Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2026,
Volumen 10, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i5

COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS DE BOLTON CON MEDICIÓN MANUAL Y DIGITAL EN PACIENTES ORTODÓNCICOS

COMPARISON OF BOLTON ANALYSIS USING MANUAL AND DIGITAL MEASUREMENT IN ORTHODONTIC PATIENTS

Itzel Jiménez Magaña
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

Lizandra Carranza Torres
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

Xavier Moreno Enriquez
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

Landy Vianey Limónchi Palacio
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

José Miguel Lehmann Mendoza
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i6.26899

Comparación del Análisis de Bolton con Medición Manual y Digital en Pacientes Ortodóncicos

Itzel Jiménez Magaña[1]
Itzel_jima@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0001-0554-984X
División Académica de Ciencias de la Salud,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Villahermosa, Tabasco, México

Lizandra Carranza Torres
lizandract@live.com.mx
https://orcid.org/0000-0002-3063-347X
División Académica de Ciencias de la Salud,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Villahermosa, Tabasco, México

Xavier Moreno Enriquez
xaviermoex@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8380-5693
División Académica de Ciencias de la Salud,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Villahermosa, Tabasco, México

Landy Vianey Limónchi Palacio
dralandylimonchi@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1135-909X
División Académica de Ciencias de la Salud,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Villahermosa, Tabasco, México

José Miguel Lehmann Mendoza
Jomileme@hotmail.com
https://orcid.org/0000-0002-1534-5859
División Académica de Ciencias de la Salud,
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Villahermosa, Tabasco, México

RESUMEN

El análisis de Bolton identifica discrepancias de tamaño mesiodistal entre arcadas y suele realizarse en modelos de yeso, aunque persisten dudas sobre la fiabilidad de los modelos digitales tridimensionales. El objetivo fue determinar la diferencia entre el análisis de Bolton obtenido mediante medición manual y digital en pacientes de ortodoncia. Se realizó un estudio comparativo, observacional y transversal en 30 pacientes de 13 a 53 años atendidos en el Posgrado de Ortodoncia de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Los índices de Bolton total y anterior se calcularon en modelos de yeso con calibrador digital y en modelos obtenidos por escáner intraoral, analizados con Nemotec Dental Studio NX. Se aplicaron la prueba t para muestras relacionadas, la prueba de Wilcoxon, la correlación de Pearson, el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el análisis de Bland-Altman. Las medias del Bolton total fueron 90.95 % (manual) y 91.51 % (digital), y las del anterior, 76.59 % y 77.22 %, sin diferencias significativas (p = .157 y p = .347). La concordancia fue moderada (CCI = .721 y .630), con límites de Bland-Altman amplios. Los modelos digitales no muestran un sesgo sistemático, pero su uso individual requiere un protocolo de medición estandarizado.

***Palabras clave*:** análisis de Bolton, modelos digitales, modelos de yeso, ortodoncia, diagnóstico digital

[1] Autor principal
Correspondencia: Itzel_jima@hotmail.com

Comparison of Bolton Analysis Using Manual and Digital Measurement in Orthodontic Patients

ABSTRACT

Bolton analysis identifies discrepancies in mesiodistal tooth size between dental arches and is usually performed on plaster models, although doubts remain about the reliability of three-dimensional digital models. The objective was to determine the difference between Bolton analysis obtained by manual and digital measurement in orthodontic patients. A comparative, observational, cross-sectional study was conducted in 30 patients aged 13 to 53 years treated at the Orthodontics Graduate Program of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Total and anterior Bolton ratios were calculated on plaster models using a digital caliper and on intraoral-scanner models analyzed with Nemotec Dental Studio NX. The paired-samples t-test, the Wilcoxon test, Pearson correlation, the intraclass correlation coefficient (ICC) and Bland-Altman analysis were applied. Mean total Bolton ratios were 90.95% (manual) and 91.51% (digital), and mean anterior ratios were 76.59% and 77.22%, with no significant differences ($p = .157$ and $p = .347$). Agreement was moderate (ICC = .721 and .630), with wide Bland-Altman limits. Digital models show no systematic bias, but their individual use requires a standardized measurement protocol.

***Keywords*:** bolton analysis, digital models, plaster models, orthodontics, digital diagnosis

Artículo recibido 20 setiembre 2026

Aceptado para publicación: 27 octubre 2026

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico ortodóncico es un proceso secuencial mediante el cual el clínico identifica y analiza las alteraciones dentarias, esqueléticas y oclusales del paciente para planificar el tratamiento (Loma-Salcedo y Huasco, 2023). Dentro de este proceso, los modelos de estudio permiten evaluar la oclusión en los planos sagital, transversal y vertical, así como realizar mediciones de las arcadas dentarias que son indispensables para establecer un diagnóstico fundamentado (Salinas, Pinos y Bravo, 2016). Una de las mediciones más utilizadas sobre estos modelos es el análisis de Bolton, propuesto por Wayne A. Bolton en 1958 a partir del estudio de pacientes con oclusión ideal, que relaciona la suma de los anchos mesiodistales de los dientes mandibulares con la de los maxilares para detectar discrepancias de tamaño dentario entre arcadas (Bolton, 1958).

El análisis comprende dos proporciones. La relación total compara los doce dientes de cada arcada, de primer molar a primer molar, y su valor ideal es de 91.3 % (DE ±1.91); la relación anterior compara los seis dientes anteriores, de canino a canino, con un valor ideal de 77.2 % (DE ±1.65) (Bolton, 1958; Zamora, 2010). Un valor superior al ideal indica un exceso de material dentario mandibular, que tiende a disminuir la sobremordida horizontal hasta producir una relación borde a borde o una mordida cruzada anterior; un valor inferior indica un exceso maxilar y un aumento de la sobremordida horizontal (Zamora, 2010). Cualquier discrepancia, por exceso o por defecto, dificulta la máxima intercuspidación y puede comprometer la coincidencia de las líneas medias, la sobremordida vertical y la dimensión transversal de las arcadas, por lo que su detección orienta decisiones como el desgaste interproximal, las extracciones o las compensaciones dentro del plan de tratamiento (Zamora, 2010). Además, los valores considerados normales para un grupo étnico no necesariamente lo son para otro, lo que hace recomendable generar evidencia en cada población (Abd Rahman y Othman, 2012).

Tradicionalmente, el análisis de Bolton se ha realizado sobre modelos de yeso obtenidos a partir de impresiones con alginato, que durante décadas se han considerado el estándar clínico por su accesibilidad, su bajo costo relativo y su precisión diagnóstica (Al Jabri, 2021; Salinas et al., 2016). Sin embargo, estos modelos presentan limitaciones ampliamente documentadas: son frágiles, se desgastan con el uso, pueden perderse o fracturarse y requieren un espacio físico considerable para su almacenamiento (Rossini, Parrini, Castroflorio, Deregibus y Debernardi, 2016; Abd-elgawad, Shamaa

y Fouda, 2022). Su fidelidad depende además del material de impresión, ya que el alginato pierde agua por sinéresis o la absorbe por imbibición según las condiciones ambientales, lo que modifica su forma y volumen (Vásconez Ponce, Barros Noboa, Sailema Muyulema y Pérez Villalba, 2022). La medición manual se realiza habitualmente con un calibrador digital (vernier), que ofrece mayor precisión que el compás de puntas secas y la regla milimetrada (Bravo y Criollo, 2016; Flores, 2010), pero exige una inversión considerable de tiempo, lo que con frecuencia conduce a omitir el análisis antes de iniciar el tratamiento (Tarazona, Llamas, Cibrián, Gandía y Paredes, 2012; García Vélez, 2017).

El desarrollo de los sistemas de diseño y fabricación asistidos por computadora (CAD/CAM) ha transformado el diagnóstico y la planificación ortodóncica mediante un flujo de trabajo que comprende la adquisición de imágenes digitales de las arcadas, su manipulación en un software especializado y, cuando se requiere, la generación de archivos para impresión tridimensional (Ardila, Elorza-Durán y Arrubla-Escobar, 2022). Los modelos digitales pueden obtenerse por un método directo, mediante escáner intraoral o tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), o por un método indirecto, que requiere tomar la impresión y vaciar el modelo en yeso antes de digitalizarlo (Kim y Lagravère, 2016). Los escáneres intraorales actuales, como el iTero Element 5D o el TRIOS, registran la arcada completa en pocos minutos sin necesidad de impresiones convencionales, con lo que se eliminan las fuentes de error asociadas a la impresión y al vaciado (Abdo Larrea y Costales Lara, 2020; British Dental Journal, 2019). Las mediciones se realizan después en programas especializados; entre ellos, Nemotec Dental Studio NX integra herramientas de análisis que buscan reducir el error humano y estandarizar las mediciones (Fathima, 2005).

Entre las ventajas de los modelos digitales se encuentran su durabilidad, el almacenamiento indefinido sin espacio físico, el acceso inmediato a la información, la posibilidad de superponer registros para el seguimiento del paciente y su integración con otras herramientas de diagnóstico digital (Pasini, Carli, Giambastiani, Giuca y Tripodi, 2023; Rossini et al., 2016). Sus principales desventajas son la inversión inicial en equipo y software, la curva de aprendizaje del operador y la dependencia tecnológica (Abdo Larrea y Costales Lara, 2020).

La validez de los modelos digitales para el análisis de Bolton se ha estudiado desde inicios de este siglo.

Los primeros trabajos mostraron que los métodos computarizados y los modelos virtuales ofrecían resultados precisos y reproducibles frente al método tradicional (Tomassetti, Taloumis, Denny y Fischer, 2001; Zilberman, Huggare y Parikakis, 2003; Paredes, Gandia y Cibrian, 2006). Stevens et al. (2006) encontraron diferencias estadísticamente significativas en algunas mediciones, aunque ninguna fue clínicamente relevante, y concluyeron que los modelos digitales no comprometen el diagnóstico ni la planificación del tratamiento. Watanabe-Kanno, Abrão, Miasiro Junior, Sánchez-Ayala y Lagravère (2010) reportaron coeficientes de correlación intraclase de .930 (intraexaminador) y .929 (interexaminador), con diferencias menores de 0.1 mm respecto al yeso. Wiranto et al. (2012) observaron que los índices de Bolton de los modelos digitales fueron ligeramente menores que los del yeso, con diferencias estadísticamente significativas pero clínicamente insignificantes. En la misma línea, Nalcaci, Topcuoglu y Ozturk (2013), Kumar et al. (2015) y Kim y Lagravère (2016) no encontraron diferencias relevantes entre modelos digitales, CBCT y modelos de yeso; estos últimos autores reportaron una concordancia superior a .970 para las relaciones total y anterior.

Las revisiones sistemáticas y los estudios recientes respaldan estos hallazgos. Rossini et al. (2016) concluyeron que los modelos digitales son tan fiables como los de yeso, y Loma-Salcedo y Huasco (2023), tras analizar 21 artículos publicados entre 2000 y 2021, señalaron que, aunque la mayoría de los estudios reportó diferencias estadísticamente significativas, estas fueron de poca relevancia clínica. Resultados similares describieron Zhang, Suh y Lee (2016), San José et al. (2017), Kurnia y Noerhadi (2017), Yılmaz, Özlü, Karadeniz y Karadeniz (2019), Suryajaya, Purbiati e Ismah (2021), Džemidžić, Nukić y Tiro (2024), Gunel, Göymen, Gulec y Buyuknacar (2025) y Madhoo, Johannes y Harris (2025). No obstante, la evidencia no es uniforme: Ocak et al. (2025) encontraron que el escáner intraoral sobreestimó el Bolton anterior entre 5 y 7 puntos porcentuales respecto a la medición manual ($p < .001$), sin diferencias para el Bolton total ($p = .601$).

En México, Aude Díaz, Sánchez Meraz, Mariel Cárdenas, Gutiérrez Cantú y Mariel Murga (2016) compararon la medición mesiodistal con compás y regla milimetrada frente a la medición con calibrador digital en 70 pares de modelos de yeso y no encontraron diferencias significativas para el índice de Bolton; sin embargo, no evaluaron modelos digitales tridimensionales. Por su parte, Salinas et al. (2016) reportaron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las mediciones individuales de

50 modelos, aunque consideraron alta la precisión y la fiabilidad de ambos métodos y sus diferencias clínicamente irrelevantes. Pese a esta evidencia, persisten cuestionamientos sobre la fiabilidad de los modelos digitales en análisis que requieren exactitud milimétrica, ya que los resultados pueden variar según el sistema de escaneo, el software y el protocolo de digitalización utilizados (Cui et al., 2021; Kim y Lagravère, 2016). Asimismo, la transición hacia la odontología digital en México avanza de manera progresiva y requiere evidencia local que respalde la adopción de estas tecnologías en la formación de especialistas y en la atención clínica (Aude Díaz et al., 2016). Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar la diferencia entre el análisis de Bolton, total y anterior, obtenido mediante medición manual en modelos de yeso y mediante medición digital en modelos tridimensionales, en pacientes que requieren tratamiento de ortodoncia atendidos en el Posgrado de Ortodoncia de la División Académica de Ciencias de la Salud (DACS) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Se planteó como hipótesis nula que no existe diferencia en el análisis de Bolton entre ambos métodos de medición.

METODOLOGÍA

Diseño del estudio

Se realizó un estudio con enfoque cuantitativo, de tipo comparativo, observacional y transversal. Fue comparativo porque se contrastaron los índices de Bolton obtenidos con dos métodos de medición en los mismos pacientes; observacional, porque no se intervino sobre las variables, y transversal, porque los datos se recolectaron en un único momento.

Población y muestra

La población estuvo conformada por los pacientes que acudieron a las Clínicas Odontológicas del Posgrado de Ortodoncia de la DACS-UJAT, en Villahermosa, Tabasco, México, entre enero y mayo de 2026. Mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia se seleccionaron 30 pacientes, de quienes se obtuvieron 30 modelos de yeso y 30 modelos digitales tridimensionales.

Criterios de selección

Se incluyeron pacientes de ambos sexos, de 13 a 55 años, sin tratamiento ortodóncico previo, con dentición permanente completa, sin restauraciones extensas ni rehabilitación protésica, con modelos de yeso de buena calidad y que aceptaran participar mediante consentimiento informado. No se incluyeron

los pacientes que no firmaron el consentimiento informado. Se eliminaron los modelos con vaciado deficiente, fracturas o dentición mixta y, en el caso de los modelos digitales, aquellos con alteraciones de forma.

Variables. Se registraron la edad (años) y el sexo de los participantes, el ancho mesiodistal (mm) de cada diente desde el primer molar hasta el primer molar contralateral en ambas arcadas, y los índices de Bolton total y anterior (%) obtenidos con cada método de medición.

Procedimiento. A cada paciente seleccionado se le tomaron impresiones de ambas arcadas con alginato, que se vaciaron en yeso para obtener los modelos convencionales. Posteriormente, el paciente fue referido al centro radiológico Ceraor3D, donde se realizó el escaneo intraoral para obtener el modelo digital tridimensional.

En los modelos de yeso se midió el ancho mesiodistal de cada diente con un calibrador digital y en los modelos digitales se realizaron las mismas mediciones con el software Nemotec Dental Studio NX. Los valores se anotaron por cuadrante en una hoja de registro diseñada para el estudio, en la que se calcularon las sumas por arcada y los índices correspondientes:

Bolton total (%) = (Σ mesiodistal de 12 dientes mandibulares ÷ Σ mesiodistal de 12 dientes maxilares) × 100

Bolton anterior (%) = (Σ mesiodistal de 6 dientes mandibulares ÷ Σ mesiodistal de 6 dientes maxilares) × 100

Un Bolton total mayor de 91.3 % se interpretó como exceso de material dentario mandibular y uno menor como exceso maxilar; para el Bolton anterior se utilizó como referencia el valor de 77.2 % (Bolton, 1958).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el programa IBM SPSS Statistics, versión 26 y las variables se describieron mediante medidas de tendencia central, dispersión y posición. Dado que ambas mediciones provinieron de los mismos pacientes, las medias se compararon con la prueba t de Student para muestras relacionadas y se estimó el intervalo de confianza al 95 % (IC 95 %) de la diferencia; como la prueba de Shapiro-Wilk indicó que las diferencias no seguían una distribución normal, los resultados se confirmaron con la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. La relación lineal entre métodos se evaluó con el coeficiente de correlación de Pearson y la concordancia con el coeficiente de correlación intraclase (CCI; modelo de dos factores de efectos aleatorios, acuerdo absoluto y medida única),

interpretado según Koo y Li (2016): menor de .50, pobre; de .50 a .75, moderada; de .75 a .90, buena, y mayor de .90, excelente. Además, se estimaron los límites de concordancia al 95 % mediante el análisis de Bland y Altman (1986). Se consideró un nivel de significancia de $\alpha = .05$.

Consideraciones éticas

De acuerdo con el artículo 17 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud de México, el estudio se clasificó como investigación sin riesgo, ya que solo se emplearon los procedimientos diagnósticos necesarios para el análisis de Bolton, sin intervención ni modificación intencionada en los participantes. Además se consideró que todos los participantes, o su padre, madre o tutor en el caso de menores de edad, firmaron el consentimiento informado para el uso de sus modelos con fines de investigación; los datos se codificaron para garantizar su confidencialidad y anonimato.

RESULTADOS

Características de la muestra

La muestra estuvo conformada por 30 pacientes, 19 mujeres (63.3 %) y 11 hombres (36.7 %). La edad osciló entre 13 y 53 años, con una media de 23.43 años (DE = 10.22), una mediana de 22 años y una moda de 14 años. El grupo de 13 a 17 años concentró el 40 % de los participantes, lo que refleja una población predominantemente joven, aunque con un rango etario amplio (Tabla 1).

Tabla 1 Características sociodemográficas de la muestra (n = 30)

Característica	n (%) / valor
Sexo	
Femenino	19 (63.3)
Masculino	11 (36.7)
Grupo de edad (años)	
13 a 17	12 (40.0)
18 a 22	4 (13.3)
23 a 27	5 (16.7)
28 a 36	6 (20.0)
37 a 53	3 (10.0)
Edad (años)	
Media (DE)	23.43 (10.22)
Mediana [P25–P75]	22.00 [14.00–30.25]
Mínimo–máximo	13–53

Nota. DE = desviación estándar; P25 y P75 = percentiles 25 y 75. Elaboración propia.

Índices de Bolton según el método de medición

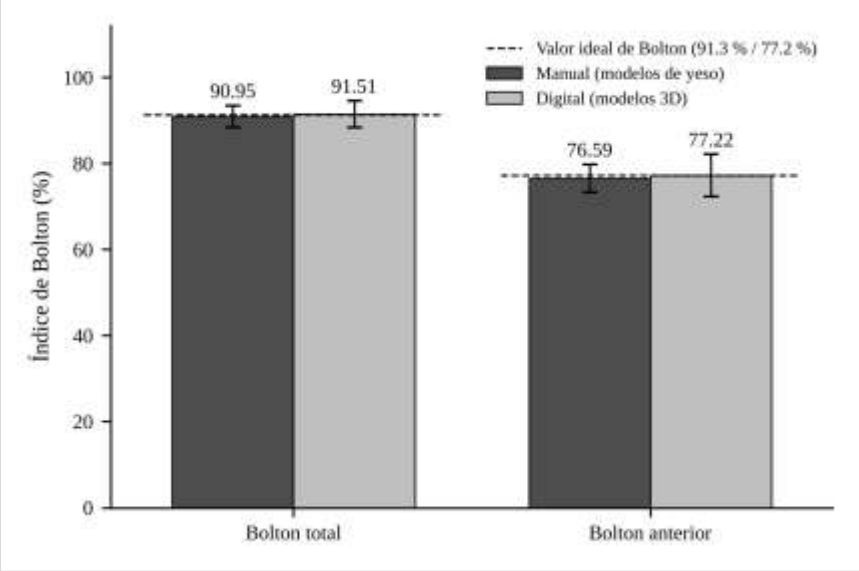
Para el Bolton total, la media obtenida con el método manual fue de 90.95 % (DE = 2.55) y con el método digital, de 91.51 % (DE = 3.09); para el Bolton anterior, las medias fueron de 76.59 % (DE = 3.23) y 77.22 % (DE = 4.93), respectivamente. En ambos casos, las medias se ubicaron dentro de los valores de referencia de Bolton. El método digital mostró mayor dispersión que el manual, tanto en el Bolton total (rango de 15.10 frente a 8.90) como en el anterior (rango de 27.30 frente a 11.90). Esta dispersión se debió en buena medida a un paciente con valores digitales atípicos (99.40 % en el Bolton total y 98.60 % en el anterior, frente a 92.20 % y 81.20 % en la medición manual), que se mantuvo en el análisis (Tabla 2 y Figura 1).

Tabla 2 Estadísticos descriptivos de los índices de Bolton (%) según el método de medición (n = 30)

Estadístico	Total manual	Total digital	Anterior manual	Anterior digital
Media	90.95	91.51	76.59	77.22
DE	2.55	3.09	3.23	4.93
Mediana	90.65	92.15	75.95	76.80
Mínimo	86.40	84.30	71.50	71.30
Máximo	95.30	99.40	83.40	98.60
Rango	8.90	15.10	11.90	27.30
P25	89.28	89.35	74.13	74.38
P75	92.68	93.70	78.58	78.50

Nota. DE = desviación estándar; P25 y P75 = percentiles 25 y 75. Elaboración propia.

Figura 1. Medias (± DE) de los índices de Bolton total y anterior según el método de medición.



Nota: Elaboración propia. Las líneas discontinuas indican los valores ideales de Bolton (1958).

Comparación entre los métodos manual y digital

La prueba t de Student para muestras relacionadas no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los métodos para el Bolton total ($t(29) = -1.451$; $p = .157$) ni para el Bolton anterior ($t(29) = -0.956$; $p = .347$). En ambos casos, el IC 95 % de la diferencia de medias incluyó el valor cero, por lo que no se rechazó la hipótesis nula. Debido a que las diferencias no siguieron una distribución normal (Shapiro-Wilk: $p = .022$ para el total y $p < .001$ para el anterior), los resultados se confirmaron con la prueba de Wilcoxon ($p = .144$ y $p = .614$). La correlación de Pearson fue alta para el Bolton total ($r = .742$; $p < .001$) y moderada para el anterior ($r = .686$; $p < .001$) (Tabla 3).

Tabla 3 Comparación de los índices de Bolton entre los métodos manual y digital (n = 30)

Estadístico	Bolton total	Bolton anterior
Diferencia de medias (M − D)	−0.55	−0.63
IC 95 % de la diferencia	−1.333 a 0.226	−1.968 a 0.714
t (gl = 29)	−1.451	−0.956
p (bilateral)	.157	.347
p (Wilcoxon)	.144	.614
r de Pearson	.742	.686
p (correlación)	< .001	< .001

Nota. M = manual; D = digital; IC = intervalo de confianza; gl = grados de libertad. Prueba t de Student para muestras relacionadas y prueba de rangos con signo de Wilcoxon. Elaboración propia.

Concordancia entre métodos

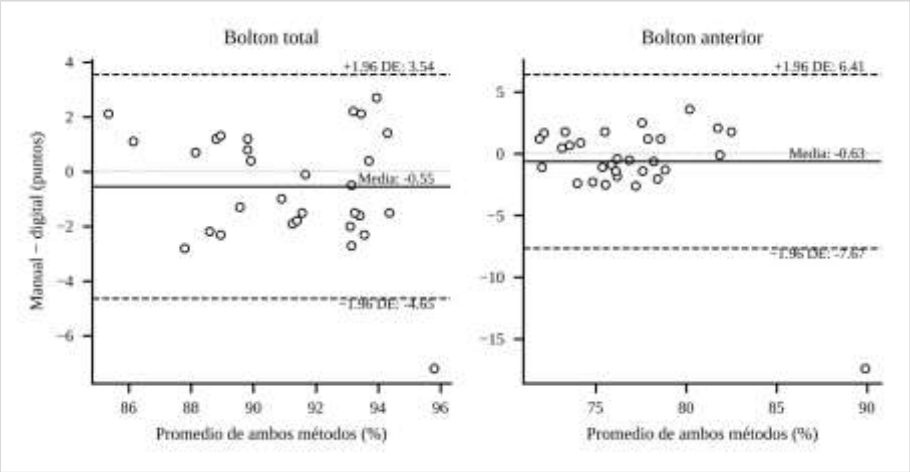
El CCI fue de .721 (IC 95 %: .496–.856) para el Bolton total y de .630 (IC 95 %: .357–.804) para el anterior ($p < .001$ en ambos casos), lo que corresponde a una concordancia moderada según Koo y Li (2016) (Tabla 4). La diferencia absoluta entre las medias fue de 0.55 puntos porcentuales para el Bolton total y de 0.63 para el anterior, equivalentes a diferencias relativas de 0.61 % y 0.82 %. El análisis de Bland-Altman mostró límites de concordancia al 95 % de −4.65 a 3.54 puntos para el Bolton total y de −7.67 a 6.41 puntos para el anterior (Figura 2).

Tabla 4 Coeficiente de correlación intraclase entre los métodos manual y digital (n = 30)

Índice	CCI	IC 95 %	p
Bolton total	.721	.496–.856	< .001
Bolton anterior	.630	.357–.804	< .001

Nota. CCI = coeficiente de correlación intraclase (dos factores, efectos aleatorios, acuerdo absoluto, medida única); IC = intervalo de confianza. Elaboración propia.

Figura 2. Gráficos de Bland-Altman de la diferencia entre la medición manual y la digital frente a su promedio.



Nota: Elaboración propia. La línea continua indica la diferencia media y las discontinuas, los límites de concordancia al 95 %.

Al repetir el análisis sin el paciente con valores digitales atípicos (n = 29), las diferencias siguieron sin ser significativas (p = .313 para el total y p = .881 para el anterior), la concordancia aumentó a buena (CCI = .798 y .843) y los límites de concordancia se estrecharon a −3.65 a 3.00 y −3.42 a 3.33 puntos, respectivamente.

DISCUSIÓN

Los resultados mostraron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la medición manual en modelos de yeso y la medición digital en modelos tridimensionales para los índices de Bolton total y anterior, por lo que no se identificó un sesgo sistemático entre métodos. Este hallazgo coincide con la evidencia actual, que respalda la validez de los modelos digitales como alternativa a los modelos de yeso (Gunel et al., 2025; Loma-Salcedo y Huasco, 2023; Pasini et al., 2023).

Las medias obtenidas con ambos métodos se situaron dentro de los parámetros de normalidad establecidos por Bolton (1958): 90.95 % y 91.51 % para el Bolton total, frente a un ideal de 91.3 % (DE ±1.91), y 76.59 % y 77.22 % para el anterior, frente a un ideal de 77.2 % (DE ±1.65). Las diferencias promedio entre métodos, de 0.55 y 0.63 puntos porcentuales, fueron inferiores a la variabilidad normal descrita por Bolton. Conviene precisar que el umbral de 0.5 mm propuesto como clínicamente relevante para mediciones lineales pequeñas (Oliva Saldívar, 2021) no puede aplicarse directamente a un índice expresado en porcentaje; por ello, la relevancia clínica se valoró en relación con la variabilidad de los valores de referencia.

Sin embargo, la concordancia individual fue moderada (CCI = .721 y .630) y los límites de Bland-Altman (−4.65 a 3.54 puntos en el total y −7.67 a 6.41 en el anterior) superaron la desviación estándar de referencia de Bolton, lo que significa que en pacientes concretos ambos métodos podrían conducir a una clasificación diagnóstica distinta. Estos valores son inferiores a los reportados por Watanabe-Kanno et al. (2010), con coeficientes intraclase de .930 y .929, y por Kim y Lagravère (2016), con una concordancia superior a .970. Una posible explicación es que en el presente estudio se compararon flujos de trabajo completos (impresión con alginato y vaciado frente a escaneo intraoral), y no la digitalización de un mismo modelo, lo que suma las fuentes de error de cada procedimiento.

La concordancia fue menor en el segmento anterior, lo que podría atribuirse a la mayor dificultad técnica para medir incisivos y caninos, cuyas superficies más redondeadas y contornos menos definidos dificultan la ubicación de los puntos de referencia, así como a que las sumas del segmento anterior son menores y un mismo error absoluto pesa más en la proporción. Este comportamiento coincide parcialmente con lo descrito por Ocak et al. (2025), quienes observaron mayor variabilidad del escáner intraoral en el Bolton anterior; a diferencia de ellos, en el presente estudio no se identificó una sobreestimación sistemática.

Gran parte de la dispersión del método digital se concentró en un solo paciente, cuyos valores digitales (99.40 % y 98.60 %) se alejaron de forma marcada de su medición manual, lo que sugiere un error de escaneo, de segmentación en el software o de captura del dato. Al excluirlo, la concordancia aumentó a buena (CCI = .798 y .843) y los límites se estrecharon a aproximadamente ±3.4 puntos, valores más cercanos a los descritos en la literatura. Este resultado es coherente con Koretsi et al. (2018, como se citó en Nieto Casado, 2020), quienes encontraron menor variabilidad en mediciones repetidas con el análisis digital, y subraya la necesidad de verificar la calidad de cada escaneo. Por su parte, el método manual también está sujeto a fuentes de error, como los cambios dimensionales del alginato y el fraguado del yeso (Vásconez Ponce et al., 2022).

En otros estudios se han reportado diferencias estadísticamente significativas en mediciones individuales que resultaron clínicamente irrelevantes (Salinas et al., 2016; Stevens et al., 2006; Wiranto et al., 2012), mientras que Yılmaz et al. (2019) y Džemidžić et al. (2024) no encontraron diferencias entre los índices de Bolton de modelos digitales y de yeso. En México, Aude Díaz et al. (2016)

mostraron que la medición con compás y con calibrador digital es equivalente en modelos de yeso, lo que respalda el uso del calibrador como método manual de referencia; el presente trabajo amplía esa evidencia a los modelos digitales tridimensionales en población mexicana, lo que resulta relevante dado que las normas de tamaño dentario pueden diferir entre grupos étnicos (Abd Rahman y Othman, 2012). Desde el punto de vista clínico, la ausencia de un sesgo sistemático respalda la incorporación de los modelos digitales al diagnóstico ortodóncico, con ventajas en almacenamiento, conservación de los registros y eficiencia del tiempo clínico, considerando que la medición manual demanda una inversión de tiempo considerable (García Vélez, 2017; Rossini et al., 2016; Tarazona et al., 2012). No obstante, su uso para decisiones individuales requiere un protocolo de medición estandarizado, la capacitación del operador y la verificación de los valores atípicos.

Entre las limitaciones del estudio se encuentran el tamaño de la muestra y el muestreo no probabilístico en una sola institución, que restringen la generalización de los resultados. Además, no se incluyó un análisis de reproducibilidad intra- e interexaminador, y la comparación abarcó flujos de trabajo completos, por lo que las diferencias pueden provenir tanto de la obtención del modelo como de la medición.

CONCLUSIONES

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el análisis de Bolton, total y anterior, obtenido mediante medición manual con calibrador digital en modelos de yeso y mediante medición digital con el software Nemotec Dental Studio NX en modelos tridimensionales obtenidos por escáner intraoral, y las diferencias de medias fueron inferiores a la variabilidad normal descrita por Bolton. Por lo tanto, los modelos digitales no introducen un sesgo sistemático en el análisis.

No obstante, la concordancia individual entre métodos fue moderada y los límites de concordancia fueron amplios, en buena parte por un caso con valores digitales atípicos. En consecuencia, los modelos digitales tridimensionales constituyen una alternativa válida a los modelos de yeso para el análisis de Bolton, con ventajas en almacenamiento y eficiencia, siempre que se acompañen de un protocolo de medición estandarizado, la capacitación del operador y la verificación de la calidad de cada escaneo.

Se recomienda realizar estudios con muestras de mayor tamaño y en distintas poblaciones mexicanas, que incluyan análisis de reproducibilidad intra- e interexaminador, así como evaluaciones de costo-beneficio de los flujos de trabajo digitales en la práctica ortodóncica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd Rahman, A. N. A., y Othman, S. A. (2012). Comparison of tooth size discrepancy of three main ethnics in Malaysia with Bolton's ratio. *Sains Malaysiana, 41*(2), 271-275.

Abd-elgawad, I. M., Shamaa, M. S., y Fouda, A. M. (2022). Accuracy of digital models in Bolton analysis for Angle Class I malocclusion group. *Mansoura Journal of Dentistry, 9*(3), 102-105. https://doi.org/10.21608/mjd.2022.259771

Abdo Larrea, D. F., y Costales Lara, M. R. (2020). Uso de la digitalización de modelos de estudio dentales con fines ortodónticos (Tesis de grado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Al Jabri, M. (2021). Almacenamiento de modelos de yeso en ortodoncia: Desafíos y limitaciones. *Journal of Orthodontic Science, 10*(1), 45-52.

Ardila, C. M., Elorza-Durán, A., y Arrubla-Escobar, D. (2022). Efficacy of CAD/CAM technology in interventions implemented in orthodontics: A scoping review of clinical trials. *BioMed Research International, 2022*, 5310555. https://doi.org/10.1155/2022/5310555

Aude Díaz, R. A., Sánchez Meraz, W., Mariel Cárdenas, J., Gutiérrez Cantú, F. J., y Mariel Murga, H. (2016). Eficacia del índice de Bolton por medición digital vs manual. *Revista Mexicana de Ortodoncia, 4*(1), 31-35. https://doi.org/10.1016/j.rmo.2016.03.081

Bland, J. M., y Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet, 327*(8476), 307-310. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8

Bolton, W. A. (1958). Disharmony in tooth size and its relation to the analysis and treatment of malocclusion. *The Angle Orthodontist, 28*(3), 113-130. Recuperado de https://angle-orthodontist.kglmeridian.com/view/journals/angl/28/3/article-p113.xml

Bravo, M., y Criollo, M. (2016). Análisis comparativo entre las técnicas de medición manual-tradicional y digital de los espacios intercanino e intermolar en modelos de estudio (Tesis de grado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

British Dental Journal. (2019). iTero Element 5D: A new era in intraoral scanning. *British Dental Journal, 227*(3), 165-168.

Cui, N., Wang, J., Hou, X., Sun, S., Huang, Q., Lim, H.-K., ... Jiang, H. B. (2021). Bias evaluation of the accuracy of two extraoral scanners and an intraoral scanner based on ADA standards. *Scanning, 2021*, 5535403. https://doi.org/10.1155/2021/5535403

Džemidžić, V., Nukić, V., y Tiro, A. (2024). Tooth size discrepancy: Digital vs manual measurement. *Balkan Journal of Dental Medicine, 28*(2), 129-132. https://doi.org/10.5937/bjdm2402129D

Fathima, R. (2005). *Nemotec:* Software for orthodontic analysis. Nemotec.

Flores, S. G. (2010). Análisis de Bolton utilizando un método de medición digital y el método de medición manual (Tesis de grado).

García Vélez, D. R. (2017). Análisis comparativo de los métodos computarizado y manual, según los índices de Moyers y Bolton (Tesis de posgrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Gunel, R., Göymen, M., Gulec, A., y Buyuknacar, G. B. (2025). Comparison of measurements on conventional plaster model and computer-aided digital dental models. *European Journal of Therapeutics*. https://doi.org/10.58600/eurjther2683

Kim, J., y Lagravère, M. O. (2016). Accuracy of Bolton analysis measured in laser-scanned digital models compared with plaster models (gold standard) and cone-beam computer tomography images. *Korean Journal of Orthodontics, 46*(1), 13-19. https://doi.org/10.4041/kjod.2016.46.1.13

Koo, T. K., y Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine, 15*(2), 155-163. https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012

Kumar, A. A., Phillip, A., Kumar, S., Rawat, A., Priya, S., y Kumaran, V. (2015). Digital model as an alternative to plaster model in assessment of space analysis. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences, 7*(Suppl. 2), S465-S469. https://doi.org/10.4103/0975-7406.163506

Kurnia, H., y Noerhadi, N. A. I. (2017). Comparison of Bolton analysis and Little's irregularity index on laser scanned three-dimensional digital study models with conventional study models. *Journal of Physics: Conference Series, 884*, 012061. https://doi.org/10.1088/1742-6596/884/1/012061

Loma-Salcedo, H., y Huasco, N. (2023). Grado de fiabilidad de la evaluación del análisis de Bolton en modelos virtuales tridimensionales versus modelos de yeso: Una revisión. *Revista Científica Odontológica, 11*(2), e155. https://doi.org/10.21142/2523-2754-1102-2023-155

Madhoo, A., Johannes, K. C., y Harris, A. M. P. (2025). A comparison of three types of orthodontic study models. *South African Dental Journal, 80*(9), 489-494. https://doi.org/10.17159/sadj.v80i09.21972

Nalcaci, R., Topcuoglu, T., y Ozturk, F. (2013). Comparison of Bolton analysis and tooth size measurements obtained using conventional and three-dimensional orthodontic models. *European Journal of Dentistry, 7*(Suppl. 1), S066-S070. https://doi.org/10.4103/1305-7456.119077

Nieto Casado, P. (2020*). Flujo digital en ortodoncia* (Trabajo de fin de grado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Ocak, I., Aksöz, G., Görücü Coşkuner, H., Atik, E., Akarsu Güven, B., Akcan, C. A., y Taner, T. (2025). Evaluation of the reliability and reproducibility of Bolton ratios using intraoral scanner, model scanner, and plaster models. *Clinical Dentistry and Research, 49*(2), 71-80.

Oliva Saldívar, B. A. (2021). Comparación antropométrica entre modelos odontológicos de yeso y digitales en 3D (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Paredes, V., Gandia, J. L., y Cibrian, R. (2006). Determination of Bolton tooth-size ratios by digitization, and comparison with the traditional method. *European Journal of Orthodontics, 28*(2), 120-125. https://doi.org/10.1093/ejo/cji077

Pasini, M., Carli, E., Giambastiani, F., Giuca, M. R., y Tripodi, D. (2023). Three-dimensional analysis of upper and lower arches using digital technology: Measurement of the index of Bolton and correspondence between arch shapes and orthodontic arches. *Dentistry Journal, 11*(8), 188. https://doi.org/10.3390/dj11080188

Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregibus, A., y Debernardi, C. L. (2016). Diagnostic accuracy and measurement sensitivity of digital models for orthodontic purposes: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 149*(2), 161-170. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2015.06.029

Salinas, P. J., Pinos, L. G., y Bravo, M. E. (2016). Diagnóstico de modelos de yeso vs digitales: Exactitud y fiabilidad en la comparación del análisis de Bolton y sus mediciones correspondientes. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría*.

San José, V., Bellot-Arcís, C., Tarazona, B., Zamora, N., Lagravère, M. O., y Paredes-Gallardo, V. (2017). Dental measurements and Bolton index reliability and accuracy obtained from 2D digital, 3D segmented CBCT, and 3D intraoral laser scanner. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry, 9*(12), e1466-e1473. https://doi.org/10.4317/jced.54428

Stevens, D. R., Flores-Mir, C., Nebbe, B., Raboud, D. W., Heo, G., y Major, P. W. (2006). Validity, reliability, and reproducibility of plaster vs digital study models: Comparison of peer assessment rating and Bolton analysis and their constituent measurements. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 129*(6), 794-803. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2004.08.023

Suryajaya, W., Purbiati, M., e Ismah, N. (2021). Accuracy of digital dental models and three-dimensional printed dental models in linear measurements and Bolton analysis. *F1000Research, 10*, 180. https://doi.org/10.12688/f1000research.31865.2

Tarazona, B., Llamas, J. M., Cibrián, R., Gandía, J. L., y Paredes, V. (2012). Evaluation of the validity of the Bolton Index using cone-beam computed tomography (CBCT). *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal, 17*(5), e878-e883. https://doi.org/10.4317/medoral.18069

Tomassetti, J. J., Taloumis, L. J., Denny, J. M., y Fischer, J. R., Jr. (2001). A comparison of 3 computerized Bolton tooth-size analyses with a commonly used method. *The Angle Orthodontist, 71*(5), 351-357. Recuperado de https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11605868/

Vásconez Ponce, P. S., Barros Noboa, J. M., Sailema Muyulema, E. P., y Pérez Villalba, L. D. (2022). Valoración de las características contractivas de dos tipos de alginatos utilizados en odontología. *Revista Conrado, 18*(S3), 283-289.

Watanabe-Kanno, G. A., Abrão, J., Miasiro Junior, H., Sánchez-Ayala, A., y Lagravère, M. O. (2010). Determination of tooth-size discrepancy and Bolton ratios using Bibliocast Cécile3 digital models. *International Orthodontics, 8*(3), 215-226. https://doi.org/10.1016/j.ortho.2010.07.001

Wiranto, M. G., Engelbrecht, W. P., van den Heuvel, E. R., de Koning, M. J., van der Schans, C. P., y Ren, Y. (2012). Validity, reliability, and reproducibility of linear measurements on digital models obtained from intraoral and cone-beam computed tomography scans of alginate impressions. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 142*(3), 332-340. https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.05.007

Yılmaz, H., Özlü, F. Ç., Karadeniz, C., y Karadeniz, E. İ. (2019). Efficiency and accuracy of three-dimensional models versus dental casts: A clinical study. *Turkish Journal of Orthodontics, 32*(4), 214-218. https://doi.org/10.5152/TurkJOrthod.2019.19034

Zamora, C. E. (2010). Compendio de cefalometría (2.ª ed.). Amolca.

Zhang, F., Suh, K.-J., y Lee, K.-M. (2016). Validity of intraoral scans compared with plaster models: An in-vivo comparison of dental measurements and 3D surface analysis. *PLoS ONE, 11*(6), e0157713. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157713

Zilberman, O., Huggare, J. A., y Parikakis, K. A. (2003). Evaluation of the validity of tooth size and arch width measurements using conventional and three-dimensional virtual orthodontic models. *The Angle Orthodontist, 73*(3), 301-306. Recuperado de https://angle-orthodontist.kglmeridian.com/view/journals/angl/73/3/article-p301.xml