motivo por el cual estudios recientes han explorado la pseudocoloración de capas múltiples en CBCT, demostrando que esta metodología permite clasificar con mayor objetividad los estadios de osificación y disminuir las discrepancias diagnósticas (Chung et al., 2024, pp. 1–12).

Figura 2. Clasificación de la sutura media palatina

Type	Region	Ossification status	Diagram
<b>Tunnel type</b>	Vomer side	X	
	Central part	X	
	Oral side	X	
<b>Partially ossified type</b>	Vomer side	○ appears on any of the regions	
	Central part		
	Oral side		
<b>Ossified type</b>	Vomer side	○	
	Central part	○ or X	
	Oral side	○	

Referencia Chung et al., 2024, pp. 1–12

La incorporación de herramientas diagnósticas digitales fortalece la capacidad de los ortodontistas para tomar decisiones clínicas fundamentadas. En este contexto, la evaluación precisa de la sutura media palatina (SMP) resulta esencial para planificar una expansión ortopédica convencional, la cual es viable en etapas iniciales de maduración de la SMP, mientras que en casos de mayor osificación se recomiendan técnicas asistidas, como la MARPE, o procedimientos quirúrgicos como la SARPE (Viet et al., 2025, pp. 34–45).

En los casos en los que la sutura media palatina muestra grados de osificación que limitan la respuesta a una expansión ortopédica convencional, la literatura señala dos alternativas terapéuticas ampliamente documentadas: MARPE y SARPE. La expansión rápida asistida por microtornillos, conocida como MARPE, combina la acción del tornillo expansor con el anclaje óseo directo proporcionado por mini-implantes insertados en el paladar, lo que permite transmitir fuerzas más controladas y lograr separación sutural incluso en pacientes con maduración intermedia (Cantarella et al., 2017, pp. 610–620; Brunetto et al., 2021, pp. 45–52; Choi et al., 2023, pp. 241–253). Este método ha demostrado mejorar la predictibilidad del tratamiento y disminuir efectos dentoalveolares indeseados, como

inclinaciones molares o compresiones radiculares. Por su parte, la expansión quirúrgicamente asistida, o SARPE, se reserva para situaciones donde la sutura presenta una fusión avanzada que impide cualquier apertura mediante técnicas ortopédicas. En estos casos, el apoyo de procedimientos como la osteotomía Le Fort I parcial o completa facilita la disyunción maxilar con menor riesgo de fracaso y con una mayor estabilidad postoperatoria (Zhang et al., 2025, pp. 1–13). Ambas opciones, aunque distintas en complejidad, coinciden en que su uso depende directamente del grado real de maduración de la sutura, reforzando la importancia de diagnósticos más objetivos y menos dependientes de la edad cronológica.

La elección entre una expansión ortopédica asistida con microtornillos (MARPE) o una expansión quirúrgicamente asistida (SARPE) depende, en gran medida, del comportamiento biomecánico de la sutura media palatina y de la resistencia ósea que ofrece cada paciente. En términos clínicos, MARPE ha demostrado ser una alternativa eficaz en individuos que presentan grados intermedios de osificación, ya que el anclaje esquelético permite transmitir fuerzas directamente al hueso sin depender de la dentición, reduciendo así los efectos secundarios dentoalveolares (Zeng et al., 2023. 829–832; Choi et al., 2023, pp. 241–253). Sin embargo, cuando la sutura muestra una corticalización avanzada o una interdigitación marcada, la resistencia mecánica supera la capacidad de los microtornillos, lo que limita la apertura ortopédica y obliga a considerar la opción quirúrgica. En esos casos, SARPE ofrece una vía segura al combinar la osteotomía con la expansión, permitiendo una disyunción controlada incluso en pacientes adultos con osificación completa (Sicca et al., 2025, pp. 1–7). De esta manera, el tratamiento no se define únicamente por la edad, sino por la respuesta estructural del hueso, lo que refuerza la necesidad de métodos diagnósticos más precisos como la pseudocoloración basada en HU para determinar con claridad cuándo MARPE puede ser suficiente y cuándo SARPE se convierte en el camino terapéutico más adecuado.

Veltri et al., (2009, pp. 766–771 ) nos indica que la necesidad de conocer tanto de la densidad como la calidad del hueso el primero se podría lograr con métodos más avanzados de diagnósticos permitiendo que la estabilidad se vea notablemente beneficiada ayudando en gran medida al éxito del tratamiento , cabe recalcar que la densidad no es el único factor descrito por el autor también tienen que ver su grosor y la calidad, las tres forman una perfecta relación y como se abordó anteriormente la selección del tratamiento es fundamental tanto para el beneficio del paciente como también para el clínico. La integración de diagnósticos más precisos puede incrementar la predictibilidad de los resultados clínicos y reducir los fracasos en tratamientos ortodóncicos complejos.

En este panorama, el software 3D Slicer se presenta como una alternativa libre y de código abierto que ha transformado la manera en que se procesan y analizan las imágenes médicas. Gracias a su modularidad, permite realizar segmentaciones, registros, reconstrucciones tridimensionales y cuantificaciones avanzadas, lo que lo convierte en una herramienta de gran utilidad tanto en investigación biomédica como en la práctica clínica odontológica . Desde su creación en 1998 en el Surgical Planning Laboratory del Brigham and Women's Hospital en colaboración con el Massachusetts Institute of Technology (MIT), este proyecto ha evolucionado de la mano de iniciativas como la National Alliance for Medical Image Computing (NA-MIC) y el apoyo del NIH. Por lo tanto, este software se está posicionando en la actualidad como una plataforma de referencia en ortodoncia y disciplinas afines (Fedorov et al., 2012, pp. 1323–1341).

## Capítulo 2 . Metodología

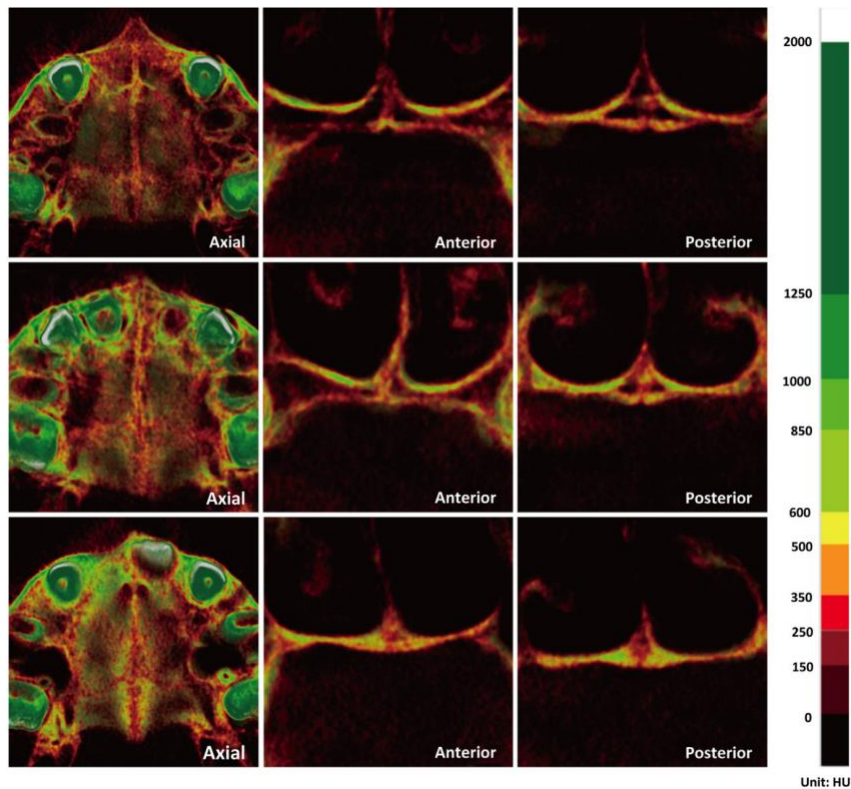
Se desarrolló un estudio retrospectivo, transversal y comparativo, que fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Los Hemisferios. El análisis se basó en tomografías computarizadas de haz cónico de pacientes atendidos en la clínica de posgrado de ortodoncia, con el objetivo de evaluar la maduración de la sutura media palatina (SMP) mediante pseudocoloración basada en unidades Hounsfield. La muestra se obtuvo del banco institucional, lo que asegura homogeneidad técnica. Se incluyeron tomografías previas al inicio de tratamiento ortodóncico en las que la SMP estuviera completamente visible y con calidad diagnóstica adecuada, sin artefactos significativos; se excluirán casos con trauma maxilofacial, malformaciones congénitas (labio y paladar hendido), tratamientos ortopédicos u ortodóncicos previos que alteraran la morfología palatina o presencia de materiales metálicos que generaran artefactos. Los pacientes se distribuirán en tres grupos etarios (12–17; 18–25; >25 años) y se definirá un tamaño muestral de 60 casos (20 por grupo), suficiente para asegurar frecuencias esperadas  $\geq 5$  en tablas  $3 \times 5$  (grupos etarios  $\times$  estadíos I–V).

Las tomografías se procesaron con Planmeca Promax 3D Mid (120 kV, 6 mA,  $\sim 9$  s, FOV  $20 \times 17.3$  cm, vóxel 0.4 mm), en el software Romexis 4.6.2, se exportaron en DICOM y se analizaron en 3D Slicer v5.8.1., tras importar los DICOM (módulo DICOM) y verificar orientación/espaciado (Volumes  $\rightarrow$  Volume Information), se orientaron los cortes axial, coronal y sagital; en Volumes  $\rightarrow$  Display se estableció un rango de visualización (0–1500 HU) y se generó una tabla de color personalizada (Modules  $\rightarrow$  Colors  $\rightarrow$  Create New Color Table) para mapear los valores de HU a tonalidades diagnósticas se empleó la escala de pseudocoloración empleada por (Chung et al., 2024, pp. 1–12) como se muestra en la Tabla 1 y se representa en la figura 3.

Tabla 1 . Escala de pseudocoloración basada en unidades Hounsfield

<b>Rango HU</b>	<b>Color asignado</b>	<b>Código RGB</b>	<b>Características / Interpretación diagnóstica</b>
<b>0–150</b>	Rojo oscuro	(78, 0, 0)	Tejido blando, baja densidad; zona sin signos de osificación.
<b>150–250</b>	Rojo medio	(155, 0, 0)	Área hipodensa; inicio de mineralización muy incipiente.
<b>250–350</b>	Rojo brillante	(255, 0, 0)	Región de transición entre tejido blando y hueso inmaduro.
<b>350–500</b>	Naranja	(255, 155, 0)	Hueso esponjoso poco mineralizado; osificación parcial inicial.
<b>500–600</b>	Amarillo	(255, 255, 0)	Hueso trabecular en proceso de consolidación; osificación parcial avanzada.
<b>600–850</b>	Verde lima	(155, 255, 0)	Hueso esponjoso mineralizado; inicio de corticalización.
<b>850–1000</b>	Verde brillante	(0, 255, 0)	Hueso denso; predominio de osificación.
<b>1000–1250</b>	Verde medio	(0, 155, 0)	Hueso cortical consolidado; maduración casi completa.
<b>&gt;1250</b>	Verde oscuro	(0, 100, 0)	Hueso cortical totalmente mineralizado; máxima densidad y maduración completa.

Figura 3. Escala de pseudocoloración



Fuente : Chung et al., 2024, pp. 1–12

Con la pseudocoloración aplicada a la SMP se evaluaron cortes coronales y sagitales, registrando zonas de osificación por tonalidad. Posteriormente, se clasificó cada paciente en estadios I–V conforme a criterios diagnósticos establecidos en la Tabla 2. Como se realiza en el estudio de (Chung et al., 2024, pp. 1–12)

Tabla 2. Clasificación de la maduración de la sutura media palatina (SMP) mediante pseudocoloración HU (Estadios I–V)

<b>Estadio</b>	<b>Características de osificación</b>	<b>de Colores predominantes (HU)</b>	<b>Interpretación clínica</b>
----------------	---------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------------

<b>I</b>	Sutura abierta, sin signos de fusión; baja densidad en ambos segmentos.	Rojo oscuro – Rojo medio (0–250 HU)	Tejido blando, sin osificación; <b>expansión ortopédica altamente predecible.</b>
<b>II</b>	Inicio de la mineralización; mezcla de áreas hipodensas y zonas de hueso esponjoso inmaduro.	Rojo brillante – Naranja (250–500 HU)	<b>Osificación parcial incipiente;</b> expansión ortopédica aún viable.
<b>III</b>	Osificación intermedia; coexistencia de áreas trabeculares y regiones densas en un segmento.	Amarillo – Verde lima (500–850 HU)	Sutura <b>parcialmente fusionada;</b> resultados variables con expansión convencional; considerar <b>MARPE.</b>
<b>IV</b>	Osificación avanzada; predominio de hueso esponjoso mineralizado y corticalización evidente.	Verde brillante – Verde medio (850–1250 HU)	<b>Alta resistencia</b> a expansión ortopédica; indicada <b>MARPE</b> con mayor control o <b>expansión asistida.</b>
<b>V</b>	Sutura totalmente fusionada; corticalización completa en ambos segmentos.	Verde oscuro (>1250 HU)	Expansión ortopédica <b>contraindicada;</b> requiere <b>SARPE</b> u otras técnicas quirúrgicas.

La calibración del observador y la prueba piloto fueron realizadas por el responsable del presente trabajo, Od. Cristian Alfredo Dávila Vinuesa, proceso avalado en el certificado emitido por el MSc. Esteban Espinoza (Radiólogo), en el que consta que se cumplió satisfactoriamente con la capacitación en el manejo e interpretación de imágenes CBCT mediante 3D Slicer Anexo 1 . La prueba piloto se efectuó con tres casos representativos (uno por cada grupo etario), confirmando la factibilidad del protocolo y la confiabilidad en la aplicación de la clasificación. Las imágenes y resultados obtenidos se almacenaron bajo nomenclatura estandarizada y se respaldaron en un disco duro externo Seagate de 2TB para garantizar su seguridad y conservación.

Los tres casos representativos de cada grupo etario fueron los siguientes, El primer caso correspondió a un adolescente de 15 años, en quien la sutura media palatina presentó baja densidad en ambos segmentos, con predominio de tonalidades rojo oscuro y rojo medio (0–250 HU). De acuerdo con la clasificación establecida, estos hallazgos se interpretaron como un estadio I, caracterizado por una sutura abierta y sin signos de fusión, lo que permite anticipar una expansión ortopédica altamente predecible.

El segundo caso analizado fue un adulto joven de 21 años. En este paciente se observaron áreas intermedias, con tonalidades amarillas y verde lima (500–850 HU) en el segmento anterior, mientras que el segmento posterior mantuvo zonas de menor densidad. Según la clasificación utilizada, el patrón identificado corresponde a un estadio III, lo que refleja una sutura parcialmente fusionada. En este contexto, la expansión ortopédica convencional presenta resultados variables, siendo recomendable considerar la utilización de técnicas de expansión asistida con microtornillos (MARPE).

Finalmente, el tercer caso correspondió a un adulto de 28 años. La evaluación reveló un predominio de tonalidades verde brillante y verde medio (850–1250 HU), indicativas de hueso cortical consolidado y osificación avanzada. Estos hallazgos fueron clasificados como

un estadio IV, en el cual la expansión ortopédica está contraindicada y se requiere recurrir a procedimientos de expansión asistida mediante microtornillos con mayor control o, en su defecto, a la expansión quirúrgicamente asistida (SARPE).

Estos resultados preliminares permiten constatar que la metodología aplicada es capaz de diferenciar de manera objetiva los distintos grados de maduración de la sutura media palatina, lo que respalda su validez para el análisis del conjunto de la muestra en este estudio.

El proceso metodológico aplicado en esta investigación se desarrolló siguiendo una secuencia ordenada de etapas, que permitió garantizar la correcta selección, observación y análisis de la sutura media palatina (SMP) en cada uno de los casos incluidos. La muestra estuvo conformada por tomografías computarizadas de haz cónico obtenidas antes del inicio del tratamiento ortodóncico, y su procesamiento se llevó a cabo bajo criterios uniformes que aseguraron la conservación de las características anatómicas necesarias para el estudio.

En primer lugar, se revisaron los expedientes digitales del banco institucional para identificar únicamente aquellas tomografías que cumplieran con los criterios técnicos de calidad y con las condiciones clínicas establecidas. Se descartaron los casos que presentaban artefactos, antecedentes de trauma facial, malformaciones congénitas o intervenciones previas que modificaran la morfología palatina. Una vez definida la muestra final, las imágenes fueron organizadas y almacenadas en un disco duro externo para mantener un resguardo seguro y ordenado de todos los archivos.

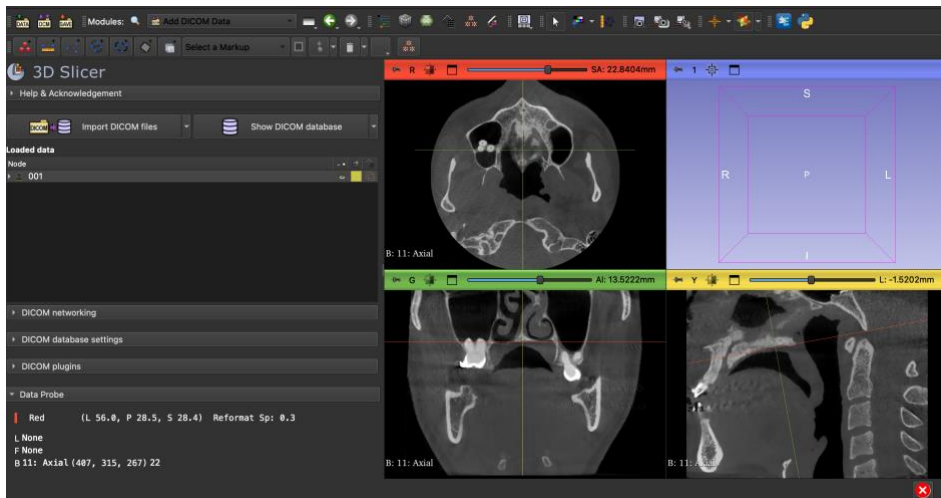
Figura 4. Importación de los archivos DICOM a 3d Slicer

21100	2012-04-30	F	1	2025-04-12	2025-06-...7:55.913
1722893581		M	1	2024-06-24	2025-06-...8:35.335
21164	1958-04-05	F	1	2025-04-23	2025-06-...7:39.004
001766	1996-07-06	M	1	2024-02-14	2025-06-...8:18.662
21104	2017-10-17	F	1	2025-04-14	2025-06-...5:09.202
				<b>Series</b>	<b>Date added</b>
				1	2025-06-...7:55.916
				<b>Modality</b>	<b>Size</b>
				CT	504x504
				<b>Count</b>	<b>Date added</b>
				504	2025-06-...7:55.917

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, las series DICOM fueron importadas al software 3D Slicer como se puede apreciar en la figura 3 , donde después de cargados se verificó la orientación espacial, el tamaño del vóxel y la correcta visualización de los cortes axial, coronal y sagital como observamos en la figura . Este paso inicial resultó fundamental para garantizar que la evaluación de la SMP se realizara con base en estructuras anatómicas completamente reconocibles y libres de distorsiones.

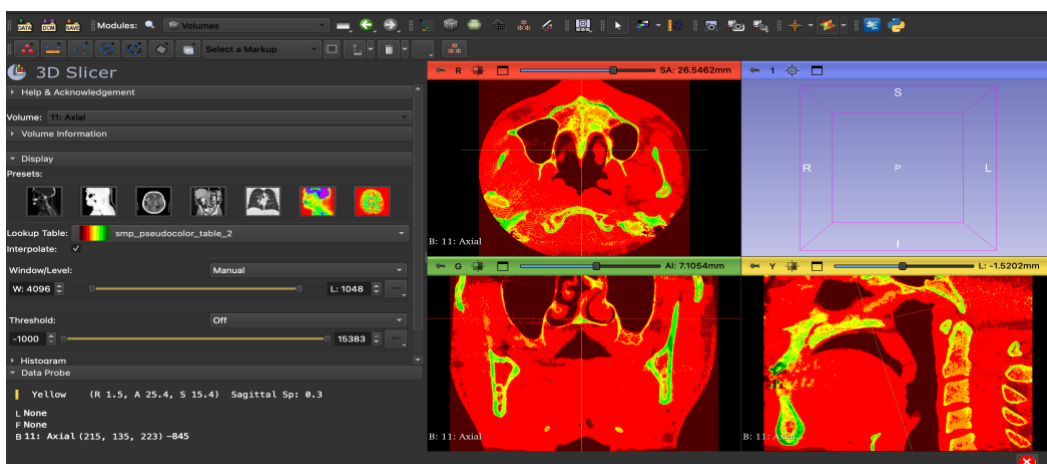
Figura 5. Visualización de cortes y orientación espacial



Fuente : Elaboración propia

Luego de la inspección inicial, se aplicó la tabla de pseudocoloración diseñada específicamente para este estudio como se puede observar ya aplicada en la figura 6 . Esta tabla asignó intervalos de unidades Hounsfield a una gama de colores que permitió diferenciar, de manera más clara y cuantificable, las variaciones en la densidad ósea a lo largo de la sutura.

Figura 6. Aplicación de tabla de pseudocoloración



Fuente: Elaboración propia

La aplicación de este mapa cromático hizo posible identificar las zonas de osificación según su intensidad, observando cambios que no siempre se distinguen fácilmente en escala de grises. Con la pseudocoloración ya aplicada, cada caso fue examinado cuidadosamente en cortes coronales y sagitales. Durante la observación se prestó atención tanto al segmento anterior como al posterior de la sutura, ya que la maduración no siempre ocurre de forma uniforme. La interpretación de los colores permitió ubicar cada imagen dentro de uno de los cinco estadios de maduración establecidos, tomando como referencia los patrones de densidad previamente definidos y correlacionándolos con el grado de fusión sutural.

Finalmente, la información obtenida de cada paciente fue registrada en una hoja de cálculo diseñada para este estudio, donde se consignaron el número de identificación, el grupo etario, el tipo de osificación observado y el estadio asignado. Este registro sistemático aseguró la trazabilidad completa de los datos y facilitó el análisis estadístico posterior. Cada uno de estos pasos permitió construir un proceso metodológico sólido, transparente y replicable, adecuado para evaluar de manera objetiva la maduración de la sutura media palatina utilizando pseudocoloración basada en unidades Hounsfield.

### Capítulo 3. Resultados

El análisis de los resultados se centró en la comparación de la distribución de los estadios de maduración de la sutura media palatina (SMP) entre los diferentes grupos etarios. La prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) mostró diferencias estadísticamente significativas en la frecuencia de aparición de los estadios entre adolescentes, adultos jóvenes y adultos ( $p = 0.000121554$ ). Estos hallazgos confirman una tendencia general hacia una mayor osificación conforme avanza la edad, en concordancia con lo descrito por Angelieri et al., (2013, pp. 759–769), quienes plantean que la sutura presenta una progresión natural hacia la fusión con el incremento cronológico.

Tabla 3. Distribución de estadios de la SMP según grupo etario (Chi-cuadrado)

<b>Grupo Etario</b>	<b>Estadio II</b>	<b>Estadio III</b>	<b>Estadio IV</b>	<b>Estadio V</b>	<b>Total</b>
<b>1 (12–17)</b>	22	36	–	–	56
<b>2 (18–25)</b>	20	51	–	–	57
<b>3 (&gt;25)</b>	12	39	16	5	60

Resultado Chi-cuadrado:  $p = 0.000121554$

No obstante, al aplicar la prueba de correlación de Spearman ( $\rho = 0.4369$ ), se observó que la relación entre edad cronológica y estadio de maduración fue únicamente moderada. Este resultado revela que la edad, aunque asociada con el grado de osificación, no constituye un predictor absoluto del tipo de tratamiento requerido. Este resultado concuerda con lo planteado por Melsen y Ghafari (2023, pp. 45–53), quienes destacan que la edad y la maduración sutural no siempre guardan correspondencia lineal, y se alinea con los reportes de Festa et al., (2024, pp. 1–15), que muestran variaciones interindividuales significativas.

Tabla 4. Correlación entre edad y estadio de maduración de la SMP (Spearman)

<b>Variable 1</b>	<b>Variable 2</b>	<b>Coef. Spearman (<math>\rho</math>)</b>	<b>Interpretación según Dancey &amp; Reidy (2004)</b>
<b>Edad</b>	Estadio de SMP	0.4369	Correlación moderada

La variabilidad individual hallada en este estudio, evidenciada en adultos con estadios bajos (II–III) y jóvenes en estadios avanzados (IV–V), pone de relieve la importancia de evaluar directamente la osificación sutural más que basarse en la edad como único criterio. En este sentido, los resultados aportan evidencia que respalda metodologías modernas como la pseudocoloración en CBCT, propuesta por Chung et al. (2025, pp. 1–14), que permiten superar las limitaciones de la interpretación visual en escala de grises y reducir la subjetividad diagnóstica.

Para valorar la relación entre los estadios de maduración y el tipo de tratamiento recomendado, se elaboró una tabla que relaciona cada estadio con la elección de tratamiento convencional o quirúrgico/asistido.

Tabla 5. Relación entre estadio de SMP y tipo de tratamiento

<b>Estadio SMP</b>	<b>de Tratamiento Convencional (1)</b>	<b>Tratamiento Quirúrgico/Asistido (2)</b>	<b>Total</b>
<b>II</b>	13	0	13
<b>III</b>	41	1	42
<b>IV</b>	0	4	4

<b>V</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>6</b>	<b>60</b>

Desde el punto de vista clínico, estos hallazgos confirman que los estadios II y III pueden ser tratados de manera predecible con expansión ortopédica convencional, mientras que los estadios IV y V requieren intervenciones asistidas con microtornillos (MARPE) o quirúrgicas (SARPE). La capacidad de discriminar objetivamente estos estadios mediante pseudocoloración ofrece al clínico una herramienta para optimizar la selección terapéutica y reducir riesgos de fracaso.

Finalmente, es importante señalar algunas limitaciones de este trabajo. El tamaño muestral (n=60), aunque suficiente para las pruebas estadísticas aplicadas, podría ampliarse en futuras investigaciones para fortalecer la generalización de los resultados. Asimismo, la clasificación dependió de un único observador, aunque previamente calibrado, lo que introduce un margen de sesgo humano. Aun así, la reproducibilidad de la metodología basada en unidades Hounsfield aporta solidez al análisis y refuerza su aplicabilidad clínica y académica.

## Capítulo 4. Discusión

Los resultados evidencian que la maduración de la sutura media palatina presenta una variabilidad individual considerable que no se correlaciona estrictamente con la edad cronológica. Este comportamiento, reflejado en la presencia de adultos ubicados en estadios tempranos (II–III) y jóvenes en estadios más avanzados (IV–V), coincide parcialmente con lo reportado por Angelieri et al., (2013, pp. 759–769) Aunque su clasificación por etapas ha sido un referente durante la última década, sus hallazgos ya anticipaban que la edad cronológica no garantizaba, por sí sola, un nivel específico de osificación. Lo cual coincide con lo reportado previamente, donde se señala que la edad por sí sola no es un predictor confiable del nivel de osificación sutural, donde la correlación entre edad y estadio sutural, aunque significativa se mantuvo solo en un nivel moderado.

Diversos autores han cuestionado la dependencia exclusiva de la evaluación en escala de grises especialmente ante la disponibilidad de herramientas de análisis más objetivas . En este sentido, estudios como los de Mahdian et al., (2020, pp. 323–331) demostraron que la variabilidad Inter observador sigue siendo un desafío importante cuando la clasificación depende únicamente de la interpretación visual. Los resultados obtenidos respaldan dicha observación al demostrar que la interpretación en escala de grises mantiene un componente subjetivo significativo. Al emplear pseudocoloración basada en unidades Hounsfield, como la propuesta por Chung et al., (2024, pp. 1–12), se logró representar la densidad ósea con mayor claridad y disminuir la subjetividad en la evaluación clínica. En coincidencia con Colonna et al., (2021, pp. 1–8) y Morar et al. (2022, pp. 414–423), los valores HU mostraron ser una herramienta más consistente que la simple morfología sutural y permitieron identificar de forma clara los límites entre los estadios de maduración.

Otro hallazgo relevante, también reportado en estudios recientes es la influencia de variables como el sexo y los patrones esqueléticos en la maduración sutural. Festa et al.,

(2024, pp. 1–15) demostraron que estas variables pueden modificar la progresión esperada de la sutura, aportando una explicación plausible para los casos atípicos observados en nuestra muestra. Esta idea se alinea directamente con lo señalado por Melsen y Ghafari., (2023, pp. 45–53), quienes insisten en que el criterio clínico no puede limitarse a la edad, y que un diagnóstico confiable debe basarse en la maduración real del tejido óseo.

La pertinencia clínica de esta postura se vuelve evidente cuando se analiza la selección del tratamiento de expansión. Autores como Viet et al., (2025, pp. 34–45) han mostrado que las técnicas asistidas, particularmente la MARPE, ofrecen resultados más estables en suturas parcialmente fusionadas, mientras que procedimientos como la SARPE se reservan para estadios de osificación avanzada. Estos planteamientos encuentran eco en nuestros resultados: los estadios I–III se asociaron en mayor medida a expansión ortopédica convencional, mientras que los estadios IV–V se concentraron en tratamientos asistidos o quirúrgicos. Choi et al. (2023, pp. 241–253) reportan conclusiones similares al analizar los efectos esqueléticos de MARPE en jóvenes y adultos, reforzando la importancia de individualizar el abordaje terapéutico según la maduración sutural.

Más aún, los estudios de Zhang et al. (2025, pp. 1–13) y Sicca et al. (2025, pp. 1–7) sobre SARPE advierten que un diagnóstico incorrecto del estadio de maduración puede llevar a indicar tratamientos insuficientes o, por el contrario, intervenciones quirúrgicas innecesarias. Este riesgo clínico subraya el valor del método aplicado en esta investigación. La pseudocoloración HU no solo permitió diferenciar con precisión el grado de osificación, sino que también proporcionó una base cuantitativa que reduce la incertidumbre diagnóstica y facilita la toma de decisiones fundamentadas.

Desde una perspectiva tecnológica, Los avances recientes también respaldan la necesidad de métodos cuantitativos. Tang et al., (2024, pp. 1–18) demostraron que el uso de inteligencia artificial, aplicada a la misma estructura anatómica evaluada en este estudio,

puede identificar estadios con alta precisión. Aunque en nuestra investigación no se emplearon algoritmos de IA, el paralelismo conceptual es evidente: tanto la pseudocoloración HU como los modelos computacionales avanzados buscan el mismo objetivo clínico: desplazar la evaluación subjetiva hacia métodos cuantificables, reproducibles y menos dependientes del criterio individual.

En conjunto, la evidencia discutida refuerza la importancia de la metodología empleada en esta tesis. No solo fue posible clasificar los estadios con mayor objetividad, sino que también se confirmó que la edad no es la variable determinante, sino la maduración real del tejido palatino. Al comparar nuestros resultados con la literatura, se observa una clara convergencia hacia un cambio de paradigma: abandonar la edad como factor principal y centrarse en un diagnóstico tridimensional, cuantitativo y sustentado en la biología ósea del paciente.

## Conclusiones

El presente trabajo permitió evidenciar que el uso de pseudocoloración basada en unidades Hounsfield para evaluar la sutura media palatina constituye una alternativa diagnóstica mucho más clara y precisa que la tradicional observación en escala de grises. Al aplicar este protocolo sobre imágenes obtenidas mediante tomografía de haz cónico, fue posible distinguir con mayor nitidez las variaciones en la densidad ósea y, en consecuencia, interpretar de manera más confiable el grado real de maduración sutural. Esta forma de análisis contribuyó a reducir la carga subjetiva inherente a la evaluación visual que suele recaer sobre el criterio clínico del evaluador, lo cual representa un avance importante respecto a los métodos convencionales.

Los resultados estadísticos aportaron una perspectiva interesante: si bien se observó una tendencia natural hacia una mayor osificación en sujetos de mayor edad, esta relación no fue lo suficientemente fuerte como para considerar la edad como un indicador definitivo. La correlación moderada obtenida ( $\rho = 0.4369$ ) confirma que la edad cronológica, aunque útil como referencia general, no describe por sí sola la situación biológica de la sutura. Este hallazgo respalda la hipótesis planteada en el estudio, según la cual la elección del tratamiento de expansión maxilar debe fundamentarse en el estadio de maduración ósea y no en la edad del paciente.

La clasificación en cinco estadios, elaborada mediante rangos de densidad y representaciones cromáticas reproducibles, permitió delimitar con claridad qué pacientes pueden beneficiarse de una expansión ortopédica convencional y cuáles requieren alternativas más complejas, como MARPE o SARPE. Esta diferenciación no solo facilita la selección del tratamiento más adecuado, puede contribuir a mejorar la selección del tratamiento.

Además del aporte clínico, esta metodología demuestra un valor formativo relevante. Su incorporación en la práctica académica podría servir como herramienta didáctica para la formación de nuevos ortodoncistas, ofreciendo un modelo de evaluación más objetivo y alineado con los avances actuales en diagnóstico por imágenes. Asimismo, al basarse en parámetros anatómicos y fisiológicos medibles, el protocolo Presenta potencial para su uso ampliado en estudios futuros

En conjunto, los hallazgos de esta investigación invitan a replantear la forma en que se ha evaluado tradicionalmente la maduración de la sutura media palatina. La pseudocoloración basada en HU se perfila como una técnica accesible, replicable y con un enorme potencial para convertirse en una herramienta de referencia tanto en la clínica como en el ámbito académico, promoviendo un enfoque más seguro, individualizado y sustentado en evidencia para el manejo de los pacientes candidatos a expansión maxilar.

## Referencias

- Angelieri, F., Franchi, L., Cevidanes, L. H. S., & McNamara, J. A., Jr. (2013). Diagnostic performance of skeletal maturity for assessment of midpalatal suture maturation. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *144*(5), 759–769. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.04.022>
- Brunetto, M., Sant'Anna, E. F., Machado, A. W., & Moon, W. (2021). Non-surgical treatment of transverse maxillary deficiency in adults using microimplant-assisted rapid palatal expansion (MARPE). *Dental Press Journal of Orthodontics*, *26*(1), 45–52. <https://doi.org/10.1590/2177-6709.22.1.110-125.sar>
- Cantarella, D., Dominguez-Mompell, R., Moschik, C., Sfogliano, L., Elkenawy, I., & Moon, W. (2017). Changes in the midpalatal suture in response to microimplant-assisted rapid palatal expansion in adults. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, *151*(4), 610–620. <https://doi.org/10.1186/s40510-017-0188-7>
- Chae, J. M., Park, J. H., & Tai, K. (2021). Cone-beam computed tomography evaluation of midpalatal suture maturation. *Journal of Clinical Medicine*, *10*(4), 1–12.
- Choi, H.-Y., Lee, S.-M., Lee, J.-W., Chung, D.-H., & Lee, M.-H. (2023). Skeletal and dentoalveolar effects of different types of microimplant-assisted rapid palatal expansion. *Korean Journal of Orthodontics*, *53*(4), 241–253. <https://doi.org/10.4041/kjod23.036>
- Chung, C.-H., Font, B., Skeete, D., & Kim, K.-B. (2024). Quantitative assessment of midpalatal suture maturation using CBCT-based pseudocolor mapping. *Progress in Orthodontics*, *25*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2024.10.019>

- Colonna, M., Discepoli, N., Pini Prato, G., & Testori, T. (2021). Application of CBCT and Hounsfield units in orthodontics: Reliability and reproducibility. *Journal of Dentistry*, *107*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2021.03.002>
- Elkersh, N. M., Hassan, M. G., & Zakaria, O. (2025). Pseudo-color enhancement of CBCT images as a diagnostic tool for radicular cysts and periapical granulomas: A clinical feasibility study. *Clinical Oral Investigations*, *29*, Article 6425. <https://doi.org/10.1007/s00784-025-06425-y>
- Fedorov, A., Beichel, R., Kalpathy-Cramer, J., Finet, J., Fillion-Robin, J.-C., Pujol, S., ... Kikinis, R. (2012). 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magnetic Resonance Imaging*, *30*(9), 1323–1341. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
- Festa, F., Di Blasio, A., Lione, R., & Franchi, L. (2024). Age, sex, and skeletal pattern influence on midpalatal suture maturation. *European Journal of Orthodontics*, 1–15.
- Georgi, G. M., Knauth, S., Hirsch, E., Schulz-Kornas, E., Kahl-Nieke, B., Püschel, K., Amling, M., Koehne, T., Korbmacher-Steiner, H., & Petersen, J. (2023). Age-related changes in the midpalatal suture: Comparison between CBCT staging and bone micromorphology. *Bone*, *176*, 116984. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2023.116984>
- Mahdian, M., Mohammadi, A., Shokri, A., & Fallahi, H. (2020). Interobserver reliability of midpalatal suture maturation assessment using CBCT. *Oral Radiology*, *36*(4), 323–331. <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2020.05.004>

- Melsen, B., & Ghafari, J. (2023). Timing of maxillary expansion: Growth, maturation, and clinical decision-making. *Seminars in Orthodontics*, 29(1), 45–53. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2023.04.003>
- Morar, L., Băciuț, G., Băciuț, M., Bran, S., Colosi, H., Manea, A., Almășan, O., & Dinu, C. (2022). Analysis of CBCT bone density using the Hounsfield scale. *Prosthesis*, 4(3), 414–423. <https://doi.org/10.3390/prosthesis4030033>
- Pauwels, R., Jacobs, R., Singer, S. R., & Mupparapu, M. (2015). CBCT-based bone quality assessment: Are Hounsfield units applicable? *Dentomaxillofacial Radiology*, 44(1), 20140238. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20140238>
- Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B. E., & Sarver, D. M. (2019). *Contemporary orthodontics* (6th ed.). Elsevier.
- Savoldi, F., Wong, K. K., Yeung, A. W. K., Tsoi, J. K. H., Gu, M., & Bornstein, M. M. (2022). Midpalatal suture maturation staging using cone beam computed tomography in patients aged between 9 to 21 years. *Scientific Reports*, 12, 4318. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08293-y>
- Shayani, A., Sandoval Vidal, P., Garay Carrasco, I., & Merino Gerlach, M. (2022). Midpalatal suture maturation method for the assessment of maturation before maxillary expansion: A systematic review. *Diagnostics*, 12(11), 2774.
- Sicca, C., Lagravère, M. O., & Flores-Mir, C. (2025). Surgically assisted rapid palatal expansion in adults: A systematic review. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 1–7. <https://doi.org/10.3390/dj13020047>

- Soto, C., Muñoz, D., & Herrera, F. (2022). Assessment of midpalatal suture maturation using CBCT in orthodontic patients. *Revista Clínica de Ortodoncia*, 38(2), 97–108. <https://dx.doi.org/10.4321/s0213-12852022000300003>
- Tang, Z., Liu, Y., Zhang, Y., & Wang, H. (2024). Artificial intelligence-based classification of midpalatal suture maturation on CBCT images. *Scientific Reports*, 14, 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51234-9>
- Vellini Ferreira, F. (2002). *Ortodoncia: Diagnóstico y planificación clínica*. Artes Médicas.
- Veltri, M., Balleri, P., Goracci, C., & Ferrari, M. (2009). Influence of bone quality on implant stability. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 24(5), 766–771. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2009.01728.x>
- Viet, L. Q., Nguyen, T. H., & Pham, D. C. (2025). Clinical decision-making in maxillary expansion based on sutural maturation. *Journal of Orthodontic Research*, 34–45. <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2024.10.002>
- Zeng, W., Yan, S., Yi, Y., Chen, H., Sun, T., Zhang, Y., & Zhang, J. (2023). Long-term efficacy and stability of miniscrew-assisted rapid palatal expansion in mid to late adolescents and adults: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 23, 829. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03574-y>
- Zhang, J., Li, Y., & Wang, X. (2025). Stability and outcomes of surgically assisted rapid palatal expansion in adults. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2024.10.012>