

Precisión y concordancia de los métodos de evaluación de la maduración esquelética en el pico de crecimiento.

Accuracy and concordance of skeletal maturation assessment methods at the growth peak

Mayra Alejandra Bahamon Trujillo¹, Hellen Nicole Giraldo Torres², Luz Andrea Velandia palacios³, Camilo Andrés Romo⁴

1.Estudiante del posgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar Institución Universitaria Colegios de Colombia- UNICOC, Bogotá-Colombia, emjimenez@unicoc.edu.co

2.Estudiante del posgrado de Ortodoncia y Ortopedia Maxilar Institución Universitaria Colegios de Colombia- UNICOC, Bogotá-Colombia, dtamara@unicoc.edu.co

3.Especialización en Odontología Legal y Forense, Especialización en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar, Doctorado en Investigación, Docente Institución Universitaria Colegios de Colombia – UNICOC, Bogotá-Colombia, lvelandiap@unicoc.edu.co

4.Director centro de investigación colegio odontológico CICO, direccioncicobog@unicoc.edu.co

Precisión y concordancia de los métodos de evaluación de la maduración esquelética en el pico de crecimiento.

RESUMEN

Introducción: El crecimiento craneofacial presenta un pico puberal clave para intervenciones ortodóncicas. La evaluación de la maduración esquelética mediante SMI y CVM muestra limitaciones, por lo que el método Vba surge como alternativa objetiva. Este estudio compara la precisión de SMI, CVM y Vba en identificar dicho pico. **Objetivo:** Determinar la precisión y concordancia de los métodos de evaluación de la maduración esquelética: Indicadores de Maduración Esquelética de Fishman (SMI), Maduración Vertebral Cervical (CVM) y Proyección de la Altura Anterior-Posterior de C4 (Vba), considerando el género y la fase de crecimiento. **Métodos:** Se analizaron 156 radiografías de la AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection (78 mano y 78 laterales), clasificadas en fases prepuberal, puberal y pospuberal. La concordancia se evaluó mediante Kappa de Cohen, la precisión y error medio. **Resultados:** CVM presentó mayor concordancia y precisión que Vba, especialmente en niñas ($\kappa=0,7$; 81,8%). Vba mostró concordancia moderada ($\kappa\approx 0,45$) y menor precisión ($\approx 67\%$). Por fases, CVM mantuvo valores sustanciales, mientras Vba disminuyó progresivamente, destacando CVM en el pico puberal ($\kappa=0,617$; 78,2%). **Conclusiones:** CVM mostró mayor estabilidad, precisión y menor error que Vba, confirmando su solidez diagnóstica, especialmente en mujeres. Ambos métodos resultaron confiables en etapa prepuberal; sin embargo, CVM mantuvo un desempeño consistente durante el crecimiento, mientras que Vba fue más útil para la detección temprana del pico puberal, aunque requiere validación clínica adicional.

PALABRAS CLAVE: Maduración esquelética; pico de crecimiento; indicadores de maduración esquelética; vértebras cervicales.

Accuracy and concordance of skeletal maturation assessment methods at the growth peak

ABSTRACT

Introduction: Craniofacial growth exhibits a pubertal peak that is critical for orthodontic interventions. Skeletal maturation assessment using SMI and CVM presents limitations; therefore, the Vba method emerges as an objective alternative. This study compares the diagnostic accuracy of SMI, CVM, and Vba in identifying this peak. **Objective:** To determine the accuracy and agreement of skeletal maturation assessment methods - Fishman's Skeletal Maturity Indicators (SMI), Cervical Vertebral Maturation (CVM), and the C4 Anterior–Posterior Height Projection (Vba) - considering gender and growth phase. **Methods:** A total of 156 radiographs from the AAOF Craniofacial Growth Legacy Collection (78 hand–wrist and 78 lateral cephalograms) were analyzed and classified into prepubertal, pubertal, and postpubertal phases. Agreement was evaluated using Cohen's Kappa, along with accuracy and mean error. **Results:** CVM showed higher agreement and accuracy than Vba, particularly in girls ($\kappa=0.7$; 81.8%). Vba demonstrated moderate agreement ($\kappa=0.45$) and lower accuracy (=67%). Across growth phases, CVM maintained substantial values, while Vba decreased progressively, with CVM performing best at the pubertal peak ($\kappa=0.617$; 78.2%). **Conclusions:** CVM exhibited greater stability, accuracy, and lower error than Vba, confirming its diagnostic reliability, especially in females. Both methods were reliable in the prepubertal stage; however, CVM remained consistent throughout growth, whereas Vba was more useful for early detection of the pubertal peak, though it requires further clinical validation.

KEYWORDS: Skeletal maturity; pubertal growth spurt; maturational indices; cervical vertebrae.

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, nuestro objetivo es 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.

MÉTODOS

El presente estudio transversal comparativo fue aprobado previamente por el comité de ética de la Institución Universitaria Colegios de Colombia y siguió las recomendaciones de la guía STROBE para estudios observacionales.

Los tres métodos emplean sistemas de clasificación distintos: el método SMI clasifica 11 estadios según los estadios de maduración (SMI1- SMI11) según Fishman³; CVM clasifica 6 estadios (CS1-CS6) según Baccetti et. Al.¹ y Vba mide la altura anterior y posterior de C4 dando valores numéricos establecidos en una tabla guía que indica cuánto tiempo falta de crecimiento en cada paciente a través del índice Vba según Cameriere et al⁵. (Fig. 1)

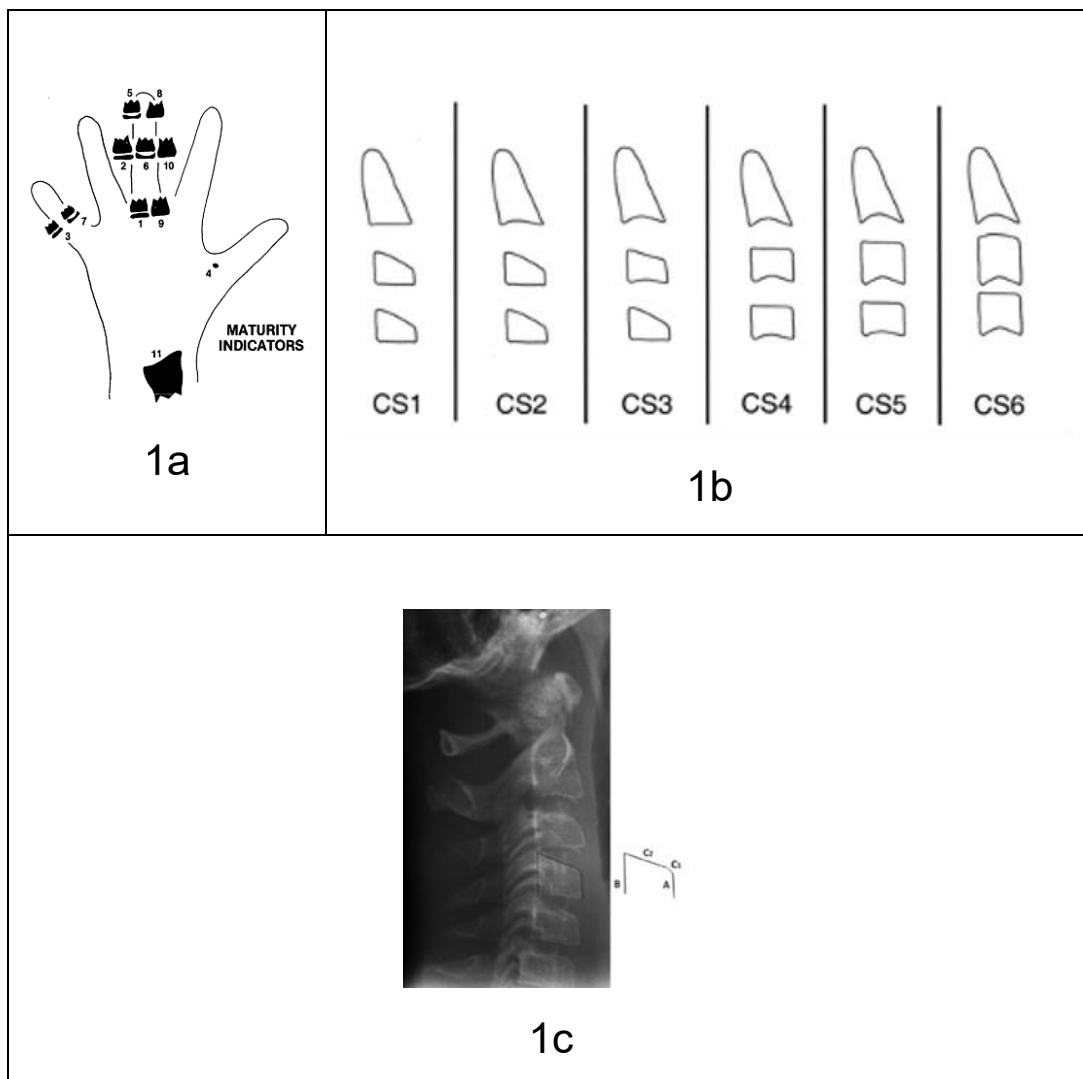


Figura 1. Métodos de evaluación de la maduración esquelética. 1a. 11 indicadores de maduración esquelética (SMI) 1b. Etapas del método de maduración Cervicovertebral (CVM). 1c. Lado anterior (A) y posterior (B) del cuarto cuerpo vertebral cervical (Vba).

Con el fin de comparar los 3 métodos se realizó una estandarización de las medidas y se agruparon los estadios originales en tres categorías. Esta clasificación se basó en los

criterios de identificación del pico de crecimiento originales de Fishman (1982)³, Baccetti et al. (2005)¹ y Cameriere et al. (2023)⁵, con ajustes para garantizar equivalencia entre métodos, de la siguiente manera:

- 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 $0.65 \leq Vba < 0.90$)
- Pospuberal (SMI: 8-11; CVM: CS5-CS6; Vba: Niños índice $0.88 \leq - \geq 0.97$; Niñas $0.90 \leq - \geq 1.07$)

Se realizó calibración de los tres métodos de evaluación de la maduración esquelética y de tres examinadores con una concordancia intra e inter-examinador del 95% y se realizaron mediciones de radiografías de muñeca y laterales tomadas de pacientes diferentes a la muestra, provenientes de la clínica de ortodoncia y ortopedia maxilar, se realizaron por el investigador principal (Gold Estándar) tomando un grupo de 10 radiografías, se evaluaron por parte de los dos operadores de manera individual y a los 8 días se volvieron a analizar por parte de los operadores para evitar sesgos. Se aplicó el 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: 1) ICC (Valor del Coeficiente de Correlación Intraclase) para variables numéricas, evaluando la concordancia intragrupo que puede variar entre 0 (sin concordancia) y 1 (concordancia perfecta)); (ICC = 1 para Vba); 2) Kappa de Fleiss para categóricas ordinales (Kappa de Fleiss = 1 para SMI/CVM). La precisión se cuantificó mediante exactitud ordinal (clasificación correcta por fase intragrupo).

Posteriormente se realizó un muestreo por conveniencia proveniente de la base de datos de la American Association of Orthodontists Foundation (AAOF) Craniofacial Growth Legacy Collection⁶ y se tomaron muestras de las subcolecciones de Burlington Growth y Forsyth Twin con un total de 360 radiografías iniciales, se aplicaron criterios de inclusión y exclusión, dando como resultado 156 radiografías, 78 de muñeca (Fishman) y 78 laterales (CVM, Vba), la selección de casos consideró las edades claves del desarrollo puberal: En niños: radiografías correspondientes a los 9, 11 y 14 años. En niñas: se evaluaron radiografías de los 8, 11 y 13 años.

Se procedió a realizar los análisis: Vba mediante el software **ImageJ-2** de licencia gratuita versión 1.54, en cual se midió pixel por milímetro para medir la altura anterior (a) y posterior (b) de la C4 y calcular Vba ($a/b=Vba$). CVM evaluando la forma y concavidad de las 6 vértebras cervicales. SMI evaluando la forma, osificación y fusión de los huesos de la mano

y según el resultado de cada uno de los métodos se clasificó en prepuberal (1), puberal (2) y postpuberal (3).

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 (versión 2024); 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. 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.

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 Kappa ponderado, los valores se incrementaron a 0,637 en niños y 0,82 en niñas, obteniendo una concordancia sustancial, especialmente en el grupo femenino. A diferencia, el método Vba mostró un índice Kappa nominal de 0,47 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 (Tabla 1).

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 (Tabla 1).

Tabla 1. concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética.

	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

Al evaluar la concordancia de los métodos diferenciando 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 (Tabla 2).

Al evaluar la precisión de los métodos diferenciado 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 (Tabla 2).

Tabla 2. concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética diferenciando por sexo.

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

Al evaluar la concordancia de los métodos diferenciado por fase de crecimiento el método de CVM frente a SMI, el coeficiente Kappa nominal evidenció una concordancia moderada en el estadio de 8-9 años ($k = 0,661$) y de 13 - 14 años ($k = 0,643$), mientras que en el intervalo de 10-11 años la concordancia fue más baja ($k = 0,442$). 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) (Tabla 3).

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) (Tabla 3).

Tabla 3. concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética diferenciando por fase de crecimiento.

	CVM-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

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 (Tabla 4).

Tabla 4. concordancia y precisión de los métodos de evaluación de la maduración esquelética en la etapa del pico 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

DISCUSIÓN

El estado de maduración esquelética constituye un factor determinante en ortodoncia al momento de seleccionar la terapia más apropiada⁷. En ortopedia maxilar, la literatura señala que los estadios prepuberales son los más favorables para la protracción maxilar⁸, que la expansión maxilar obtiene mejores resultados cuando se realiza antes del pico de crecimiento⁹, 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 SMI³, CVM¹ 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.¹⁰ 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.¹⁰ 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.¹¹ 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.¹¹, 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.¹⁰, que mostraron cómo en esta edad los niños alcanzaban los estadios CVM 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.¹², quienes demostraron que los métodos basados en análisis geométricos de las vértebras cervicales aumentan la concordancia frente a evaluaciones cualitativas. Asimismo, coinciden con lo reportado por Lucchese et al.¹³ y Mirabelli et al.¹⁴, 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.

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 CVM 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 postpuberal. En cambio, Vba fue más útil en la detección temprana del pico puberal, aunque requiere validación adicional para reforzar su aplicación clínica.

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. AAOF Legacy Collection Home Page [Internet]. [cited 2025 Sep 15]. Available from: https://www.aaoflegacycollection.org/aaof_home.html
7. 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>
8. 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/>
 9. 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/>
 10. 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.
 11. 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.
 12. 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/>
 13. 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/>

14. 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/>

Listado de Figuras

Figura 1. Métodos de evaluación de la maduración esquelética.

1a. 11 indicadores de maduración esquelética (SMI) Tomada de: Fishman 1981³.

1b. Etapas del método de maduración Cervicovertebral (CVM). Tomado de: Baccetti 2005¹.

1c. Lado anterior (A) y posterior (B) del cuarto cuerpo vertebral cervical (Vba). Tomado de: Cameriere 2023⁵.