

**PRECISIÓN Y CONCORDANCIA DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA
MADURACIÓN ESQUELÉTICA EN EL PICO DE CRECIMIENTO.**

AUTORES

MAYRA ALEJANDRA BAHAMON TRUJILLO

HELLEN NICOLE GIRALDO TORRES

Asesor Científico y Metodológico

DRA. LUZ ANDREA VELANDIA PALACIO

Especialista en Ortodoncia

Asesor Estadístico

CAMILO ANDRÉS ROMO

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA UNICOC

ÁREA DE EDUCACIÓN AVANZADA Y CONTINUADA

POSTGRADO DE ORTODONCIA Y ORTOPEDIA MAXILAR

BOGOTÁ D.C, NOVIEMBRE DE 2025

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado “PRECISIÓN Y CONCORDANCIA DE LOS MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA MADURACIÓN ESQUELÉTICA EN EL PICO DE CRECIMIENTO.” Elaborado por Mayra Alejandra Bahamon Trujillo y Hellen Nicole Giraldo Torres como requisito para optar por el título de especialista en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar.

La sustentación se llevó a cabo 27 de noviembre del 2025

Acta No.

Dra. Luz Andrea Velandia Palacio
Asesora Metodológica y Científica

Dr. Camilo Andrés Romo
Director Centro Investigación
Colegio Odontológico – CICO
(BOGOTÁ)

Dra. Sandra Elizabeth Aguilera Rojas
Directora de Investigación y Gestión de conocimiento
Institución Universitaria Colegios de Colombia

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo primeramente a Dios y a las personas que contribuyeron, de manera directa o indirecta, a la culminación de este proceso académico.

A nuestra familia, por su ejemplo de disciplina y compromiso, que nos motivó a perseverar en cada etapa de la formación profesional. Su apoyo constante, expresado en la confianza y el acompañamiento, ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de este proyecto.

A nuestros docentes y tutores, quienes con sus enseñanzas y guía nos motivaron a aprender, a cuestionar y a enfrentar con responsabilidad los temas de investigación.

A mis compañeros y colegas, por los espacios de intercambio de ideas y experiencias que aportaron nuevas perspectivas para la construcción de este estudio.

Finalmente, dedico este esfuerzo a la comunidad académica y científica, con la convicción de que cada aporte, contribuye a fortalecer el conocimiento en beneficio de nuestra profesión.

AGRADECIMIENTOS

“La energía y la persistencia conquistan todas las cosas.” Benjamin Franklin

En primer lugar, queremos agradecer a Dios por permitirnos estar aquí hoy y por regalarnos la salud, la sabiduría y el entendimiento para culminar esta etapa profesional y personal en nuestras vidas. A nuestros padres, que son nuestro motor y nuestro principal apoyo para la realización de este posgrado. Sin ustedes no hubiese sido posible este logro profesional.

A la Institución Universitaria Colegios de Colombia (UNICOC) por darnos la oportunidad de formarnos como especialistas y por brindarnos las herramientas para la realización de esta tesis. A nuestra asesora, la doctora Luz Andrea Velandia, por su compromiso, entrega, dedicación y habernos ayudado a enfocarnos en nuestra investigación.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. ASPECTOS TEÓRICOS CIENTÍFICOS	14
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	16
1.3 PROPÓSITO.....	17
1.4 ANTECEDENTES.....	17
1.5 MARCO TEÓRICO	19
1.5.1 Crecimiento y desarrollo.....	19
1.5.2 Factores que regulan el crecimiento y desarrollo	20
1.5.3 Maduración.....	21
1.5.4 Maduración ósea	22
1.5.5 Anatomía de la columna vertebral.....	22
1.5.6 Pico de crecimiento	23
1.5.7 Indicadores del pico de crecimiento	25
1.5.8 Usos del pico de crecimiento en campo de la odontología y ortodoncia.	
27	
1.6 OBJETIVOS	28
1.6.1 Objetivo general	28

1.6.2	Objetivos específicos.....	28
2	ASPECTOS METODOLÓGICOS	30
2.1	TIPO DE ESTUDIO.....	30
2.2	OBJETO DE ESTUDIO	30
2.3	MATERIAL OBJETO DE ESTUDIO	30
2.4	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	30
2.5	MUESTRA	31
2.6	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	31
2.6.1	Criterios de inclusión	31
2.6.2	Criterios de exclusión	31
2.7	PROCEDIMIENTO.....	31
2.8	ASPECTOS ÉTICOS	34
2.8.1	Consentimiento individual:	34
2.8.2	Causar daño o algo impropio	34
2.8.3	Confidencialidad:.....	34
2.9	ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	35
3	RESULTADOS	36
4	DISCUSIÓN	39
5	CONCLUSIONES	44

6	RECOMENDACIONES.....	45
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
	TABLAS	51
	FIGURAS.....	63

LISTAS ESPECIALES

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Instrumento de recolección de datos estandarización	52
Tabla 2. Medidas estandarización Gold estándar operador 1.....	53
Tabla 3. Medidas estandarización operador 2.....	54
Tabla 4. Medidas estandarización operador 3.....	55
Tabla 5. Resultado de la estandarización.....	56
Tabla 6. Estandarización de las medidas (Prepuberal-Puberal-Pospuberal).....	57
Tabla 7. Caracterización de la población.....	58
Tabla 8. Distribución de participantes por sexo y grupo de edad.....	59
Tabla 9. Concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética.....	60
Tabla 10. Concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética diferenciando por sexo.....	61
Tabla 11. Concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética diferenciando por fase de crecimiento.....	62
Tabla 12. Concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética en la etapa del pico de crecimiento.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Maduración ósea.....	58
Figura 2. 11 indicadores de maduración esquelética (SMI).....	58
Figura 3. Etapas del método de maduración Cervicovertebral (CVM).....	59
Figura 4. Lado anterior (A) y posterior (B) del cuarto cuerpo vertebral cervical.....	59
Figura 5. Flujograma selección de la muestra.....	59
Figura 6. Base de datos AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection.....	60

GLOSARIO

- **Pico de crecimiento puberal:** Período durante la pubertad en el que ocurre la mayor velocidad de crecimiento en estatura y estructuras esqueléticas. Es crítico para intervenciones ortodónticas y ortopédicas.
- **Maduración esquelética:** Secuencia de cambios biológicos que experimentan los huesos hasta alcanzar la morfología adulta definitiva.
- **SMI (Indicador de madurez esquelética):** Método de Fishman (1982) que evalúa la maduración esquelética a partir de 11 indicadores en radiografías de mano y muñeca.
- **CVM (Maduración vertebral cervical):** Método de Baccetti (2002) que evalúa la maduración esquelética mediante la morfología de las vértebras cervicales observadas en radiografías laterales de cráneo.
- **Vba (Altura anterior y posterior de la cuarta vertebra cervical):** Método cuantitativo propuesto por Cameriere (2023) que mide la relación entre la altura anterior y posterior de la cuarta vértebra cervical como indicador de maduración esquelética.
- **Radiografía de muñeca:** Imagen diagnóstica que muestra huesos carpianos, metacarpianos y falanges, utilizada para evaluar la edad ósea y el grado de maduración esquelética.
- **Cefalometría lateral:** Radiografía lateral de cráneo usada en ortodoncia para análisis esquelético, dentario y de tejidos blandos, en la cual se observan las vértebras cervicales.

- **Epífisis:** Extremo de un hueso largo donde ocurre el crecimiento óseo a través del cartílago de crecimiento.
- **Fusión epifisaria:** Proceso de unión entre epífisis y diáfisis que marca la finalización del crecimiento óseo.
- **Ortopedia maxilar:** Rama de la odontología que corrige alteraciones en el crecimiento y desarrollo de los maxilares durante la infancia y adolescencia.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento craneofacial es un proceso que sigue patrones biológicos predecibles, siendo el pico de crecimiento puberal un momento importante para las intervenciones en ortodoncia y ortopedia maxilar. La identificación precisa de este período es de relevancia clínica, ya que permite optimizar los resultados del tratamiento en pacientes con discrepancias esqueléticas y determinar el momento más adecuado para iniciar terapias funcionales o planificar cirugías ortognáticas¹. Sin embargo, la evaluación de la maduración esquelética presenta desafíos metodológicos importantes que requieren ser abordados².

Diversos métodos han sido propuestos para evaluar la maduración esquelética. Fishman desarrolló el Análisis de los Indicadores de Maduración Esquelética (SMI) mediante radiografías de muñeca, este ha sido considerado el gold estándar para esta evaluación³; Posteriormente, Baccetti et al. propusieron el método de Maduración Vertebral Cervical (CVM), basado en cambios morfológicos en las vértebras cervicales⁴. Si bien ambos métodos han demostrado utilidad clínica, presentan limitaciones significativas. El SMI requiere radiografías adicionales de la muñeca, incrementando la exposición a radiación ionizante, mientras que el CVM depende de la percepción del clínico. Estas limitaciones han motivado la búsqueda de alternativas, como el reciente método Vba (Proyección de la Altura anterior y posterior de C4), que propone una evaluación cuantitativa centrada exclusivamente en la cuarta vértebra cervical⁵.

La importancia de esta investigación radica en la necesidad clínica de contar con métodos confiables, precisos y reproducibles para determinar el estadio de maduración esquelética¹. En la práctica ortodóntica las decisiones terapéuticas deben sustentarse en evidencia científica sólida. Además, la introducción del método Vba como una alternativa complementaria y potencialmente más objetiva merece una evaluación que permita establecer comparativamente con SIM y CVM la precisión diagnóstica. Dado que no existen estudios que evalúen la precisión del SMI, CVM y Vba en la identificación del pico de crecimiento, surge la necesidad de comparar los métodos de evaluación de la maduración esquelética: Fishman (SMI) con Maduración Vertebral Cervical (CVM) y Proyección de la Altura anterior y posterior de C4 (Vba) en la identificación del pico de crecimiento.

1. ASPECTOS TEÓRICOS CIENTÍFICOS

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La maduración esquelética se refiere al proceso mediante el cual los huesos del cuerpo se desarrollan y adquieren su forma y tamaño finales. Durante la infancia y la adolescencia, los huesos están en constante desarrollo y crecimiento, y pasan por diferentes etapas de maduración; esta es eficaz para evaluar el pico de crecimiento en adolescentes tanto en altura corporal como en tamaño mandibular¹. El pico de crecimiento se refiere al período en el que un individuo experimenta el crecimiento más rápido en términos de altura y desarrollo físico en general. En los seres humanos, este período suele ocurrir durante la pubertad, que es cuando ocurren cambios hormonales significativos que impulsan el crecimiento esquelético y muscular. Los picos de crecimiento pueden variar en términos de edad y duración según el individuo, el género y otros factores genéticos y ambientales⁶.

La ortopedia maxilar está íntimamente ligada a la identificación de períodos de crecimiento acelerado o intenso que pueden contribuir significativamente a la corrección de los desequilibrios esqueléticos en cada paciente¹; esta información es útil principalmente en casos de discrepancias esqueléticas y para decisiones clínicas sobre el momento de cirugía ortognática o el momento de inicio del tratamiento, Además, la maduración esquelética puede ser útil para estimar la edad en individuos vivos o cadáveres humanos ⁴.

Fishman LS ³ en 1982 desarrolló un método para evaluar el pico de crecimiento

puberal mediante el Análisis de los Indicadores de Maduración Esquelética (SMI) en radiografías de la muñeca. Este análisis es clave en ortodoncia y ortopedia dentofacial para determinar el momento óptimo de intervención en pacientes en crecimiento.

Baccetti et al.⁴ en el 2002 refiere que el pico de crecimiento y maduración esquelética ha sido útil como índice madurativo para detectar el momento óptimo para iniciar el tratamiento de las deficiencias mandibulares mediante ortopedia funcional a través de las vértebras cervicales.

Cameriere et al.⁵ el año 2023 propusieron una metodología alterna para evaluar el pico de crecimiento de la cuarta vertebra cervical con respecto a la altura anterior y posterior. Una de las limitaciones que se encontró en cuanto a los métodos cervicales vertebrales cualitativos (CVM) era que tenían poca concordancia y dificultades para clasificar las formas de los cuerpos vertebrales C3 y C4 lo cual hacía que la fiabilidad del método fuera incierta; debido a esas dificultades, se probó el método de uso clínico para determinar el momento del tratamiento de ortodoncia. Por esta razón se propone realizar un estudio para evaluar cuál de los métodos, SMI, CVM y Vba, es más eficaz y preciso para determinar el pico de crecimiento y maduración esquelética cervical en niñas de 8 a 13 años y niños de 9 a 14 años.

Baccetti et al.⁴ indica que un indicador biológico "ideal" de la madurez esquelética mandibular individual debe caracterizarse por: El método debe ser eficaz en la detección del pico de crecimiento, y determinar; no es necesario una exposición

adicional a los rayos X; debe haber coherencia en la interpretación de los datos y adicionalmente debe plantear con exactitud en que etapa del crecimiento se encuentra el paciente para determinar el tratamiento adecuado con respecto a ello.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la toma de decisiones de tratamiento en ortodoncia y/ ortopedia maxilar, contar con información específica del pico de crecimiento del paciente es necesario, para así contar con un diagnóstico que permita ser usado en clínica con base en evidencia científica, sobre el momento óptimo para aplicar ciertos tratamientos e intervenir de manera adecuada a la población estudiada.

Teniendo en cuenta que existen limitaciones con los métodos actuales, ya que depende de la percepción del clínico, según la forma de las vértebras estudiadas y la osificación y fusión de los huesos de la mano; adicionalmente varios autores han puesto en duda la reproducibilidad del método y concluyen que la forma de las vértebras cervicales por sí sola no podía predecir la maduración esquelética (6). Es de gran relevancia poder contribuir en búsqueda de un método confiable para los ortodoncistas y ortopedistas para la evaluación estandarizada del pico de crecimiento en relación únicamente con la C4 ⁵ además que no hay investigaciones que evalúen la eficacia y precisión del método CVM, SMI con respecto al método Vba ⁷.

1.3 PROPÓSITO

Este estudio será de utilidad para el área tanto clínica como científica de la ortodoncia y para la evolución del tratamiento ortopédico con la utilización del método Vba, porque permitirá a los profesionales e instituciones de educación superior contar con una herramienta menos subjetiva y para valorar el pico de crecimiento y maduración esquelética en la que se encuentra el paciente.

1.4 ANTECEDENTES

La evaluación de la maduración esquelética es fundamental en la planificación de tratamientos ortodónticos y ortopédicos, ya que permite identificar el pico de crecimiento, crucial para intervenciones oportunas en medicina y odontología ¹. Tradicionalmente, métodos como el análisis de radiografías de mano y muñeca (Fishman, SMI)³ han sido considerados el "gold estándar" para determinar la maduración ósea. Sin embargo, la necesidad de minimizar la exposición a radiación y simplificar los protocolos diagnósticos ha impulsado el desarrollo de alternativas basadas en estructuras anatómicas visibles en radiografías laterales, como las vértebras cervicales.

El método de Fishman (SMI)³, descrito en 1982, evalúa la maduración esquelética mediante 11 indicadores en falanges y el radio. Aunque ofrece alta precisión, requiere radiografías adicionales de mano y muñeca, incrementando la exposición a radiación ³.

La Maduración Vertebral Cervical (CVM)⁴, propuesta inicialmente por Lamparski ⁸

(1972) y mejorada por Baccetti et al.¹ (2002), analiza cambios morfológicos en las vértebras C2, C3, C4, C5 y C6 en radiografías laterales. Este método, consta de seis etapas (CVMS I-VI). Su ventaja radica en utilizar imágenes ya incluidas en protocolos ortodónticos, aunque su reproducibilidad puede verse afectada por la subjetividad en la clasificación de formas vertebrales.

Recientemente, Cameriere et al.⁵ introdujeron el índice Vba, que cuantifica la relación entre las proyecciones de altura anterior y posterior de C4. Este método predice el inicio y fin del pico de crecimiento, ofreciendo una aproximación cuantitativa y objetiva. Estudios preliminares en poblaciones europeas muestran correlación con la edad cronológica, pero su validación en otras etnias y su comparación directa con métodos establecidos aún son limitadas.

Investigaciones previas han destacado la utilidad clínica del CVM, comparándolo en precisión al análisis de mano y muñeca¹, mientras que el Vba emerge como una alternativa por su facilidad de medición y fiabilidad del método al ser cuantitativo. No obstante, no hay estudios que comparen simultáneamente SMI, CVM y Vba; y hay falta de evidencia sobre diferencias por género y fase de crecimiento; requiriendo validar el Vba con respecto a los métodos ya establecidos.

Esta tesis busca evaluar la concordancia y precisión de los tres métodos frente al gold estándar (SMI), considerando variables críticas como el sexo y la fase de crecimiento. Los hallazgos contribuirán a optimizar protocolos clínicos, priorizando métodos menos invasivos y más integrables en la práctica diaria, sin comprometer

la precisión diagnóstica.

1.5 MARCO TEÓRICO

1.5.1 Crecimiento y desarrollo

El crecimiento y el desarrollo son el resultado de interacción de factores genéticos y ambientales que estarán ligados a condiciones de vida físicas, biológicas, nutricionales y psicosociales. La evaluación periódica del crecimiento ofrece la posibilidad de observar cómo ante variaciones positivas o negativas de las condiciones de salud y nutrición, mejoran o afectan los parámetros del crecimiento físico de los niños ⁹.

El crecimiento se define como el aumento gradual en masa de un ser vivo y el desarrollo es el proceso de evolución de las funciones de los sistemas; por lo tanto, el crecimiento y el desarrollo van ligados ya que el aumento de tamaño (crecimiento) conlleva a una diferenciación estructural y funcional (desarrollo) ⁹.

El factor genético implica el proceso de maduración biológica, se hereda y se estima que sea en un rango de tiempo similar a la de padres. En el factor ambiental encontramos el factor socioeconómico, en el cual los niños que pertenecen a una población vulnerable se desarrollaran menos que los niños que pertenecen a estratos sociales más altos. El factor nutricional, revela que si hay desnutrición en el ser humano influirá en el retraso del crecimiento. Otro factor importante es el factor neuroendocrino, ya que para un funcionamiento correcto del organismo es necesario la presencia de hormonas; si se presenta algún desorden a nivel

neuroendocrino pueden presentarse alteraciones en el crecimiento y desarrollo, ya sea en una aceleración o lentitud ⁹. Se encuentran 5 estadios de acuerdo con la curva de crecimiento estatural; el primer estadio: INICIO, es el comienzo del crecimiento puberal; el segundo estadio: del INICIO al PICO, corresponde al periodo de crecimiento acelerado: Fase acelerativa, denominado “el estirón de pubertad” o “empuje puberal”, que aproximadamente se inicia en niñas a los 10 ó 10.5 años y en niños a los 12 ó 12.5 años. El tercer estadio: PICO de velocidad en estatura, corresponde a la máxima velocidad del crecimiento estatural en la pubertad y que en las niñas es en promedio a los 12 años y en los niños a los 14 años, con una media de 2 años en cada sexo. Durante este estadio, las niñas en promedio crecen 8 cm. por año y los niños crecen 9 cm. por año. El cuarto estadio: del PICO al FINAL, corresponde al período de desaceleración, en la cual, la velocidad del crecimiento disminuye. El último estadio: FINAL (END), es el fin del crecimiento puberal, en el cual el crecimiento disminuye y cesa, en las niñas entre los 17 y 18 años y en los niños entre los 19 y 20 años ⁷.

1.5.2 Factores que regulan el crecimiento y desarrollo

- Factores nutricionales: Hace referencia a la necesidad de contar con una adecuada alimentación, con el fin de asegurar el crecimiento (Malnutrición por defecto en un recién nacido)⁹.
- Factores socioeconómicos: Niños que viven en estratos sociales altos

muestran distintos ritmos de crecimiento, tienen mayor masa corporal, altura en comparación con niños de estratos sociales bajos ⁹.

- Factores emocionales: Se relacionan con la importancia de un ambiente psicoafectivo adecuado que el niño necesita desde su nacimiento y a lo largo del crecimiento. Los estados de carencia afectiva se traducen, entre otras manifestaciones, en la detención del crecimiento ⁹.
- Factores genéticos o enfermedades: ejercen su acción en forma permanente durante el transcurso del crecimiento. Permiten la expresión de las variaciones existentes entre ambos sexos y aun entre los individuos de un mismo sexo en cuanto a las características diferenciales de los procesos madurativos. En algunas circunstancias pueden ser responsables de la aparición de enfermedades secundarias en la estructura de los genes ⁹
- Raza: Existen alteraciones raciales con respecto a la altura, el peso, aceleración del crecimiento, mineralización de los dientes, erupción de los dientes y osificación ósea ⁹.

1.5.3 Maduración

Se mide por la aparición de funciones nuevas como caminar, hablar, sostener la cabeza, o de eventos como aparición de un diente, aparición de la primera menstruación en la niña, aparición de nuevos huesos en las radiografías. No todos los niños terminan su crecimiento con el mismo peso, o con la misma estatura; en cambio, todos los niños terminan su maduración con la adquisición de todas las

funciones y características de la adultez. Existe una variación normal en la velocidad con que los niños maduran ⁹.

1.5.4 Maduración ósea

Desde el nacimiento hasta la madurez aparecen en forma progresiva muchos huesos que no se habían diferenciado; aquellos que ya se han diferenciado van adquiriendo una conformación que progresivamente los llevarán a alcanzar la formación adulta ⁹.

Existen huesos anchos (huesos del carpo, grande, ganchoso), huesos cortos (falanges y metacarpianos), huesos largos (fémur, tibia, húmero) y se presentan tres etapas: I: La longitud del hueso aumenta gracias a un cartílago de crecimiento presente en uno de sus dos extremos y es invisible a los rayos rx por no estar calcificado. II: Aparece la epífisis por el cartílago de crecimiento. III: Se produce la desaparición progresiva del cartílago de crecimiento. IV: El hueso adquiere su conformación adulta. Desaparece el cartílago de crecimiento con la consiguiente detención definitiva de ese crecimiento ⁹.

Este proceso de maduración no transcurre a la misma velocidad en todos los niños. Hay individuos que terminan su maduración ósea en 16 años y otros que lo hacen en 19 ó 20. Los niños no detienen su crecimiento porque hayan llegado a una edad cronológica sino cuando han alcanzado su maduración ósea ⁹. (Ver fig. 1)

1.5.5 Anatomía de la columna vertebral

La extensión promedio de la columna vertebral es de 71 cm en niños y de 61 cm en

niñas. Está formada por 33 ó 34 vértebras, que son divididas en: 7 cervicales, 12 dorsales, 5 lumbares, 9 o 10 pélvicas; las 3 primeras se llaman vértebras libres ya que son independientes, todas las vértebras libres tienen características similares ¹⁰. La columna vertebral consta de 7 vértebras cervicales (C1-C7). La primera vértebra se llama atlas, y la segunda se llama axis, esta región permite movimientos del cuello y la cabeza. Desde la tercera a la séptima vértebra tienen una morfología similar, comprenden de un cuerpo vertebral, dos apófisis transversas, dos agujeros transversos que permiten el paso del tejido vasculonervioso, una apófisis espinosa posterior y cuatro superficies articulares ¹⁰.

1.5.6 Pico de crecimiento

El pico de crecimiento puberal es la etapa donde el crecimiento del organismo experimenta una serie de cambios físicos y hormonales llegando a su máxima aceleración, suele ocurrir alrededor de la mitad de la pubertad, generalmente alrededor de los 12-16 años en las niñas y 14-18 años en los niños, aunque las edades exactas pueden variar de una persona a otra. Durante este período, los adolescentes pueden experimentar un crecimiento significativo en altura en un corto período de tiempo. Algunos niños tienen una maduración lenta y alcanzan el pico de crecimiento puberal en edades avanzadas, mientras que otros, lo alcanzan en edades menores ¹¹.

Este crecimiento es impulsado por cambios hormonales, en particular, el aumento en la producción de hormonas del crecimiento y hormonas sexuales. Estas

hormonas desencadenan el alargamiento de los huesos largos en el cuerpo, lo que resulta en un aumento de la estatura, ya que una vez que los huesos largos se osifican, el crecimiento se detiene ¹¹.

Entre las referencias utilizadas para identificar los diferentes estadios de crecimiento, se encuentran las características de maduración sexual, la edad cronológica, el desarrollo dental, la altura y el peso, pero existen métodos más fiables para su aplicación en ortodoncia como lo es el desarrollo esquelético (mano y vértebras cervicales) ¹¹.

El uso de las vértebras cervicales para determinar la maduración esquelética no es nuevo. En 1972, Lamparsky ⁸ concluyó que las vértebras cervicales vistas en la radiografía lateral eran estadística y clínicamente confiables para valorar la edad esquelética como la técnica de la RX de mano/muñeca. Él encontró que los indicadores de las vértebras cervicales eran los mismos para niños y niñas, pero que las niñas desarrollaban los cambios más tempranamente ¹².

Las vértebras cervicales, como cualquier otra parte del organismo sufren una serie de cambios a medida que el individuo se desarrolla. Knutsson et al.¹³ en 1961 describieron el crecimiento que tiene lugar en las vértebras del ser humano después del nacimiento, tanto en sentido vertical como horizontal; las vértebras cervicales presentan unos patrones de desarrollo y unos núcleos de osificación comparables a los huesos de la muñeca y de la mano, por lo tanto, se pueden utilizar de forma más confiable para valorar la edad ósea del individuo estudiando la modificación de

las vértebras en cuanto a forma y tamaño. La edad vertebral se basa en la evaluación de diversos eventos de maduración y desarrollo que aparecen en forma secuencial durante la madurez ósea específicamente en las vértebras cervicales ¹².

1.5.7 Indicadores del pico de crecimiento

1.5.7.1 Análisis de Fishman (SMI):

El análisis de Fishman es un método clínico basado en radiografías de mano y muñeca para evaluar la maduración esquelética durante la adolescencia. Su objetivo es identificar el grado de desarrollo esquelético de un paciente y correlacionarlo con su crecimiento general y facial, lo que es crucial en ortodoncia y ortopedia dentofacial. Fishman, ha encontrado correlaciones significativas entre las etapas de maduración esquelética y el crecimiento en altura. En general, el pico de crecimiento en altura ocurre antes que el máximo crecimiento mandibular. Se observan diferencias entre sexos: las niñas alcanzan el pico de maduración antes que los hombres³.

Esta identificación del pico de crecimiento permite planificar el tratamiento ortodóncico y ortopédico en función del crecimiento restante; es útil para determinar el mejor momento para el uso de aparatos ortopédicos o cirugía ortognática y facilita la predicción del crecimiento craneofacial y la estabilidad de los resultados ortodóncicos³.

1.5.7.1.1 Indicadores de Maduración Esquelética (SMI)

- Fishman identifica 11 indicadores de maduración esquelética (SMI) que se

encuentran en seis sitios anatómicos de la mano y la muñeca. Estos incluyen el ensanchamiento epifisario, la osificación del sesamoideo aductor del pulgar, el recubrimiento de las epífisis y la fusión epifisaria.

- La secuencia de aparición de estos indicadores es predecible y permite determinar el estado madurativo de un individuo ³. (Ver fig 2.)

1.5.7.2 Método de maduración vertebral cervical CVM

Las primeras siete vértebras de la columna espinal constituyen la columna cervical. Las primeras dos vértebras, el atlas y el axis presentan características únicas y muy particulares respecto a las siguientes que comparten su anatomía principal ¹⁴.

El método de determinación de madurez esquelética fue propuesto inicialmente por Lamparski y luego modificado por Hassel & Farman. Se establecen 6 etapas:

Etapa CS1. (iniciación), Las vértebras tienen forma de cuña, con bordes superiores que se adelgazan desde posterior hacia anterior. Los bordes inferiores de todos los cuerpos vertebrales cervicales son planos ¹⁴.

Etapa CS2. (aceleración), Los bordes cervicales de C2 y C3 desarrollan concavidades inferiores, los cuerpos cervicales de C3 y C4 son prácticamente rectangulares, el borde inferior de C4 es plano y la altura anterior de los cuerpos cervicales aumenta ¹⁴.

Etapa CS3. (transición), se desarrollan concavidades en C2 y C3, se inicia el desarrollo de la concavidad en el borde inferior de C4, los cuerpos vertebrales de C3 y C4 son rectangulares ¹⁴.

Etapa CS4. (desaceleración), Se observan claras concavidades en los bordes inferiores de C2, C3 y C4 con los cuerpos vertebrales de C3 y C4 casi cuadrados, Los cuerpos de todas las vértebras cervicales son rectangulares ¹⁴.

Etapa CS5. (maduración), Se observan concavidades acentuadas en los bordes inferiores de C2, C3 y C4, y los cuerpos vertebrales de C3 y C4 son prácticamente cuadrados, las concavidades se observan bien definidas en todos los bordes inferiores de las vértebras cervicales.

Etapa 6. (finalización), Se observan concavidades profundas en los bordes inferiores de C2, C3 y C4, los cuerpos vertebrales presentan una dimensión más vertical que horizontal ⁴. (Ver Fig. 3.)

1.5.7.3 Método de Proyección de la Altura Anterior y Posterior de la Cuarta Vértebra Cervical (Vba):

La relación de alturas anterior y posterior de la C4 o Vba, ha mostrado una correlación con la edad cronológica y fue reconocido como un indicador potencial para la estimación de la edad. La relación entre la proyección de altura anterior y la posterior ($A/B = Vba$)⁵ (Ver fig 4)

1.5.8 Usos del pico de crecimiento en campo de la odontología y ortodoncia.

La maduración esquelética es importante en ortodoncia para predecir el pico y finalización del crecimiento, así como los períodos de aceleración y desaceleración del crecimiento. Esta información es útil principalmente en casos de discrepancias esqueléticas y para decisiones clínicas sobre el momento de la cirugía ortognática;

se puede utilizar para determinar el tiempo de tratamiento óptimo para diversos procedimientos de ortodoncia².

En la cirugía ortognática contribuye a la planificación del tratamiento y predice si esta es apropiada para la etapa en la que está el paciente, ayuda a determinar el momento adecuado para iniciar la ortodoncia y, si es necesario, para programar la cirugía ortognática.

En caso de discrepancias esqueléticas en pacientes que aún se encuentran en pico de crecimiento, se puede establecer tratamiento con ortopedia maxilar y mandibular, la cual se encarga del direccionamiento del crecimiento de los maxilares mediante diferentes herramientas y aparatos¹.

También es útil en el proceso de identificación de víctimas para explorar la relación entre la edad dental y la madurez vertebral cervical, el cual evalúa la madurez esquelética a partir de los cambios en la morfología vertebral ¹⁵.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Determinar la precisión y concordancia de los métodos de evaluación de la maduración esquelética: Fishman (SMI) Vs Maduración Vertebral Cervical (CVM) y Proyección de la Altura anterior y posterior de C4 (Vba), teniendo en cuenta género y fase de crecimiento.

1.6.2 Objetivos específicos

- Comparar la concordancia y precisión los métodos de evaluación de la

maduración esquelética.

- Comparar la concordancia y precisión de los métodos Vs Gold estándar, diferenciando por sexo.
- Comparar la concordancia y precisión de los métodos Vs Gold estándar, diferenciando por fase de crecimiento.
- Comparar la concordancia y precisión de los métodos Bacetti y Vba en la etapa de pico de crecimiento utilizando como referencia el método de Fishman.

2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 TIPO DE ESTUDIO

Estudio transversal comparativo

2.2 OBJETO DE ESTUDIO

Pico de crecimiento

2.3 MATERIAL OBJETO DE ESTUDIO

156 radiografías, 78 de muñeca y 78 laterales; los sujetos pertenecen a la base de datos AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection y se tomaron las muestras de Burlington Growth y Forsyth Twin de niños de 9-14 años y niñas de 8-13 años.

2.4 UNIDAD DE OBSERVACIÓN

Radiografías laterales y de mano, longitudinales tomadas de la AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection.

Por efectos del estudio se utilizarán las siguientes variables:

- Método Vba: Método de medición de la altura anterior y posterior de la C4.
Tipo de variable: Dependiente.
- Método CVM: Método de determinación de madurez esquelética a través de su anatomía.
Tipo de variable: Dependiente.
- Método SMI: Análisis de los Indicadores de Maduración Esquelética.
Tipo de variable: Dependiente.
- Sexo: Es el conjunto de las peculiaridades que caracteriza los individuos de

una especie, dividiéndolos en femenino y masculino.

Tipo de variable: Independiente.

- Edad: Es el tiempo transcurrido a partir del nacimiento de un individuo.

Tipo de variable: Independiente.

2.5 MUESTRA

156 radiografías, 78 radiografías de muñeca y 78 radiografías laterales de Niños de 9-14 años y niñas de 8-13 años; los sujetos pertenecen a la base de Michigan Growth Center.

2.6 CRITERIOS DE SELECCIÓN

2.6.1 Criterios de inclusión

- Radiografías de mano y laterales de niños de 9 a 14 años y niñas de 8 a 13 años
- Radiografías laterales donde se evidencie la 4 vertebra cervical

2.6.2 Criterios de exclusión

- Pacientes con alteración craneofacial evidentes.
- Radiografías con baja calidad de imagen
- Radiografías de mano y laterales que tengan al menos 4 seguimientos en el tiempo de etapas entre 8 a 14 años (Ver fig 5)

2.7 PROCEDIMIENTO

Inicialmente se realizó una búsqueda en la base de datos AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection¹⁶ (Ver Fig. 6) y en ella la revisión de las diferentes categorías de

muestras para determinar cuáles contenían radiografías laterales y de muñeca y realizar la recolección de datos de los pacientes, que se requerían en el estudio junto a la selección de las radiografías para poder aplicar los métodos de identificación del pico de crecimiento. Se evaluó que se contara con una población de niños de 9 a 14 años y niñas 8 a 13 años y que contaran con radiografías de mano y radiografías laterales que fuera posible evidenciar hasta la sexta vertebra cervical.

Posteriormente, se realizó la estandarización en la cual se utilizaron 10 radiografías de perfil y de muñeca diferentes a los incluidos en la muestra (Ver tabla 1) Para el registro de los datos se tuvieron en cuenta los métodos: Indicadores de la maduración esquelética de Fishman (SMI), método de maduración vertebral cervical (CVM) y método de Proyección de la Altura Anterior y Posterior de la Cuarta Vértebra Cervical (Vba) como descritos a continuación:

Indicadores de maduración esquelética (SMI)

Fishman identifica 11 indicadores de maduración esquelética (SMI) que se encuentran en seis sitios anatómicos de la mano y la muñeca.

Estos incluyen el ensanchamiento epifisario, la osificación del sesamoideo aductor del pulgar, el recubrimiento de las epífisis y la fusión epifisaria (Ver fig. 2).

Método de maduración vertebral cervical (CVM)

Se establecen 6 etapas: Etapa CS1. (iniciación); etapa CS2. (aceleración), etapa CS3. (transición); etapa CS4. (desaceleración), etapa CS5. (maduración); etapa CS6. (finalización) (Ver fig. 3).

Método de Proyección de la Altura Anterior y Posterior de la Cuarta Vértebra

Cervical (Vba): La relación entre la proyección de altura anterior y la posterior ($A/B=Vba$) (Ver fig. 4.)

Teniendo en cuenta que los 3 métodos se categorizan de manera diferente, se realizó una estandarización en 3 niveles donde se unificó SMI, CVM y Vba:

- Prepuberal (SMI: 1-4; CVM: CS1-CS2; Vba: Niños índice $<0,67$; Niñas $<0,65$)
- Puberal (SMI: 5-7; CVM: CS3-CS4; Vba: Niños índice $0.67 \leq - < 0.88$; Niñas $0.65 \leq Vba < 0.90$)
- Postpuberal (SMI: 8-11; CVM: CS5-CS6; Vba: Niños índice $0.88 \leq - \geq 0.97$; Niñas $0.90 \leq - \geq 1.07$) (Ver tabla. 6.)

Se realizaron 2 tomas de medidas en las radiografías de perfil de los pacientes no incluidos en la muestra por parte de 3 examinadores, estas fueron obtenidas con 8 días de diferencia, utilizando como instrumento de medición para el método Vba el programa IMAGE J de licencia gratuita versión 1.54, en cual se midió pixel por milímetro y a continuación los datos obtenidos fueron consignados en la tabla de registro, en el programa de hoja de cálculo Excel (Ver Tablas 1 a 5).

Posteriormente, se realizaron las mediciones de la muestra según los 3 métodos, y se recolectaron los datos en el programa de hoja de cálculo Excel; seguidamente, se efectuó el análisis estadístico y con estos datos obtenidos se hizo la interpretación de ellos para la redacción de resultados, discusión y conclusiones.

2.8 ASPECTOS ÉTICOS

De acuerdo a la normatividad Nacional a través de la Resolución 008430 de octubre 4 de 1993 y en cumplimiento con los criterios mencionados en el Título II, capítulo 1, Art.6 y Art. 11 de dicha resolución, la presente investigación NO PRESENTA RIESGO dado que: Es un estudio que emplean técnicas y métodos de investigación documental de exámenes radiográficos de una base de datos publica de la AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection y en los que no se realizó ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio

2.8.1. Consentimiento individual: La presente investigación involucro el análisis retrospectivo de radiografías de mano y laterales tomadas de una base de datos secundaria, publica de la AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection de pacientes seguidos longitudinalmente recolectadas previamente donde los datos fueron anonimizados y se cuento con autorización previa de los participantes o de sus representantes legales.

2.8.2 Causar daño o algo impropio. En el presente estudio no existió ningún daño al paciente dada la naturaleza retrospectiva y de tipo análisis documental de la muestra.

2.8.3 Confidencialidad: La presente investigación tomo los datos de la AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection donde sus radiografías fueron anonimizadas previa publicación de estas en el sitio web.

2.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Previo a aplicar todas las pruebas y realizar el análisis estadístico, se estandarizaron los operadores con 10 mediciones en 2 períodos diferentes con intervalo de 8 días aplicando un análisis de concordancia para determinar la fiabilidad y reproducibilidad de las mediciones, identificar posibles sesgos sistemáticos entre los observadores para describir la muestra. El análisis de concordancia empleó: ICC para variables numéricas, Kappa de Fleiss para categóricas ordinales, y Kappa de Cohen para concordancia intergrupo.

Todos los datos fueron recolectados, tabulados y sometidos a análisis estadístico con Microsoft Office Excel (versión 2024) (Ver Tablas 1 a 5).

Para el análisis de los resultados obtenidos, se aplicaron las siguientes pruebas estadísticas: Cohen's Kappa nominal y Cohen's Kappa ponderado para determinar la concordancia de los métodos, la precisión para medir la consistencia y repetibilidad de las mediciones, y error medio para evaluar la precisión de los métodos, mostrando en qué medida se apartan de la realidad.

3 RESULTADOS

Al evaluar la concordancia de los métodos en función de la maduración esquelética se evidencio entre el método de CVM y SMI, un índice Kappa nominal de 0,543 en niños y 0,7 en niñas, lo que indica una concordancia moderada y sustancial, respectivamente. Al aplicar el coeficiente Kappa ponderado, los valores se incrementaron a 0,637 en niños y 0,820 en niñas, obteniendo una concordancia sustancial, especialmente en el grupo femenino. A diferencia, el método Vba mostró un índice Kappa nominal de 0,470 en niños y 0,429 en niñas, con una concordancia moderada en ambos casos. El Kappa ponderado que alcanzó valores de 0,664 y 0,606 en niños y niñas, respectivamente.

Al evaluar la precisión de los métodos en función de la maduración esquelética se evidencio que fue superior para el método CVM, con valores de 75,6% en niños y 81,8% en niñas, frente a los resultados del método Vba, que alcanzó una precisión de 71,1% y 63,6% en niños y niñas, respectivamente (Ver tabla 9).

Al evaluar la concordancia de los métodos diferenciado por sexo en el grupo masculino, el método CVM mostró una concordancia baja en el rango de 10 - 11 años ($\kappa = 0,395$) y de 13 - 14 años ($\kappa = 0,359$), con un Kappa ponderado de 0,746 y 0,468, respectivamente. El método Vba alcanzó niveles superiores de concordancia en los estadios de 8 - 9 años ($\kappa = 0,814$; ponderado 0,814), mientras que en los intervalos de 10 - 11 años ($\kappa = 0,345$; ponderado 0,667) y 13 - 14 años ($\kappa = 0,108$; ponderado 0,108) la concordancia se redujo a niveles bajos. En el grupo femenino,

el patrón fue similar; CVM registró valores de concordancia nominal de 0,395 y 0,359 en los estadios de 10-11 y 13-14 años, respectivamente, mientras que Vba mostró una concordancia sustancial a los 8-9 años ($\kappa = 0,814$) pero descendió a niveles bajos en los intervalos posteriores.

Al evaluar la precisión de los métodos diferenciando por sexo evidenció que, en el grupo masculino, CVM alcanzó un 86,7% en los 13 - 14 años, aunque con valores más bajos en los 10 - 11 años (60%). Vba mostró una precisión máxima de 8 - 9 años (100%), pero descendió a 72,7% en los 10 - 11 y 13 - 14 años. En el grupo femenino, la precisión de CVM fue estable entre 66,7% y 80% en los distintos estadios, mientras que Vba alcanzó un rendimiento de 90,9% de 8 - 9 años, con un descenso progresivo de 54,5% y 45,5% de 10 - 11 y 13 - 14 años, respectivamente (Ver tabla 10).

Al evaluar la concordancia de los métodos diferenciando por fase de crecimiento entre el método CVM frente a SMI, el coeficiente Kappa nominal evidenció una concordancia moderada en el estadio de 8 - 9 años ($\kappa = 0,661$) y de 13 - 14 años ($\kappa = 0,643$), mientras que en el intervalo de 10 - 11 años la concordancia fue más baja ($\kappa = 0,442$). Al considerar el Kappa ponderado, los valores se mantuvieron en un rango de moderado a sustancial (0,661; 0,695 y 0,689, respectivamente). En el caso de Vba, los valores de Kappa nominal oscilaron entre 0,581 en 8 - 9 años y 0,214 en 13 - 14 años, con un comportamiento semejante en el Kappa ponderado (0,581; 0,732; 0,274).

Al evaluar la precisión de los métodos diferenciado por fase de crecimiento mostró un rendimiento superior para el método CVM, con 88,5% en 8 - 9 años, 65,4% en 10 - 11 años y 80,8% en 13 - 14 años. Mientras que el método Vba alcanzó una precisión de 84,6% en 8 - 9 años, pero con descensos en los intervalos posteriores (61,5% en 10 - 11 años y 57,7% en 13 - 14 años) (Ver tabla 11).

Al evaluar la concordancia de los métodos en la etapa de pico de crecimiento, el método CVM con respecto a SMI, observó un índice Kappa de $0,617 \pm 0,074$, lo que indica una buena concordancia. La precisión del método alcanzó el 78,2%, con una mayor correspondencia en los estadios iniciales (40 de las 78 observaciones). Sin embargo, en el estadio 2, que corresponde al momento crítico del pico de crecimiento puberal, se identificaron 17 coincidencias correctas de 19 sujetos (89,5%), aunque también se evidenciaron errores de clasificación: 8 pacientes que fueron subestimados (clasificados como estadio 1) y 6 sobreestimados (ubicados en estadio 3). En relación con el método Vba, este mostró un índice Kappa de $0,464 \pm 0,081$, lo que refleja una concordancia moderada, inferior a la del CVM. Su precisión global fue del 67,9%, con mayor dispersión en las clasificaciones. En el estadio 2, Vba coincidió correctamente en 16 de 19 sujetos (84,2%), pero incurrió en errores relevantes: 17 casos del estadio 1 fueron sobreestimados como estadio 2, y 5 sujetos en estadio 3 fueron subestimados como estadio 2 (Ver tabla 12).

4 DISCUSIÓN

El estado de maduración esquelética constituye un factor determinante en ortodoncia al momento de seleccionar la terapia más apropiada¹⁷. En ortopedia maxilar, la literatura señala que los estadios prepuberales son los más favorables para la protracción maxilar¹⁸, que la expansión maxilar obtiene mejores resultados cuando se realiza antes del pico de crecimiento¹⁹, y que los tratamientos ortopédicos funcionales en maloclusiones Clase II alcanzan mayor eficacia durante el pico puberal. Por lo tanto, contar con métodos diagnósticos precisos y reproducibles para identificar este periodo es importante en la práctica clínica ortodóntica.

En el presente estudio se compararon los métodos de evaluación de la maduración esquelética de Fishman (SMI)³, Baccetti (CVM)¹ y Vba⁵, diferenciando por sexo y fase de crecimiento. Al analizar la concordancia de los métodos de maduración esquelética por sexo, nuestros resultados demostraron que las niñas presentaron una mayor consistencia en la clasificación mediante el método CVM con mayores valores de concordancia y precisión y un menor error medio en comparación con los hombres. Este resultado confirma lo previamente documentado respecto a las diferencias sexuales en la maduración esquelética, evidenciando que las mujeres alcanzan el pico de crecimiento de forma más temprana y definida, lo cual podría explicar la mayor facilidad en su identificación a través del método CVM respecto al Vba.

Este hallazgo contrasta con lo reportado por Navlani et. Al. ²⁰ Al. quienes encontraron que el índice de altura/ ancho de la vértebra C3 (H/W de C3) y el CVM se correlacionaba de manera similar en ambos sexos, reflejando únicamente la diferencia cronológica esperada de un adelanto en el pico de crecimiento en las mujeres de aproximadamente dos años, pero sin variaciones en la consistencia del método según el género. Esta discrepancia entre lo observado en Vba y H/W que son métodos cuantitativos basados en la forma de las vértebras, puede deberse a la selección de la vértebra evaluada, así como a la proporción geométrica empleada. Mientras que el índice H/W de C3 relaciona la altura y el ancho, identificando el proceso de elongación progresiva del cuerpo vertebral, el Vba-C4 se basa en la proporción entre la altura anterior y posterior de C4, que no refleja diferencias morfológicas sutiles dentro de la misma vértebra. Estas diferencias podrían estar más influenciadas por la variabilidad anatómica entre sexos, lo que reduciría la estabilidad del método en niñas y niños. Además, la literatura ha señalado que C3 muestra cambios puberales más marcados y consistentes que C4, mientras que esta última puede perder sensibilidad como marcador en etapas más avanzadas de maduración, especialmente en niños.

En el análisis por grupos etarios, se observó la etapa de 8-9 años fue clasificada en una fase claramente prepuberal. En este rango, el CVM de mostró la mayor precisión en la clasificación en nuestros resultados, confirmando su capacidad para identificar la ausencia del pico puberal al igual que el Vba aunque presentó un

desempeño ligeramente inferior. En contraste, en el grupo de 10-11 años, nuestro estudio evidenció el mejor comportamiento del Vba en todo el análisis, con alta precisión y bajo error medio, coincidiendo con lo reportado por Navlani et. Al.²⁰ respecto al inicio del pico puberal en niñas, donde el índice H/W de C3 mostró una fuerte correlación con el CVM. Del mismo modo, Caldas et al.²¹ describieron que en las niñas C3 y C4 experimentaban un crecimiento acelerado entre los 10 y 13 años, lo que sugiere que los métodos que usan morfología de las vértebras como Vba y H/W C3 parecen identificar claramente el inicio del pico puberal.

En el grupo de 13-14 años, los resultados de nuestro estudio revelaron una marcada disminución del desempeño del Vba, con baja concordancia y precisión, en contraste con la estabilidad del CVM. Este hallazgo concuerda con lo encontrado por Caldas et al., quienes señalaron que C4 no evidenciaba incrementos significativos especialmente en niños, mientras que C3 mantenía un crecimiento acelerado hasta los 15 años, y con lo descrito por Navlani et. Al.²⁰, que mostraron cómo en esta edad los niños alcanzaban los estadios CVMI III-IV y las niñas ya se encontraban en su mayoría en fase postpuberal, manteniéndose la correlación entre H/W C3 y CVM. En general, estos resultados sugieren que el Vba ofrece su mejor desempeño en la etapa de 10-11 años, mientras que en edades tardías pierde estabilidad, siendo el CVM y el índice H/W de C3 los métodos más confiables para la adolescencia avanzada.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Santiago et al.²², quienes

demonstraron que los métodos basados en análisis geométricos de las vértebras cervicales aumentan la concordancia frente a evaluaciones cualitativas. Así mismo, coinciden con lo reportado por Lucchese et al.²³ y Mirabelli et al.²⁴, al confirmar que el CVM mantiene una correlación de moderada a alta con métodos clásicos y un desempeño clínicamente aceptable, aunque persisten controversias respecto a su exactitud en la identificación del pico de crecimiento. En este contexto, diversos estudios han incorporado algoritmos de inteligencia artificial para superar las limitaciones de los métodos cualitativos, mostrando en algunos casos precisiones superiores a las de los observadores humanos. Este avance resalta la necesidad de continuar desarrollando alternativas cuantitativas que reduzcan la subjetividad y conduzcan a herramientas diagnósticas más reproducibles y estandarizadas.

Aunque el método Vba en el presente estudio no parece desempeñarse mejor que el CVM, se debe tener en cuenta que es un método relativamente reciente, el cual requiere validación en diferentes poblaciones y estudios longitudinales con muestras más amplias que permitan confirmar la estabilidad de sus puntos de corte. Adicionalmente se debe considerar la posibilidad de utilizar C3 en lugar de C4 dados los contrastes observados con investigaciones previas. La evidencia actual sugiere su potencial como método cuantitativo integral; sin embargo, al igual que los demás métodos, su aplicación clínica debe ser complementaria y siempre interpretada en función de la variabilidad individual del crecimiento. Entre las limitaciones de este estudio se incluyen la necesidad de simplificar en tres estadios (prepuberal, puberal

y postpuberal) los métodos con fines comparativos, lo cual pudo enmascarar diferencias más sutiles, así como el tamaño reducido de la muestra, con un rango etario limitado.

5 CONCLUSIONES

El método CVM presentó mayor estabilidad en la concordancia, precisión y menor error medio en comparación con el método Vba, confirmando su solidez diagnóstica, especialmente en el grupo femenino. Aunque ambos métodos son útiles en los estadios iniciales, el CVM mantiene un desempeño más estable.

El método Vba mostró menor estabilidad en mujeres, con errores medios más altos, mientras que Baccetti evidenció menor sesgo entre sexos y mejor concordancia en el género femenino, destacando una mayor fiabilidad diagnóstica.

Ambos métodos fueron confiables en la etapa prepuberal, pero CVM mostró mayor precisión y consistencia a lo largo del crecimiento, incluso en la fase post-puberal. En cambio, Vba fue más útil en la detección temprana del pico puberal, aunque requiere validación adicional para reforzar su aplicación clínica.

6 RECOMENDACIONES

Futuros trabajos deberían ampliar la representatividad, especialmente en edades tardías, e implementar modelos longitudinales con mayor muestra que capten con más precisión la variabilidad individual, además de validar el Vba en cohortes independientes para fortalecer su aplicabilidad clínica.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baccetti Tiziano, Franchi Lorenzo, McNamara Jr James A. An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth - PubMed [Internet]. 2002 [cited 2023 Sep 13]. p. 72(4):316-23. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12169031/>
2. Schoretsaniti L, Mitsea A, Karayianni K, Sifakakis I. Cervical Vertebral Maturation Method: Reproducibility and Efficiency of Chronological Age Estimation. Applied Sciences 2021, Vol 11, Page 3160 [Internet]. 2021 Apr 1 [cited 2023 Sep 18];11(7):3160. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/7/3160/htm>
3. Fishman Leonard. Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films - PubMed. Angle Orthod [Internet]. 1981 Sep [cited 2025 Feb 13]; Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6980608/>
4. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. The Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Optimal Treatment Timing in Dentofacial Orthopedics. Semin Orthod. 2005 Sep 1;11(3):119–29.
5. Cameriere R, Velandia Palacio LA, Nakaš E, Galić I, Brkić H, Kalibović Govorko D, et al. The Fourth Cervical Vertebra Anterior and Posterior Body Height Projections (Vba) for the Assessment of Pubertal Growth Spurt. Applied

Sciences 2023, Vol 13, Page 1819 [Internet]. 2023 Jan 31 [cited 2023 Sep 14];13(3):1819. Available from: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/3/1819/htm>

6. Temboursy Molina MC. Desarrollo puberal normal: Pubertad precoz. *Pediatría Atención Primaria* [Internet]. 2009 [cited 2023 Sep 14];11:127–42. Available from: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322009000600002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
7. Hägg U, Taranger J. Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod* [Internet]. 1982 [cited 2023 Nov 1];82(4):299–309. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6961802/>
8. Lamparski DG. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. *Am J Orthod*. 1975 Apr;67(4):458–9.
9. Cusminsky Marcos, Pan American Health Organization. *Manual de Crecimiento y Desarrollo del Niño*. 1986;201.
10. Gray., Warwick R, Williams PL. *Anatomía de Gray : bases anatómicas de la medicina y la cirugía*. 1998;
11. Grave Keith, Townsend Grant. Cervical vertebral maturation as a predictor of the adolescent growth spurt [Internet]. *Aust Orthod J*. 2023 [cited 2023 Nov 1]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12790353/>
12. Beit P, Peltomäki T, Schätzle M, Signorelli L, Patcas R. Evaluating the agreement of skeletal age assessment based on hand-wrist and cervical

- vertebrae radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* [Internet]. 2013 Dec [cited 2023 Nov 1];144(6):838–47. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24286907/>
13. KNUTSSON F. Growth and differentiation of the postnatal vertebra. *Acta radiol*. 1961 Jun;55:401–8.
 14. Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* [Internet]. 1995 [cited 2023 Nov 1];107(1):58–66. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7817962/>
 15. Timmins K, Liversidge H, Farella M, Herbison P, Kieser J. The usefulness of dental and cervical maturation stages in New Zealand children for Disaster Victim Identification. *Forensic Sci Med Pathol* [Internet]. 2012 Jun [cited 2025 May 21];8(2):101–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21667171/>
 16. AAOF Legacy Collection Home Page [Internet]. [cited 2025 Sep 15]. Available from: https://www.aaoflegacycollection.org/aaof_home.html
 17. Songra G, Mittal TK, Williams J, Puryer J, Sandy J, Ireland A. Assessment of Growth in Orthodontics. *Orthodontic Update* [Internet]. 2017 Jan 31 [cited 2025 Sep 15];10(1):16–23. Available from: <https://research-information.bris.ac.uk/en/publications/assessment-of-growth-in-orthodontics>
 18. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA. Postpubertal assessment of treatment timing for maxillary expansion and protraction therapy followed by fixed

- appliances. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics [Internet]. 2004 Nov [cited 2025 Sep 15];126(5):555–68. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15520688/>
19. Faltin Kurt Júnior, Faltin Rolf M, Baccetti Tiziano, Franchi Lorenzo, Ghiozzi Bruno, McNamara James A. Long-term effectiveness and treatment timing for Bionator therapy [Internet]. Angle Orthod. 2023 [cited 2025 Sep 15]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12828429/>
 20. Navlani M, Makhija PG. Evaluation of skeletal and dental maturity indicators and assessment of cervical vertebral maturation stages by height/width ratio of third cervical vertebra. Journal of Pierre Fauchard Academy (India Section). 2013 Sep 1;27(3):73–80.
 21. Caldas M de P, Ambrosano GMB, Haiter Neto F. New formula to objectively evaluate skeletal maturation using lateral cephalometric radiographs. Braz Oral Res. 2007 Dec;21(4):330–5.
 22. Santiago RC, Cunha AR, Júnior GC, Fernandes N, Campos MJS, Costa LFM, et al. New software for cervical vertebral geometry assessment and its relationship to skeletal maturation--a pilot study. Dentomaxillofac Radiol [Internet]. 2014 Feb 1 [cited 2025 Sep 15];43(2). Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24319125/>
 23. Lucchese A, Bondemark L, Farronato M, Rubini G, Gherlone EF, Giudice A Lo, et al. Efficacy of the Cervical Vertebral Maturation Method: A Systematic

Review. Turk J Orthod [Internet]. 2022 Mar 1 [cited 2025 Sep 15];35(1):55–66. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35370135/>

24. Mirabelli L, Bianco E, Pigato G, Ferrari M, Maddalone M. Comparison between Two Methods of Skeletal Growth Evaluation: Cervical Vertebrae Maturations and Middle Phalanx Maturation. Int J Clin Pediatr Dent [Internet]. 2023 Mar 1 [cited 2025 Sep 15];16(2):327–32. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37519967/>

TABLAS

MUESTRA	DATOS								OPERADOR	TIEMPO
	Anterior	Posterior	Vba	Vba ESTADIO	BACCETTI	BACCETTI ESTADIO	FISHMAN	FISHMAN ESTADIO		
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

Tabla 1. Instrumento de recolección de datos estandarización

MUESTRA	DATOS								OPERADOR	TIEMPO
	Anterior	Posterior	Vba	Vba ESTADIO	BACCETTI	BACCETTI ESTADIO	FISHMAN	FISHMAN ESTADIO		
1	46,6	51,3	0,9083821	3	CVS3	2	7	2	1	T1
2	93,9	93,6	1,0032051	3	CS6	3	3	1	1	T1
3	30	57	0,5263158	1	CS2	1	3	1	1	T1
4	34,2	44,1	0,7755102	2	CS5	3	11	3	1	T1
5	67,6	57,8	1,1695502	3	CS5	3	11	3	1	T1
6	34,2	44,1	0,77551	2	CS5	3	11	3	1	T1
7	67,6	57,8	1,16955	3	CS5	3	11	3	1	T1
8	33,1	47,7	0,69392	2	CS1	1	7	2	1	T1
9	35,1	49,7	0,70624	2	CS1	1	9	3	1	T1
10	41,3	60	0,68833	2	CS3	2	3	1	1	T1

Tabla 2. Medidas estandarización Gold estándar operador 1

MUESTRA	DATOS								OPERADOR	TIEMPO
	Anterior	Posterior	Vba	Vba ESTADIO	BACCETTI	BACCETTI ESTADIO	FISHMAN	FISHMAN ESTADIO		
1	46,6	51,3	0,90838207	3	CVS3	2	7	2	2	T1
2	93,9	93,6	1,00320513	3	CS6	3	3	1	2	T1
3	31,14	60,03	0,51874063	1	CVS3	2	3	1	2	T1
4	34,2	44,1	0,7755102	2	CS5	3	11	3	2	T1
5	67,6	57,8	1,16955017	3	CS5	3	11	3	2	T1
6	37,1	45,41	0,817	2	CVS5	3	11	3	2	T1
7	66,09	62,61	1,05558	3	CVS 5	3	11	3	2	T1
8	34,13	44,27	0,77095	2	CVS3	2	7	2	2	T1
9	36,13	46,09	0,7839	2	CVS2	1	9	3	2	T1
10	50,63	62,03	0,81622	2	CVS3	2	3	1	2	T1
1	49	53	0,924528	3	CVS 3	2	7	2	2	T2
2	97,01	95,9	1,011575	3	CVS 6	3	3	1	2	T2
3	30,15	42,68	0,70642	2	CVS5	3	6	2	2	T2
4	37,16	56,79	0,654341	1	CVS 4	2	2	1	2	T2
5	34,05	61,13	0,55701	1	CVS 3	2	3	1	2	T2
6	38,24	47,43	0,591767	1	CVS5	3	11	3	2	T2
7	66,87	64,62	1,034819	3	CVS 5	3	11	3	2	T2
8	34,52	45,35	0,761191	2	CVS2	1	7	2	2	T2
9	34,2	46,2	0,74026	2	CVS2	1	9	3	2	T2
10	47,67	60	0,7945	2	CVS3	2	3	1	2	T2

Tabla 3. Medidas estandarización operador 2

MUESTRA	DATOS								OPERADOR	TIEMPO
	Anterior	Posterior	Vba	Vba ESTADIO	BACCETTI	BACCETTI ESTADIO	FISHMAN	FISHMAN ESTADIO		
1	46,6	51,3	0,90838207	3	CVS3	2	7	2	3	T1
2	93,9	93,6	1,00320513	3	CS6	3	3	1	3	T1
3	31,14	60,03	0,51874063	1	CVS3	2	3	1	3	T1
4	34,2	44,1	0,7755102	2	CS5	3	11	3	3	T1
5	67,6	57,8	1,16955017	3	CS5	3	11	3	3	T1
6	37,71	46,8	0,80577	2	CVS5	3	11	3	3	T1
7	67,11	62,16	1,07963	3	CVS5	3	11	3	3	T1
8	35,12	51,92	0,67643	2	CVS3	2	7	2	3	T1
9	34,92	49,04	0,71207	2	CVS2	1	9	3	3	T1
10	43,01	51,35	0,83759	2	CVS4	2	3	1	3	T1
1	46	44,18	1,041195	3	CVS3	2	7	2	3	T2
2	92,65	90,09	1,028416	3	CVS5	3	3	1	3	T2
3	28,51	38,73	0,736122	2	CVS4	2	6	2	3	T2
4	38,07	53,23	0,715198	2	CVS4	2	2	1	3	T2
5	31,14	60,2	0,517276	1	CVS3	2	3	1	3	T2
6	36,78	44,63	0,824109	2	CVS5	3	11	3	3	T2
7	62,65	60,9	1,028736	3	CVS5	3	11	3	3	T2
8	33,8	47,56	0,710681	2	CVS2	1	7	2	3	T2
9	33,38	49	0,681224	2	CVS2	1	9	3	3	T2
10	50,99	62	0,822419	2	CVS4	2	3	1	3	T2

Tabla 4. Medidas estandarización operador 3

		CALIBRACION		
		Medida	Indice	Valor
Intragrupo		Anterior ICC		1
		Posterior ICC		0.99
		VBA ICC		1
		BACCETI Fleiss Kappa		0.81
		FISHMAN Fleiss Kappa		1
Intergrupo		VBA estadio Fleiss Kappa		1
		BACCETI estadio Fleiss Kappa		1
		FISHMAN estadio Fleiss Kappa		1

Tabla 5. Resultado de la estandarización

	ESTADIOS	BACCETTI	VBA		FISHMAN
			NIÑOS	NIÑAS	
PRE-PUBERAL	1	1 - 2	< 0.67	< 0.65	1 - 4
PUBERAL	2	3 - 4	$0.67 \leq \underline{Vba} < 0.88$	$0.65 \leq \underline{Vba} < 0.90$	5 - 7
POS-PUBERAL	3	5 - 6	$0.88 \leq \underline{Vba} \geq 0.97$	$0.90 \leq \underline{Vba} \geq 1.07$	8 - 11

Tabla 6. Estandarización de las medidas (Prepuberal-Puberal-Pospuberal)

PACIENTE	SUJETO	SEXO	EDAD
1	25	F	8
1	25	F	11
1	25	F	13
2	135	M	9
2	135	M	11
2	135	M	14
3	183	M	9
3	183	M	11
3	183	M	14
4	188	F	8
4	188	F	11
4	188	F	13
5	355	M	9
5	355	M	11
5	355	M	14
6	391	F	8
6	391	F	11
6	391	F	13
7	608	F	8
7	608	F	11
7	608	F	13
8	612	M	9
8	612	M	11
8	612	M	14
9	619	F	8
9	619	F	11
9	619	F	13
10	726	F	8
10	726	F	11
10	726	F	13
11	735	F	8
11	735	F	11
11	735	F	13
12	742	M	9
12	742	M	11
12	742	M	14
13	855	F	8
13	855	F	11
13	855	F	13

PACIENTE	SUJETO	SEXO	EDAD
14	865	M	9
14	865	M	11
14	865	M	14
15	2502	F	8
15	2502	F	11
15	2502	F	13
16	152	M	9
16	152	M	11
16	152	M	14
17	379-11	M	9
17	379-11	M	11
17	379-11	M	14
18	379-12	M	9
18	379-12	M	11
18	379-12	M	14
19	385-12	F	8
19	385-12	F	11
19	385-12	F	13
20	398-12	M	9
20	398-12	M	11
20	398-12	M	14
21	401-11	M	9
21	401-11	M	11
21	401-11	M	14
22	401-12	M	9
22	401-12	M	11
22	401-12	M	14
23	410-12	M	9
23	410-12	M	11
23	410-12	M	14
24	417-11	F	8
24	417-11	F	11
24	417-11	F	13
25	417-12	M	9
25	417-12	M	11
25	417-12	M	14
26	419-11	M	9
26	419-11	M	11
26	419-11	M	14

Tabla 7. Caracterización de la población

	Grupo	Grupo	Grupo	Total general	
	8-9 años	10-11 años	13-14 años		
Sexo	F	11	11	11	33
	M	15	15	15	45
Fishman (Estadios)	Pre-puberal	26	21	2	49
	Puberal		5	14	19
	Post-puberal			10	10
Bacceti (Estadios)	Pre-puberal	26	14		40
	Puberal		12	19	31
	Post-puberal			7	7
Vba (Estadios)	Pre-puberal	20	12	2	34
	Puberal	6	14	18	38
	Post-puberal			6	6

Tabla 8. Distribución de participantes por sexo y grupo de edad

	CVM		Vba	
	M	F	M	F
Cohen's Kappa (nominal)	0,543	0,7	0,47	0,429
Cohen's Kappa (ponderado)	0,637	0,82	0,664	0,606
Precisión	0,756	0,818	0,711	0,636

Tabla 9. Concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética.

	MASCULINO					
	CVM			Vba		
	8-9 años	10-11 años	13-14 años	8-9 años	10-11 años	13-14 años
Cohen's Kappa (nominal)	0	0,395	0,359	0,814	0,345	0,108
Cohen's Kappa (ponderado)	0	0,746	0,468	0,814	0,667	0,108
Precisión	0,8	0,6	0,867	1	0,727	0,727
Error Medio	0,2	0,467	0,133	0	0,273	0,273

	FEMENINO					
	CVM			Vba		
	8-9 años	10-11 años	13-14 años	8-9 años	10-11 años	13-14 años
Cohen's Kappa (nominal)	0	0,395	0,359	0,814	0,345	0,108
Cohen's Kappa (ponderado)	0	0,746	0,468	0,814	0,667	0,108
Precisión	0,8	0,667	0,667	0,909	0,545	0,455
Error Medio	0,2	0,333	0,333	0,0909	0,455	0,545

Tabla 10. Concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética diferenciando por sexo.

	Baccetti-Estadio			VBA-Estadio		
	8-9 años	10-11 años	13-14 años	8-9 años	10-11 años	13-14 años
Cohen's Kappa (nominal)	0,661	0,442	0,643	0,581	0,404	0,214
Cohen's Kappa (ponderado)	0,661	0,695	0,689	0,581	0,732	0,274
Precisión	0,885	0,654	0,808	0,846	0,615	0,577
Error Medio	0,115	0,385	0,192	0,154	0,385	0,423

Tabla 11. Concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética diferenciando por fase de crecimiento.

		FISHMAN			Total
		1	2	3	
CVM	1	40	0	0	40
	2	8	17	6	31
	3	1	2	4	7
Total		49	19	10	78

Cohen's Kappa	0.617
Precisión	0.782

		FISHMAN			Total
		1	2	3	
Vba	1	32	2	0	34
	2	17	16	5	38
	3	0	1	5	6
Total		49	19	10	78

Cohen's Kappa	0.464
Precisión	0.679

Tabla 12. Concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética en la etapa del pico de crecimiento.

FIGURAS

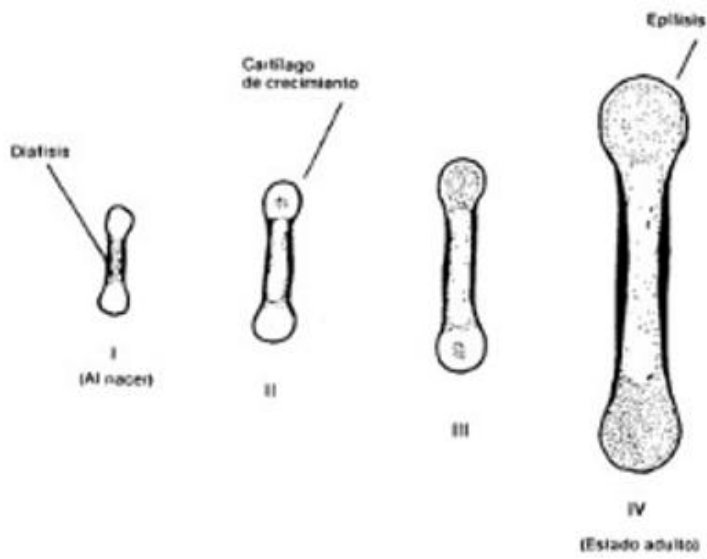


Fig. 1. Maduración ósea. Tomada de: Cusminsky Marcos 1986 ⁹

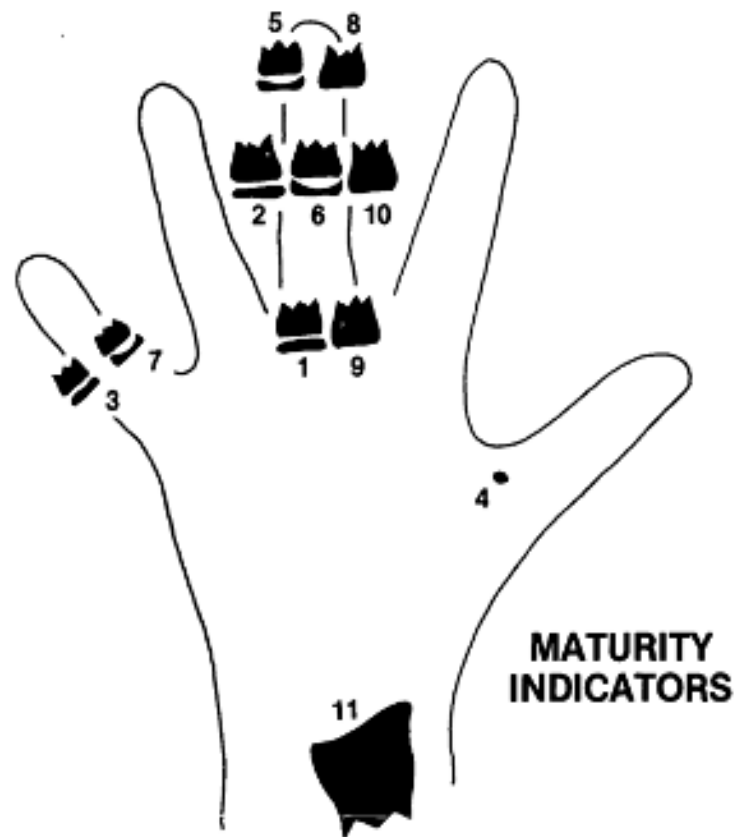


Fig. 2. 11 indicadores de maduración esquelética (SMI). Tomada de: Fishman 1981³.

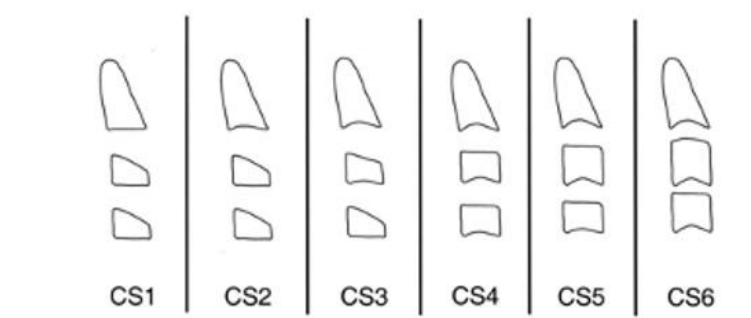


Fig. 3. Etapas del método de maduración Cervicovertebral (CVM). Tomado de: Baccetti 2005 ¹.



Fig 4. Lado anterior (A) y posterior (B) del cuarto cuerpo vertebral cervical. Tomado de: Cameriere 2023 ⁵.

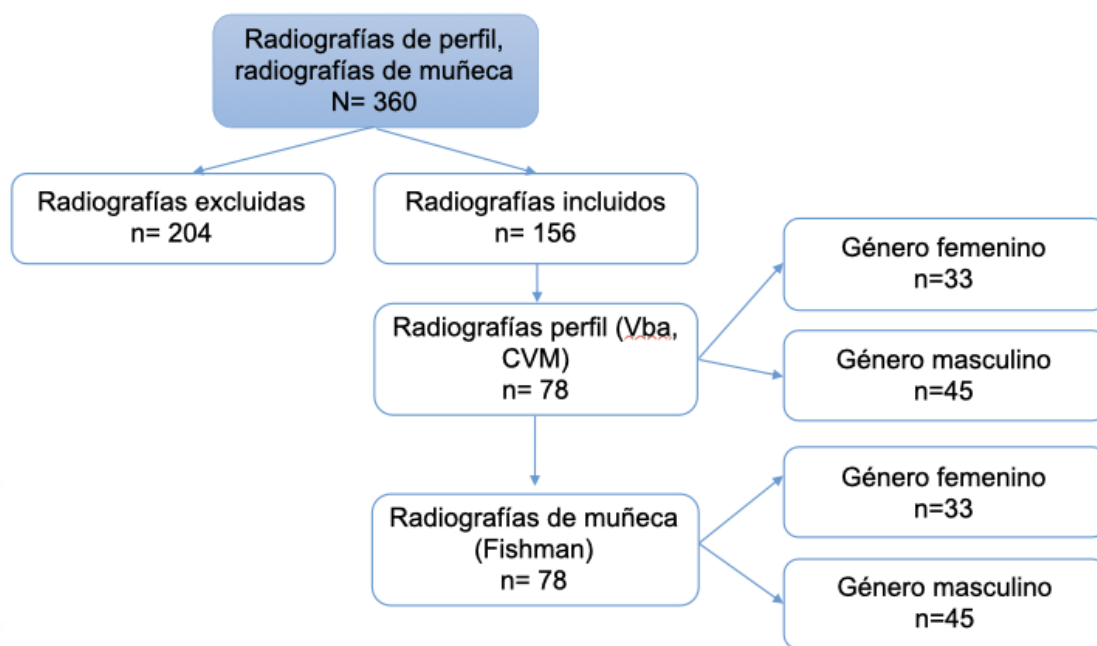


Fig. 5. Flujograma selección de la muestra. Elaboración propia.



Fig.6. Base de datos AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection. Tomado de:
AAOF 1994 ¹⁶.

ABREVIATURAS

- SMI: Indicadores de Maduración Esquelética Fishman.
- CVM: Maduración Vertebral Cervical.
- Vba: Proyección de la Altura anterior y posterior de C4.
- C2: Segunda vertebra cervical
- C3: Tercera vertebra cervical.
- C4: Cuarta vertebra cervical.
- C5: Quinta vertebra cervical.
- C6: Sexta vertebra cervical.
- RX: Radiografia.
- AAOF: Craniofacial Growth Legacy Collection.
- k: Cohen's Kappa
- H/W de C3: Índice de altura/ ancho de la vértebra C3