Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo
Facultad de Odontología

Tesis monográfica para optar al título de
Especialista en Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial
Salud y Bienestar
Ortodoncia

Comparación de la precisión diagnostica del análisis de Bolton en modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit I600, en las clínicas de Ortodoncia y Ortopedia dentofacial de la UNICA durante el periodo 2025-2026.

AUTOR
Larios - Neira, Gretchen Isela
https://orcid.org/0009-0004-3187-8956x

Managua, Nicaragua
31 agosto, 2026

Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo

Facultad de Odontología

Tesis monográfica para optar al título de
Especialista en Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial

Salud y Bienestar

Ortodoncia

Comparación de la precisión diagnostica del análisis de Bolton en modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, en las clínicas de Ortodoncia y Ortopedia dentofacial de la UNICA durante el periodo 2025-2026.

TUTOR CIENTÍFICO
Dr. Medardo Alberto Mendoza Goya
Especialista en Ortodoncia
https://orcid.org/0009-0004-5076-0945

TUTOR METODOLÓGICO
PhD. José Jesús Mendoza Casanova
Profesor Investigador/UNICA
https://orcid.org/0009-0006-9968-1986

REVISOR Y CORRECTOR DE ESTILO
Lic. Hazel María López Palacios
Profesor Investigador/UNICA
https://orcid.org/0009-0003-9963-8409

Managua, Nicaragua
31 agosto, 2026

CARTA AVAL TUTOR CIENTIFICO

Por medio de la presente, y en mi calidad de tutor científico, certifico que el trabajo de investigación titulado:

Comparación de la precisión diagnostica del análisis de Bolton en modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, en las clínicas de Ortodoncia y Ortopedia dentofacial de la UNICA, *durante el periodo 2025-2026*

Realizado por Gretchen Isela Larios Neira, cumple con las disposiciones institucionales, metodológicas y técnicas, que regulan esta actividad académica, y constituye su tesis monográfica para optar al título de Especialista de Ortodoncia y Ortopedia dentofacial.

Y para que así conste, en cumplimiento con la normativa vigente, autorizo a las y los egresados, reproducir el documento definitivo para su entrega oficial a la facultad correspondiente, para que pueda ser tramitada su lectura y defensa pública.

Managua, Nicaragua, 3 de marzo 2026

Atentamente,



Dr. Medardo Alberto Mendoza Goya
Especialista en Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial
Docente de Pregrado UNICA
Docente de Posgrado UNICA
albgoy@yahoo.com

CARTA AVAL TUTOR METODOLÓGICO

Por medio de la presente, y en mi calidad de tutor metodológico, certifico que el trabajo de investigación titulado:

Comparación de la precisión diagnostica del análisis de Bolton en modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit I600, en las clínicas de Ortodoncia y Ortopedia dentofacial de la UNICA *durante el periodo 2025-2026*

Realizado por Gretchen Isela Larios Niera, cumple con las disposiciones institucionales, metodológicas y técnicas, que regulan esta actividad académica, y constituye su tesis monográfica para optar al título de Especialista de Ortodoncia y Ortopedia dentofacial.

Y para que así conste, en cumplimiento con la normativa vigente, autorizo a [apellidos, sin negrita], reproducir el documento definitivo para su entrega oficial a la facultad correspondiente, para que pueda ser tramitada su lectura y defensa pública.

Managua, Nicaragua, 3 de marzo 2026

Atentamente,



PhD. José Jesús Mendoza Casanova
Profesor Investigador/UNICA
jmendoza8@unica.edu.ni

Dedicatoria

A Dios, porque sin Él nada de esto habría sido posible. Gracias por ser mi refugio en los días de incertidumbre, por sostenerme cuando sentía que las fuerzas no eran suficientes y por recordarme, una y otra vez, que después de cada dificultad siempre llega un nuevo comienzo. Gracias por regalarme la sabiduría, la fortaleza y la perseverancia para no rendirme, incluso cuando el camino parecía cuesta arriba. Este logro es el reflejo de su amor, su gracia y su fidelidad en mi vida.

A mi mamá, por ser mi compañía incondicional durante este largo camino. Gracias por escucharme cuando necesitaba desahogarme, por aconsejarme con amor, por alentarme cuando el cansancio y las dudas aparecían y por recordarme siempre que era capaz de lograr todo aquello que me propusiera. Tu confianza en mí fue una fuerza silenciosa que me impulsó a seguir adelante en los momentos más difíciles. Hoy celebro este logro con la certeza de que también te pertenece, porque cada una de tus palabras quedó guardada en mi corazón y me acompañó hasta el final.

A mi papá, quien hoy me cuida desde el cielo. Aunque hubiera deseado profundamente que estuvieras aquí para abrazarte y compartir contigo este momento, encuentro consuelo al pensar que, desde donde estás, puedes ver a tu hija cumplir uno de sus más grandes sueños. Sé que estarías orgulloso de verme convertida en la mujer que nunca dejó de luchar, que aprendió a levantarse después de cada tropiezo y que jamás renunció a sus metas. Cada paso que doy lleva conmigo tus enseñanzas, tus valores y el inmenso amor que sembraste en mi vida. Esta tesis también es para ti, porque una parte de mi corazón siempre caminará de tu mano.

Finalmente, me la dedico a mí misma. Porque solo yo conozco cada lágrima, cada noche de desvelo, cada momento de incertidumbre y cada batalla que tuve que enfrentar para llegar hasta aquí. Este camino no siempre fue fácil; hubo momentos en los que pensé que no podría continuar, pero descubrí que la verdadera fortaleza nace cuando decidimos levantarnos una vez más. Hoy miro hacia atrás con orgullo y comprendo que cada obstáculo me hizo más fuerte, más resiliente y consciente de que los sueños sí se cumplen cuando se camina con fe, disciplina y determinación.

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios, por ser la luz que iluminó cada paso de este recorrido. Gracias por concederme la fortaleza para superar cada desafío, la sabiduría para tomar las decisiones correctas y la serenidad para confiar en que todo sucede conforme a Su perfecta voluntad. En los momentos de mayor incertidumbre, su presencia fue el impulso que necesitaba para seguir adelante.

A mi mamá, gracias por acompañarme durante todo este proceso con tu amor, tus consejos y tus palabras de aliento. Gracias por escucharme en los momentos de cansancio, por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba y por recordarme siempre que con esfuerzo y dedicación podía alcanzar esta meta.

A mi papá, que hoy descansa en la presencia de Dios, gracias por las enseñanzas, los valores y el ejemplo que sembraste en mi vida. Aunque ya no puedas compartir este momento físicamente, sé que desde el cielo celebras conmigo este logro. Tu recuerdo ha sido una inspiración permanente para no rendirme y para demostrar que el esfuerzo y la perseverancia siempre tienen recompensa.

Mi reconocimiento y gratitud a todos los docentes de la Especialidad en Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial, quienes compartieron generosamente sus conocimientos, experiencia y pasión por la profesión.

Finalmente, quiero agradecerme a mí misma. Gracias por no rendirme cuando el camino se volvió difícil, por tener el valor de levantarme después de cada obstáculo, por creer que era posible incluso en los momentos de mayor incertidumbre y por seguir adelante aun cuando el cansancio físico y emocional parecían más fuertes que mis propias fuerzas. Gracias por cada noche de estudio, por cada esfuerzo silencioso, por la disciplina, la constancia y la determinación que hicieron posible llegar hasta aquí. Hoy comprendo que este logro no solo representa un título académico, sino también el testimonio de una mujer que aprendió a transformar las dificultades en fortaleza, que nunca dejó de creer en sus sueños y que entendió que, con fe en Dios, perseverancia y amor por lo que hace, no existen metas imposibles de alcanzar.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo comparar la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600, en pacientes atendidos en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo durante el período 2025-2026. El estudio surgió ante la creciente incorporación de tecnologías digitales en ortodoncia y la necesidad de determinar si los resultados obtenidos mediante estos recursos son comparables con los derivados de los métodos convencionales.

Se desarrolló una investigación con enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo, de tipo básica pura, de corte transversal con componentes retrospectivo y prospectivo, y con diseño observacional comparativo de campo. La muestra estuvo conformada por 100 pares de modelos que cumplieron con los criterios de inclusión establecidos. Las mediciones mesiodistales se realizaron de primer molar a primer molar en ambas arcadas; en los modelos físicos se utilizó compás y regla milimétrica, mientras que los modelos digitales fueron obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 y analizados con el software Dolphin 3D Study Models. A partir de estas mediciones se calcularon las proporciones anterior y total del análisis de Bolton. Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, prueba de rangos con signo de Wilcoxon, Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) y método de Bland-Altman.

Los resultados mostraron valores promedio muy próximos entre ambos métodos. El índice de Bolton anterior presentó medias de 78.10 % en los modelos físicos y 78.31 % en los digitales, mientras que para el índice de Bolton total las medias fueron de 91.66 % y 91.93 %, respectivamente. Aunque la prueba de Wilcoxon identificó diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos ($p = 0.001$), el Coeficiente de Correlación Intraclase evidenció una buena concordancia para el Bolton anterior (ICC = 0.876) y una concordancia excelente para el Bolton total (ICC = 0.915). Asimismo, el análisis de Bland-Altman mostró sesgos promedio reducidos de −0.209 para el Bolton anterior y −0.276 para el Bolton total.

Se concluye que, aunque se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos mediante ambos métodos, estas fueron pequeñas en promedio y coexistieron con niveles de concordancia buenos a excelentes y sesgos reducidos. Desde el punto de vista clínico, estos hallazgos respaldan la utilización de los modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 y analizados con Dolphin 3D Study Models como una herramienta confiable para la realización del análisis de Bolton dentro del diagnóstico ortodóncico.

Descriptores DeCS: Ortodoncia; Modelos Dentales

Palabras claves

Análisis de Bolton, modelos digitales, modelos físicos, escáner intraoral, precisión diagnóstica.

Abstract

The present study aimed to compare the diagnostic accuracy of Bolton analysis between physical plaster models and digital models obtained using the Medit i600 intraoral scanner in patients treated at the Orthodontics and Dentofacial Orthopedics Clinics of Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo during the 2025–2026 period. The study was conducted in response to the increasing incorporation of digital technologies into orthodontics and the need to determine whether the results obtained using these resources are comparable to those derived from conventional methods.

A quantitative, descriptive, basic research study was conducted, with a cross-sectional approach including retrospective and prospective components, and an observational, comparative field design. The sample consisted of 100 pairs of physical models that met the established inclusion criteria. Mesiodistal measurements were performed from first molar to first molar in both dental arches. For the physical models, a dental divider and millimeter ruler were used, whereas the digital models were obtained using the Medit i600 intraoral scanner and analyzed with Dolphin 3D Study Models software. Based on these measurements, the anterior and overall Bolton ratios were calculated. Data were analyzed using descriptive statistics, the Shapiro–Wilk normality test, Wilcoxon signed-rank test, Intraclass Correlation Coefficient (ICC), and Bland–Altman method.

The results showed very similar mean values between the two methods. The anterior Bolton ratio showed mean values of 78.10% for the physical models and 78.31% for the digital models, whereas the overall Bolton ratio showed mean values of 91.66% and 91.93%, respectively. Although the Wilcoxon signed-rank test identified statistically significant differences between the two methods ($p = 0.001$), the Intraclass Correlation Coefficient demonstrated good agreement for the anterior Bolton ratio (ICC = 0.876) and excellent agreement for the overall Bolton ratio (ICC = 0.915). Likewise, the Bland–Altman analysis showed small mean biases of −0.209 for the anterior Bolton ratio and −0.276 for the overall Bolton ratio.

It was concluded that, although statistically significant differences were identified between the values obtained using the two methods, these differences were small on average and coexisted with good-to-excellent levels of agreement and low mean biases. From a clinical

perspective, these findings support the use of digital models obtained with the Medit i600 intraoral scanner and analyzed using Dolphin 3D Study Models as a reliable tool for performing Bolton analysis in orthodontic diagnosis.

Keywords

Bolton Analysis, Digital Models, Plaster Models, Intraoral Scanner, Diagnostic Accuracy.

Tabla de contenido

1. Introducción **1**

2. Antecedentes **3**

3. Contexto del problema **10**

4. Pregunta de investigación **13**

5. Objetivos **14**

5.1 Objetivo general 14

5.2 Objetivos específicos 14

6. Justificación **15**

7. Limitantes de la investigación **18**

8. Marco teórico **22**

8.1 Marco referencial 23

8.1.1. Modelos de estudio en ortodoncia 23

Modelos digitales 24

Escáneres intraorales 25

Software Dolphin 3D Study Models 26

8.1.2. Ancho mesiodistal dentario 28

Medición manual del ancho mesiodistal 29

Medición digital del ancho mesiodistal 30

Software Dolphin 3D Study Models 30

Análisis de Bolton anterior 32

8.1.3. Concordancia entre métodos de medición 33

Evaluación de la distribución de los datos 33

Comparacion de mediciones relacionadas 34

Coeficiente de correlación intraclase (ICC) 34

Análisis de Bland-Altman 35

8.1.4. Interpretación clínica del análisis de Bolton 36

Significancia clínica de la discrepancia Bolton 37

Relevancia clínica de las diferencias entre métodos de medición 38

8.2 Marco conceptual 39
8.2.1. Modelos de estudios en ortodoncia 40
8.2.2. Modelos físicos y modelos virtuales 40
8.2.3. Ancho mesiodistal dentario 41
8.2.4. Discrepancia de tamaño dentario 41
8.2.5. Análisis de Bolton 41
8.2.6. Proporción anterior de Bolton 41
8.2.7. Proporción total de Bolton 42
8.2.8. Modelos digitales tridimensionales 42
8.2.9. Escáner intraoral 42
8.2.10. Escáner intraoral Medit i600 43
8.2.11. Software Dolphin 3D Study Models 43
8.2.12. Confiabilidad 43
8.2.13. Reproducibilidad 43
8.2.14. Exactitud 44
8.2.15. Precisión 44
8.2.16. Concordancia 44
8.2.17 Estadística descriptiva 44
8.2.18. Prueba de Shapiro-Wilk 45
8.2.19. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon 45
8.2.20. Coeficiente de correlación intraclase (ICC) 45
8.2.21. Método de Bland-Altman 45
9. Marco metodológico 46
9.1 Tipo de investigación 46
Según el enfoque 47
Según nivel de profundidad 47
Según la aplicabilidad de sus resultados 47
Según su orientación en el tiempo 47
Según el tipo de diseño 48

9.2 Hipótesis de investigación 48
9.3 Definición operativa de las variables 49
9.4 Criterios de inclusión y exclusión 55
9.4.1. Criterios de inclusión 55
9.4.2. Criterios de exclusión 56
9.5 Población y muestra 56
9.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 57
9.7 Validez y confiabilidad de los instrumentos 58
9.8 Procedimientos para el procesamiento y análisis de información 59
9.9 Consideraciones éticas 69
10 Resultados y discusión 70
11 Conclusiones 117
12 Recomendaciones 118
13 Referencias 120
14 Anexos 124

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de operacionalización del objetivo específico 1 50

Tabla 2. *Matriz de operacionalización del objetivo específico 2* 52

Tabla 3. Matriz de operacionalización del objetivo específico 3 53

Tabla 4. Matriz de operacionalización del objetivo específico 4 54

Tabla 5. Caracterización de la muestra 71

Tabla 6. Estadísticos descriptivos de las mediciones mesiodistales arcada superior en modelos físicos (MF) 72

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de las mediciones mesiodistales arcada inferior en modelos físicos (MF) 74

Tabla 8. Estadísticos descriptivos de las mediciones mesiodistales arcada superior en modelos digitales (MD) 76

Tabla 9. Estadísticos descriptivos de las mediciones mesiodistales arcada inferior en modelos digitales (MD) 79

Tabla 10. Suma dentarias obtenidas mediante modelos físicos 82

Tabla 11. Estadísticos descriptivos del análisis de Bolton anterior y total y de la magnitud de la discrepancia en modelos físicos de yeso 85

Tabla 12. Suma dentarias obtenidas mediante modelos Digitales 87

Tabla 13. Estadísticos descriptivos del análisis de Bolton anterior y total y de la magnitud de la discrepancia en modelos digitales 92

Tabla 14. Pruebas de normalidad de la diferencia del análisis de Bolton anterior entre modelos físicos y modelos digitales 95

Tabla 15. Pruebas de normalidad de la diferencia del análisis de Bolton total entre modelos físicos y modelos digitales 98

Tabla 16. Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) Bolton anterior 101

Tabla 17. Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) Bolton total 102

Tabla 18. Comparacion del Coeficiente de Correlación Intraclase de los Índices de Bolton anterior y total entre modelos físicos y digitales. 104

Tabla 19. Análisis de acuerdo mediante el método de Bland- Altman para los índices de Bolton anterior y Bolton total 106

Tabla 20. Sesgo promedio y límites de acuerdo del 95 % obtenidos mediante el análisis de Bland–Altman para los índices de Bolton anterior y total. 108

Tabla 21. Análisis de sensibilidad de la influencia de las observaciones situadas fuera de los límites de acuerdo en los índices de Bolton anterior y total 112

Tabla 22. Resumen de los resultados e interpretación clínica de los índices de Bolton anterior y total mediante modelos físicos y digitales 116

Índice de figuras

Figura 1. Modelos físicos de yeso de las arcadas dentarias. 24

Figura 2. Modelo digital escaneado de las arcadas dentarias maxilar y mandibular. 25

Figura 3. Escáner intraoral Medit i600 26

Figura 4. Delimitación de las piezas dentarias en modelos digitales mediante el Software Dolphin 3D Study Models 27

Figura 5. Medición del diámetro mesiodistal de las piezas dentarias en modelos digitales mediante el Software Dolphin 3D Study Models 28

Figura 6. Medición del ancho mesiodistal dental en modelo de yeso. 29

Figura 7. Fórmulas del análisis de Bolton anterior y Bolton total 32

Figura 8. Interpretación de las proporciones anterior y total del análisis de Bolton 36

Figura 9. Significancia clínica de la discrepancia de tamaño dentario 38

Figura 10. Medición de las dimensiones mesiodistales en el modelo físico de yeso mediante el compás y regla milimétrica. 61

Figura 11. Digitalización del modelo físico de la arcada superior mediante el escáner intraoral Medit i600 62

Figura 12. Digitalización del modelo físico de la arcada inferior mediante el escáner intraoral Medit i600. 63

Figura 13. Delimitación de las coronas dentarias en el modelo digital mediante el software Dolphin. 3D Digital Study Models para la realización de las mediciones del análisis de Bolton. 64

Figura 14. Modelo digital de la arcada superior e inferior analizado en Dolphin 3D Digital Study Models para la realización de las mediciones mesiodistales correspondientes al análisis de Bolton. 65

Figura 15. Resultado del análisis de Bolton obtenido mediante el software Dolphin 3D study models, a partir de las mediciones realizadas en el modelo digital. 66

Figura 16. Resultado del análisis de Bolton obtenido mediante el software Dolphin 3D study models, a partir de las mediciones realizadas en el modelo digital. 67

Figura 17. Sumatorias dentarias obtenidas mediante modelos físicos de yeso 84

Figura 18. Sumatorias dentarias obtenidas mediante modelos digitales. 89

Figura 19. Comparación descriptiva de las medias de las sumatorias dentarias obtenidas mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales 90

Figura 20. Comparacion de los índices de Bolton anterior y total entre modelos físicos y digitales. 91

Figura 21. Resultado de la prueba de Wilcoxon para el índice de Bolton anterior entre los modelos físicos y digitales. 97

Figura 22. Resultado de la prueba de Wilcoxon para el índice de Bolton total entre los modelos físicos y digitales. 100

Figura 23. Análisis de Bland- Altman para el índice de Bolton anterior 107

Figura 24. Análisis de Bland- Altman para el índice de Bolton total 110

1. Introducción

En los últimos años, la odontología ha experimentado importantes cambios con la incorporación de nuevas tecnologías en los procesos de diagnóstico y planificación del tratamiento. En ortodoncia, estos avances han facilitado la obtención, almacenamiento y análisis de la información de los pacientes, permitiendo integrar herramientas digitales a procedimientos que tradicionalmente se realizaban de forma convencional. Entre estas herramientas se encuentran los escáneres intraorales y los modelos digitales, cuyo uso se ha extendido como una alternativa a los modelos físicos de yeso.

Los modelos de estudio forman parte importante del diagnóstico ortodóncico, ya que permiten evaluar las relaciones oclusales, las dimensiones dentarias y otros aspectos necesarios para establecer un adecuado plan de tratamiento. Durante muchos años, los modelos físicos de yeso han sido utilizados para realizar estas evaluaciones y obtener mediciones dentarias. Sin embargo, con el desarrollo de la odontología digital es posible disponer de modelos tridimensionales que facilitan el manejo y almacenamiento de la información y permiten realizar mediciones mediante programas especializados.

Entre los análisis realizados a partir de estas mediciones se encuentra el análisis de Bolton, utilizado para determinar la proporcionalidad existente entre el tamaño mesiodistal de los dientes superiores e inferiores. A través de sus relaciones anterior y total, este análisis permite identificar discrepancias de tamaño dentario que deben ser consideradas durante el diagnóstico y la planificación del tratamiento ortodóncico. Aunque tradicionalmente se ha realizado sobre modelos físicos de yeso, actualmente también puede efectuarse sobre modelos digitales.

La incorporación de estos recursos plantea la necesidad de conocer si los resultados obtenidos mediante modelos digitales son comparables con aquellos derivados del método convencional. Diferentes investigaciones han estudiado las mediciones realizadas mediante ambos procedimientos y han encontrado resultados favorables para el uso de modelos digitales en ortodoncia. No obstante, existen diferencias relacionadas con el tipo de escáner, el programa utilizado para realizar las mediciones y las características de las muestras estudiadas. Por esta razón, resulta importante continuar evaluando el comportamiento de estas herramientas y generar evidencia que respalde su utilización en diferentes contextos clínicos y académicos.

En este sentido, la presente investigación tuvo como objetivo general comparar la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600 en pacientes atendidos en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo durante el período 2025-2026. Para alcanzar este propósito, se obtuvieron las mediciones mesiodistales de primer molar a primer molar en ambas arcadas mediante los dos métodos; posteriormente, se calcularon las proporciones anterior y total del análisis de Bolton, se analizó la concordancia entre los resultados obtenidos y, finalmente, se realizó su interpretación desde el punto de vista clínico.

La investigación se delimitó temporalmente al período 2025-2026 y se desarrolló en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo. El estudio se centró en la comparación del análisis de Bolton realizado a partir de modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 y analizados con el software Dolphin 3D Study Models.

El presente informe reúne los diferentes componentes que permitieron desarrollar la investigación. Inicialmente, se presentan los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y las limitaciones del estudio. Posteriormente, se desarrolla el marco teórico y el marco metodológico, donde se describen los procedimientos utilizados para la obtención y análisis de la información. Finalmente, se presentan los resultados y su discusión de acuerdo con los objetivos planteados, seguidos de las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos correspondientes.

2. Antecedentes

En los últimos años, el uso de tecnologías digitales ha adquirido mayor importancia en odontología, especialmente en ortodoncia, donde la precisión de las mediciones es fundamental para establecer un diagnóstico y una adecuada planificación del tratamiento. Dentro de este contexto, la presente investigación compara la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral. En la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo se han incorporado progresivamente estas tecnologías; sin embargo, en la especialidad de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial aún no se han realizado estudios que evalúen su precisión para este análisis. Por esta razón, se revisaron antecedentes internacionales, regionales y nacionales que permiten conocer la evidencia disponible y sustentar la necesidad de realizar esta investigación.

Nivel Internacional

En los últimos años, el avance de las tecnologías digitales en ortodoncia ha generado interés por conocer si las mediciones obtenidas mediante modelos digitales son comparables con las realizadas en modelos físicos de yeso. En este contexto, diversas investigaciones han evaluado la precisión y confiabilidad de ambos métodos, especialmente para la medición del tamaño dentario y la realización del análisis de Bolton.

Uno de los primeros estudios relacionados con la incorporación de tecnologías digitales en ortodoncia fue desarrollado en Estados Unidos, donde se comparó la precisión y eficiencia de tres sistemas computarizados para la realización del análisis de Bolton frente al método convencional mediante calibrador Vernier. La investigación incluyó 22 juegos de modelos, correspondientes a 11 registros pretratamiento y 11 postratamiento, y comparó los sistemas QuickCeph, Hamilton Arch Tooth System (HATS) y OrthoCad. Para el análisis estadístico se emplearon el coeficiente de correlación de Pearson, ANOVA de medidas repetidas, pruebas t pareadas y regresión lineal. Los resultados No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los métodos; sin embargo, en cada uno se observaron casos con diferencias clínicamente significativas superiores a 1.5 mm. HATS presentó la mayor correlación con el método convencional, seguido de OrthoCad y QuickCeph, lo que evidenció variaciones en el

desempeño de los sistemas digitales para el análisis de discrepancias de tamaño dentario (Tomassetti et al., 2001).

En Australia se evaluó la validez, confiabilidad y reproducibilidad del escáner intraoral iOC y del software OrthoCAD para la medición de anchos dentarios y el cálculo de las proporciones de Bolton. El estudio incluyó 30 participantes, de quienes se obtuvieron modelos físicos de yeso y modelos digitales mediante escaneo intraoral. Para el análisis estadístico se emplearon la prueba t de Student pareada, el coeficiente de correlación de Pearson, el análisis de Bland-Altman y el coeficiente de correlación intraclase (ICC). Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos en los anchos dentarios y las proporciones de Bolton; sin embargo, estas diferencias fueron consideradas clínicamente insignificantes. Los autores concluyeron que el sistema iOC/OrthoCAD presenta una precisión clínicamente aceptable y excelente confiabilidad y reproducibilidad (Naidu & Freer, 2013).

Ese mismo año, en Turquía, se compararon las mediciones dentarias y el análisis de Bolton obtenidos mediante modelos de yeso convencionales y modelos digitales tridimensionales. La investigación incluyó 20 modelos digitales y sus correspondientes modelos de yeso, en los que se midieron los anchos mesiodistales de primer molar a primer molar mediante calibrador Vernier y el software O3DM, respectivamente. Para el análisis estadístico se utilizaron el alfa de Cronbach, la prueba de rangos con signo de Wilcoxon y la prueba de McNemar. Los resultados mostraron una alta confiabilidad intraobservador y diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de ambos métodos, siendo menores las obtenidas en los modelos digitales. A pesar de estas diferencias, los autores consideraron que el método digital constituía una alternativa aceptable para su utilización en la práctica ortodóncica (Nalcaci et al., 2013).

En Brasil, se evaluó específicamente la confiabilidad del análisis de Bolton mediante la comparación de modelos virtuales tridimensionales y modelos de yeso convencionales. El estudio incluyó 56 pares de modelos, medidos manualmente con calibrador digital Cen-Tech y digitalmente mediante el escáner 3Shape R-700T y el software Ortho Analyzer. Para el análisis estadístico se utilizaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov, t de Student para muestras pareadas, coeficiente de concordancia de Lin y Kappa. Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos para la proporción de Bolton total (p =

0.173) ni anterior (p = 0.239), con una concordancia satisfactoria. Los autores concluyeron que el análisis de Bolton en modelos virtuales tridimensionales era tan confiable como el realizado en modelos de yeso (Brandão et al., 2015).

A partir de 2019, las investigaciones comenzaron a profundizar en la precisión de los modelos digitales bajo diferentes condiciones clínicas. En Italia, se evaluaron 40 modelos dentales con distintos grados de apiñamiento para comparar las mediciones y las proporciones de Bolton obtenidas en modelos de yeso y digitales. Para el análisis estadístico se utilizaron Shapiro-Wilk, t de Student pareada, ICC y ANOVA de una vía. Los resultados mostraron alta confiabilidad intra e interexaminador y diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos en la mayoría de las variables, excepto en la longitud de arco mandibular y la proporción anterior de Bolton. Aunque las diferencias aumentaron con el grado de apiñamiento, fueron pequeñas y sin relevancia clínica (Lo Giudice et al., 2019).

También en Turquía, se comparó la precisión y el tiempo requerido para realizar el análisis de Bolton y el análisis de espacio en modelos digitales obtenidos mediante escaneo intraoral y modelos de yeso convencionales. El estudio incluyó 30 pacientes y para el análisis estadístico se utilizaron Shapiro-Wilk, Mann-Whitney U y prueba t. Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos para las proporciones de Bolton anterior y total ($p > 0.05$); sin embargo, el análisis digital requirió significativamente menos tiempo ($p < 0.001$). Los autores concluyeron que los modelos digitales proporcionan resultados comparables con los modelos de yeso y constituyen una alternativa eficiente para el diagnóstico ortodóncico (Yılmaz et al., 2019).

Posteriormente, en Turquía, se compararon mediciones lineales y el análisis de Bolton obtenidos mediante modelos convencionales y modelos digitalizados con iTero Element 2 y OrthoCAD. El estudio incluyó 30 individuos y para el análisis estadístico se emplearon estadística descriptiva, prueba t pareada y coeficiente de correlación intraclase (ICC). Los resultados mostraron una diferencia estadísticamente significativa en la proporción anterior de Bolton (p = 0.004), mientras que en la proporción total no se encontraron diferencias significativas (p = 0.194). Los autores consideraron que las mediciones digitales eran confiables y podían utilizarse como alternativa al método convencional (Tunca et al., 2021).

En China se comparó la exactitud del análisis de Bolton en modelos de yeso y digitales de 61 pacientes con maloclusiones Clase I, II y III. Las mediciones se realizaron mediante calibrador digital y escaneo iTero con OrthoCAD, utilizando ANOVA de una vía, t de Student independiente e ICC. No se encontraron diferencias significativas en las proporciones de Bolton entre los distintos tipos de maloclusión; sin embargo, sí existieron diferencias entre los métodos para Bolton anterior (p = 0.03) y total (p = 0.02). A pesar de ello, los autores concluyeron que las mediciones digitales presentaban una exactitud comparable con el método convencional (Al Jabri et al., 2021).

En España e Italia se evaluó la exactitud y confiabilidad de las mediciones de ancho dentario y del análisis de Bolton proporcionadas por ClinCheck Pro6.0, comparando 54 modelos de yeso con sus correspondientes modelos virtuales. El análisis estadístico incluyó el coeficiente de correlación intraclase (ICC), error de Dahlberg y un modelo estadístico mixto. Las mediciones de ancho dentario mostraron una alta concordancia global (ICC = 0.98); sin embargo, los índices de Bolton presentaron menor concordancia y limitaciones en su exactitud clínica, especialmente ante exceso dentario mandibular (Adobes Martín et al., 2022).

De forma paralela, una investigación desarrollada entre Canadá e Irán comparó las mediciones ortodóncicas realizadas en modelos de yeso y modelos digitales tridimensionales. El estudio incluyó 30 pares de modelos y empleó ICC, correlación de Pearson y prueba t pareada. Los resultados mostraron una alta concordancia intraexaminador en la mayoría de las variables y, aunque algunas diferencias entre los métodos fueron estadísticamente significativas, en su mayoría no presentaron relevancia clínica. Los autores concluyeron que el sistema Maestro 3D constituye una alternativa aceptable para realizar mediciones diagnósticas en ortodoncia (Rafiei et al., 2022).

En Irak se comparó la exactitud y confiabilidad de las mediciones de ancho dentario y las proporciones de Bolton obtenidas mediante modelos de yeso, tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y escáner intraoral. El estudio incluyó 72 pacientes y para el análisis estadístico se utilizaron Kolmogorov-Smirnov, ANOVA de medidas repetidas con corrección de Bonferroni e ICC. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres métodos para los anchos dentarios ni para las proporciones de Bolton anterior y total, observándose además

una fuerte concordancia. Los autores concluyeron que los tres métodos proporcionan mediciones exactas y confiables para el diagnóstico ortodóncico (Khalil et al., 2023).

Posteriormente, en Bosnia y Herzegovina, se comparó la medición manual y digital de la discrepancia de tamaño dentario mediante el análisis de Bolton anterior y total. El estudio incluyó 33 pacientes, cuyos modelos de yeso fueron medidos con calibrador Vernier y comparados con modelos digitales obtenidos mediante CEREC Primescan y Cerec Ortho SW 2.0.2. Para el análisis estadístico se utilizaron estadística descriptiva, coeficiente de variación y prueba t. Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos para las proporciones de Bolton anterior y total. Los autores concluyeron que el escaneo intraoral constituye una alternativa clínicamente aceptable al método convencional (Džemidžić et al., 2024).

Finalmente, en Brasil, se evaluó el desempeño diagnóstico de ClinCheck, Dolphin Imaging y 3D Slicer para el análisis de discrepancias de Bolton. El estudio incluyó 55 pares de modelos y empleó Shapiro-Wilk, ICC, fórmula de Dahlberg, t pareada, Bland-Altman y ANOVA de medidas repetidas con Bonferroni. Los tres métodos mostraron mediciones confiables; sin embargo, ClinCheck y Dolphin Imaging presentaron mayor exactitud para el análisis de Bolton anterior, mientras que en Bolton total se observó mayor variabilidad. A pesar de estas diferencias, las variaciones encontradas no presentaron relevancia clínica. Los autores recomendaron cautela al interpretar las discrepancias de Bolton obtenidas mediante estos programas (Santana et al., 2025).

Nivel Regional

En Ecuador se comparó la exactitud y fiabilidad del análisis de Bolton entre métodos manual y digital en 50 modelos de estudio, utilizando calibrador Vernier, escáner Optical RevEng y software Nemocast 3D. Se emplearon la prueba t de Student y el coeficiente de correlación de Pearson. Aunque se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las mediciones, ambos métodos presentaron alta correlación y las diferencias fueron clínicamente irrelevantes (Pinos Luzuriaga, 2015).

En Colombia se compararon medidas dentales y transversales en 30 pares de modelos de yeso y digitales mediante calibrador y software O3D. Se utilizaron ICC, prueba t pareada, fórmula de Dahlberg y análisis de varianza. Se obtuvo excelente reproducibilidad intra e interexaminador y, aunque existieron diferencias estadísticas entre los métodos, estas fueron clínicamente irrelevantes (Restrepo et al., 2015).

Posteriormente, en México, se evaluó el índice de Bolton mediante medición manual y digital en 70 pares de modelos de estudio. Las mediciones se realizaron en dos ocasiones mediante un compás y regla milimétrica para el método manual y un vernier electrónico para el digital. Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos, por lo que ambas formas de medición fueron consideradas opciones adecuadas para realizar el análisis de Bolton (Aude Díaz et al., 2016).

Finalmente, en México, se comparó la precisión del análisis de Bolton mediante el software WebCeph y el método convencional. El estudio incluyó 83 pares de modelos de pacientes atendidos en la Clínica de Ortodoncia de la UJAT y empleó la prueba t de Student para muestras emparejadas. Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de las comparaciones entre ambos métodos, por lo que WebCeph fue considerado una herramienta de alta precisión diagnóstica para el análisis de Bolton (Cadena Carrera et al., 2025).

Nivel nacional

En Nicaragua, la evidencia científica relacionada con la comparación entre modelos físicos de yeso y modelos digitales en ortodoncia es todavía limitada, particularmente en lo referente al análisis de Bolton. Las investigaciones nacionales se han orientado principalmente hacia otros aspectos del diagnóstico y tratamiento ortodóncico, mientras que el estudio de herramientas digitales para la medición y análisis de modelos dentales continúa siendo poco explorado.

Ante la incorporación progresiva de tecnologías como los escáneres intraorales, resulta necesario generar evidencia que permita conocer su desempeño frente a los métodos convencionales. En este sentido, la presente investigación busca aportar evidencia local sobre la

precisión diagnóstica de los modelos digitales para el análisis de Bolton y contribuir a sustentar su aplicación en el diagnóstico ortodóncico.

3. Contexto del problema

En los últimos años, diversas investigaciones enfocadas en la comparación entre modelos digitales y modelos físicos han destacado la importancia de validar estas tecnologías en diferentes contextos clínicos y poblaciones. Algunos estudios han reportado que los modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral presentan niveles adecuados de reproducibilidad y exactitud para la realización de mediciones dentarias y análisis ortodónticos, aunque recomiendan realizar estudios comparativos que permitan confirmar su precisión en distintos entornos clínicos (Baciu et al., 2022; Adobes Martin et al., 2022).

En el contexto regional latinoamericano, aunque la incorporación de tecnologías digitales ha sido más reciente que en países de Europa o Norteamérica, diversos estudios han comenzado a evaluar la concordancia entre las mediciones realizadas en modelos digitales y modelos de yeso. Estas investigaciones han demostrado que los modelos digitales pueden reproducir adecuadamente las mediciones dentarias utilizadas en ortodoncia; sin embargo, también resaltan la importancia de validar los sistemas de escaneo y los programas de análisis antes de su implementación clínica generalizada (Restrepo et al., 2015; Loma Salcedo & Huasco-Huarcaya, 2023; Cadena Carrera et al., 2025).

A pesar del creciente desarrollo de la odontología digital, la precisión de los modelos digitales puede verse influenciada por diversos factores, como el tipo de escáner intraoral utilizado, el software empleado para realizar las mediciones, el grado de apiñamiento dentario y los procedimientos de digitalización. Por esta razón, diversos autores coinciden en que cada sistema tecnológico debe validarse de manera individual antes de asumir su equivalencia diagnóstica con los modelos físicos, especialmente en análisis que dependen de mediciones dentarias de alta precisión, como el análisis de Bolton (Lo Giudice et al., 2019; Camardella et al., 2020; Khalil et al., 2023).

No obstante, en el contexto nacional, la producción científica relacionada con la evaluación de modelos digitales en ortodoncia continúa siendo limitada. En Nicaragua, el diagnóstico ortodóncico se ha realizado tradicionalmente mediante modelos de yeso obtenidos

a partir de impresiones dentales, los cuales son analizados de forma manual utilizando instrumentos de medición, como calibradores digitales. Aunque recientemente algunas instituciones académicas han comenzado a incorporar herramientas de odontología digital, aún existe escasa evidencia científica nacional que evalúe la precisión diagnóstica de estas tecnologías.

La literatura científica disponible en el país se ha enfocado principalmente en estudios sobre maloclusiones, diagnóstico clínico y salud bucal, mientras que las investigaciones relacionadas con la odontología digital y la validación de modelos digitales para análisis ortodóncicos son prácticamente inexistentes. En particular, no se identifican estudios nacionales que comparen de manera sistemática la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral, lo que evidencia una importante brecha en el conocimiento científico dentro del contexto nacional.

Esta ausencia de evidencia científica local tiene implicaciones tanto clínicas como académicas. Desde el punto de vista clínico, aún no se dispone de estudios nacionales que confirmen la precisión diagnóstica de los modelos digitales para la realización del análisis de Bolton. Esto adquiere especial importancia, ya que dicho análisis depende de mediciones dentarias de alta precisión, las cuales constituyen la base para una adecuada interpretación diagnóstica y planificación del tratamiento ortodóncico.

Desde la perspectiva académica, los estudiantes y residentes de ortodoncia que realizan su práctica en las clínicas universitarias trabajan en entornos donde coexisten modelos físicos y modelos digitales, sin que exista evidencia científica local que determine con claridad su equivalencia diagnóstica. Esta situación plantea interrogantes relevantes para la práctica clínica: ¿Existen diferencias en la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre los modelos físicos y los modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral en la población atendida en las clínicas universitarias? ¿En qué condiciones podría verse comprometida la exactitud de las mediciones? ¿Cuál es la probabilidad de que un diagnóstico basado exclusivamente en modelos digitales difiera del obtenido mediante modelos físicos?

El presente estudio se desarrollará en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA), ubicadas en Managua, Nicaragua, donde se atiende una población con características demográficas y socioeconómicas diversas. En este contexto clínico, el problema surge de la necesidad de evaluar la precisión diagnóstica del análisis de Bolton en modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral, en comparación con los modelos físicos tradicionalmente utilizados en ortodoncia.

En respuesta a esta problemática, la presente investigación se orienta a comparar la precisión diagnóstica del análisis de Bolton en modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600, con el propósito de generar evidencia científica que contribuya al fortalecimiento del diagnóstico ortodóncico y respalde la incorporación de tecnologías digitales en la práctica clínica y la formación académica.

4. Pregunta de investigación

¿Existe diferencia en la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre los modelos físicos yeso y los modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA), durante el periodo 2025-2026?

P-Población: Modelos Físicos de yeso y modelos digitales correspondientes a pacientes atendidos en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA), durante el periodo 2025-2026

E- Exposición: Obtención de modelos digitales mediante escáner intraoral Medit i600.

C-Comparación: Modelos físicos de yeso obtenidos mediante impresión convencional.

O-Outcome: Precisión diagnóstica del análisis de Bolton, evaluada mediante las proporciones de Bolton anterior y total, mediciones mesiodistales y concordancia entre métodos.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

Comparar la precisión diagnostica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600 en las clínicas de Ortodoncia y Ortopedia dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo.

5.2 Objetivos específicos

Obtener las mediciones del ancho mesiodistal de primer molar a primer molar en ambas arcadas mediante modelos físicos de yeso, utilizando regla milimétrica y compás, y de modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, empleando el software Dolphin 3D Study Models para la medición digital.

Calcular el análisis de Bolton anterior y total a partir de las mediciones mesiodistales obtenidas en los modelos físicos de yeso y modelos digitales.

Analizar la concordancia diagnóstica entre las mediciones y los valores del análisis de Bolton obtenidos en modelos físicos de yeso y modelos digitales mediante pruebas estadísticas de comparación, concordancia y acuerdo.

Interpretar los resultados del análisis de Bolton obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales desde el punto de vista clínico.

6. Justificación

La presente investigación surge de la necesidad de evaluar la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600, considerando el creciente uso de tecnologías digitales dentro de la práctica ortodóncica contemporánea. En los últimos años, la odontología digital ha introducido herramientas que permiten registrar, almacenar y analizar la información clínica de los pacientes mediante modelos tridimensionales generados por escáneres intraorales y software especializado. Sin embargo, a pesar de las ventajas que estas tecnologías ofrecen, su adopción en el diagnóstico ortodóncico requiere evidencia científica que confirme su confiabilidad en comparación con los métodos tradicionales. En este sentido, la presente investigación aporta evidencia científica mediante la comparación de la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600, permitiendo determinar si ambos métodos ofrecen resultados comparables para su aplicación clínica.

Conveniencia

El estudio resulta conveniente debido a que el análisis de Bolton constituye una herramienta fundamental dentro del diagnóstico ortodóncico, ya que permite identificar discrepancias de tamaño dentario entre las arcadas maxilar y mandibular. Estas discrepancias influyen directamente en la planificación del tratamiento, pues pueden determinar la necesidad de realizar procedimientos como desgastes interproximales, extracciones dentarias o ajustes en la mecánica ortodóncica. Por esta razón, la precisión de las mediciones mesiodistales utilizadas en dicho análisis es esencial para garantizar un diagnóstico adecuado. Al comparar las mediciones obtenidas mediante modelos físicos y modelos digitales, este estudio permitió determinar si los modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 presentaron una precisión diagnóstica comparable a la de los modelos físicos de yeso para la realización del análisis de Bolton.

Relevancia social

Los resultados de esta investigación pueden beneficiar directamente a los pacientes atendidos en las clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo, así como a los profesionales y estudiantes que realizan su formación clínica en dichas instalaciones. La precisión diagnostica en ortodoncia influye de manera directa en la calidad del tratamiento y en los resultados obtenidos por los pacientes. Un diagnóstico adecuado permite diseñar planes de tratamiento más eficientes, reducir la duración del tratamiento y mejorar la estabilidad de los resultados. Por lo tanto, validar la confiabilidad de las tecnologías digitales utilizadas en el diagnostico ortodóncico contribuye a mejorar la calidad de la atención brindada a la población que acude a los servicios universitarios.

Valor teórico

Desde la perspectiva teórica, la investigación contribuye a ampliar el conocimiento científico sobre la relación entre los métodos tradicionales de registro diagnóstico y las nuevas tecnologías digitales aplicadas a la ortodoncia. Específicamente, permite analizar el comportamiento de la variable precisión diagnóstica del análisis de Bolton al comparar mediciones obtenidas mediante dos métodos diferentes de registro y medición: modelos físicos de yeso y modelos digitales generados mediante escaneo intraoral. Los resultados obtenidos permiten comprender en mayor medida el nivel de concordancia entre ambos métodos y aportar información relevante para futuras investigaciones relacionadas con la validación de tecnologías digitales en ortodoncia.

Utilidad metodológica

El estudio permitió establecer un procedimiento sistemático para la obtención y análisis de mediciones dentarias utilizando modelos físicos y modelos digitales, integrando herramientas de medición convencional y software especializado como Dolphin 3d study models. Asimismo, la aplicación de pruebas estadísticas para evaluar la concordancia entre ambos métodos contribuyó a fortalecer el análisis metodológico de la comparación entre las mediciones obtenidas en modelos físicos y modelos digitales.

Implicaciones prácticas

La presente investigación demostró que los modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 constituyeron una alternativa confiable para la realización del análisis de Bolton en las condiciones evaluadas en el presente estudio. Estos hallazgos respaldan su utilización en la práctica ortodóncica para el diagnóstico y la planificación del tratamiento.

En la práctica clínica, los modelos digitales ofrecen ventajas importantes, como la reducción del espacio físico destinado al almacenamiento de modelos de estudio, la facilidad para compartir información clínica entre profesionales, la conservación de los registros digitales y la posibilidad de realizar mediciones repetidas sin deterioro del modelo. Asimismo, los resultados obtenidos apoyan la incorporación del escaneo intraoral y del software Dolphin 3D Study Models en los procesos de formación de estudiantes de pregrado y posgrado, contribuyendo al fortalecimiento de las competencias en odontología digital y favoreciendo una transición progresiva hacia flujos de trabajo digitales en ortodoncia

7. Limitantes de la investigación

Las limitaciones del presente estudio se presentan con el propósito de dar a conocer las condiciones que pudieron influir en el desarrollo de la investigación, así como en la interpretación de sus resultados. Su identificación permite comprender el alcance de los hallazgos obtenidos y las circunstancias bajo las cuales se desarrolló el estudio, contribuyendo a una interpretación objetiva y al fortalecimiento del rigor metodológico de la investigación.

De acuerdo con Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), las limitaciones corresponden a aquellas características del diseño, del método o del contexto de la investigación que pueden influir en la interpretación de los resultados o en el alcance de las conclusiones. En este sentido, reconocer estas limitaciones no debilita la investigación; por el contrario, permite delimitar su alcance, interpretar adecuadamente los hallazgos y orientar futuras investigaciones sobre la temática.

En el presente estudio, orientado a comparar la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, las limitaciones se analizaron desde diferentes perspectivas: técnica, metodológica, operativa y logística, considerando tanto las condiciones clínicas de los pacientes como las características de los modelos de estudio y los procedimientos utilizados para la obtención y análisis de los datos.

Desde la perspectiva técnica, una de las principales restricciones estuvo relacionada con las condiciones clínicas de los pacientes y con la integridad de las piezas dentarias evaluadas. El análisis de Bolton requiere la medición mesiodistal exacta de los dientes desde el primer molar hasta el primer molar contralateral en cada arcada, por lo que la ausencia de piezas dentarias permanentes, la presencia de dientes supernumerarios, coronas protésicas o restauraciones extensas puede alterar las dimensiones dentarias originales y afectar la precisión de las mediciones y, en consecuencia, la interpretación del análisis. De igual manera, las fracturas dentarias, abrasiones severas o desgastes coronarios pueden modificar la morfología de los dientes y alterar las mediciones mesiodistales utilizadas para calcular las proporciones dentarias.

En relación con los modelos físicos de yeso, otra limitación técnica estuvo asociada a las posibles variaciones dimensionales introducidas durante el proceso de impresión y vaciado.

Factores como la contracción del material de impresión, la expansión del yeso dental, la presencia de burbujas de aire, deformaciones durante el fraguado o fracturas del modelo pueden afectar la calidad del modelo de estudio y dificultar la identificación de los puntos de contacto utilizados para realizar las mediciones mesiodistales. Por esta razón, se excluyeron modelos de yeso que presentaban defectos estructurales, fracturas, deformaciones o cualquier otra alteración que pudiera comprometer la confiabilidad de las mediciones mesiodistales y generar sesgos en los resultados

Desde la perspectiva técnica digital, el proceso de digitalización de los modelos físicos mediante el escáner intraoral Medit i600 pudo estar sujeto a factores relacionados con la técnica de captura, la orientación del escáner, la accesibilidad a determinadas zonas interproximales y el procesamiento de las imágenes para la reconstrucción tridimensional. Asimismo, la delimitación y ajuste de los puntos de referencia mesial y distal en el modelo digital requirieron la intervención de la examinadora, constituyendo una posible fuente de variabilidad en las mediciones.

Desde el punto de vista metodológico, una limitación importante corresponde al hecho de que todas las mediciones fueron realizadas por una única examinadora. Previo a la obtención de los datos se realizó un proceso de entrenamiento y estandarización del procedimiento de medición, orientado a unificar los criterios para la identificación de los puntos de contacto mesial y distal y la aplicación de la técnica tanto en los modelos físicos como digitales. Sin embargo, no se realizaron mediciones repetidas en diferentes momentos ni participaron examinadores adicionales; por tanto, no fue posible realizar una evaluación cuantitativa de la reproducibilidad intraexaminador e interexaminador. Esta condición debe considerarse al interpretar los resultados obtenidos.

Otra consideración técnica corresponde a las diferencias en la forma de obtención y registro de las mediciones entre ambos métodos. En los modelos físicos, las dimensiones mesiodistales fueron determinadas mediante compás y regla milimétrica y registradas conforme a la escala observable del instrumento; mientras que en el método digital el software permitió obtener valores con cifras decimales. Esta diferencia instrumental pudo contribuir a pequeñas variaciones entre las mediciones obtenidas mediante ambos procedimientos.

En la muestra se incluyeron modelos que presentaban apiñamiento dentario, debido a que esta condición no constituyó un criterio de exclusión del estudio. Sin embargo, el grado de apiñamiento no fue cuantificado ni clasificado como una variable de investigación. Por tanto, no fue posible evaluar estadísticamente su posible influencia sobre las diferencias observadas entre las mediciones obtenidas mediante los métodos físico y digital, particularmente en los casos que presentaron mayores discrepancias individuales y se situaron fuera de los límites de acuerdo de Bland–Altman. En consecuencia, no puede establecerse una relación entre el grado de apiñamiento y dichas discrepancias a partir de los resultados del presente estudio.

Asimismo, el diseño transversal comparativo del estudio implicó que las mediciones se realizaran en un momento determinado, por lo que no permitió evaluar la estabilidad de las mediciones a través del tiempo. No obstante, se emplearon herramientas estadísticas para comparar los resultados obtenidos mediante ambos métodos. La prueba de Wilcoxon permitió evaluar las diferencias entre las mediciones relacionadas, mientras que el coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el análisis de Bland–Altman permitieron evaluar el grado de concordancia y la magnitud de las diferencias entre los métodos.

Además, debido a que la muestra estuvo conformada por modelos correspondientes a pacientes atendidos en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA), seleccionados mediante un muestreo no probabilístico intencional, la generalización de los hallazgos a otras poblaciones o contextos clínicos debe realizarse con cautela.

En cuanto a las limitaciones relacionadas con la recolección de datos y la logística, el estudio dependió de la disponibilidad de modelos de estudio completos y en buenas condiciones dentro de las clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial. Los modelos que presentaban fracturas, deformaciones, burbujas o defectos que impedían realizar mediciones confiables fueron descartados, lo que redujo el tamaño final de la muestra. Asimismo, la selección de pacientes con dentición permanente completa limitó la inclusión de ciertos casos clínicos, particularmente en pacientes en dentición mixta.

Finalmente, otra limitación relevante corresponde a la escasez de estudios nacionales que comparen las mediciones mesiodistales y el análisis de Bolton entre modelos físicos y

modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral. Esta situación limitó la posibilidad de contrastar los resultados obtenidos con investigaciones realizadas en poblaciones locales. No obstante, esta condición resalta la importancia del presente estudio, al aportar evidencia en el contexto nacional sobre la comparación y concordancia entre métodos físicos y digitales aplicados al análisis de Bolton

8. Marco teórico

El presente marco teórico adoptó una estructura bipartita con el propósito de organizar la evidencia científica y los fundamentos conceptuales que sustentan la investigación. La primera parte, correspondiente al marco referencial, recopiló, analizó y sintetizó la evidencia científica más relevante, incluyendo artículos científicos, revisiones sistemáticas y ensayos clínicos relacionados con la precisión diagnóstica del análisis de Bolton en modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante tecnologías de escaneo intraoral. Esta revisión permitió contextualizar el desarrollo científico del tema, identificar los principales hallazgos reportados en la literatura y reconocer las tendencias actuales en la aplicación de herramientas digitales dentro del diagnóstico ortodóncico. Asimismo, facilitó la comprensión de cómo diferentes investigaciones evaluaron la exactitud, confiabilidad y concordancia de las mediciones dentarias realizadas mediante modelos tridimensionales en comparación con los modelos convencionales de yeso, permitiendo establecer el estado actual del conocimiento e identificar las brechas científicas que justificaron el desarrollo del presente estudio.

La segunda parte, correspondiente al marco conceptual, desarrolló y explicó los principales conceptos teóricos que sustentan la investigación, abordando aspectos relacionados con el diagnóstico ortodóncico, el análisis de Bolton, las mediciones mesiodistales dentarias, los modelos de estudio físicos y digitales, así como el uso de escáneres intraorales y del software Dolphin 3D Study Models para el análisis tridimensional en ortodoncia. La comprensión de estos conceptos permitió establecer las bases teóricas necesarias para interpretar la relación entre las variables del estudio, particularmente en lo referente a la precisión diagnóstica de las mediciones obtenidas mediante ambos métodos de registro. De esta manera, el marco conceptual proporcionó los fundamentos científicos que orientaron el desarrollo metodológico de la investigación y facilitaron la interpretación de los resultados obtenidos.

8.1 Marco referencial

El presente marco referencial reúne los fundamentos teóricos, conceptuales y científicos que sustentan la comparación de la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales. En este apartado se abordan los principios relacionados con el análisis de Bolton, las mediciones mesiodistales dentarias y las discrepancias de tamaño dental, así como las características de los métodos convencionales y digitales empleados para su determinación. Asimismo, se describen los fundamentos del escaneo intraoral, particularmente mediante el escáner Medit i600, y del análisis de modelos digitales con el software Dolphin 3D Study Models. Finalmente, se presentan los conceptos estadísticos relacionados con la comparación, concordancia y acuerdo entre métodos de medición, los cuales permiten sustentar la interpretación de los resultados obtenidos en la investigación.

8.1.1. Modelos de estudio en ortodoncia

Los modelos de estudio constituyen una herramienta importante en la práctica clínica y la investigación odontológica, siendo fundamentales en ortodoncia para el diagnóstico, la planificación del tratamiento, la evaluación de los resultados y la presentación de casos. Las mediciones realizadas sobre estos modelos incluyen el tamaño dentario y las dimensiones de las arcadas, necesarias para efectuar diferentes análisis ortodóncicos (Restrepo et al., 2015).

Además, los modelos permiten documentar las condiciones iniciales de la maloclusión, el desarrollo del tratamiento y sus resultados en las tres dimensiones. Tradicionalmente se han utilizado modelos de yeso; sin embargo, el desarrollo de métodos digitales ha permitido disponer de modelos tridimensionales para realizar mediciones y análisis dentro del diagnóstico ortodóncico (Loma-Salcedo & Huasco-Huarcaya, 2023).

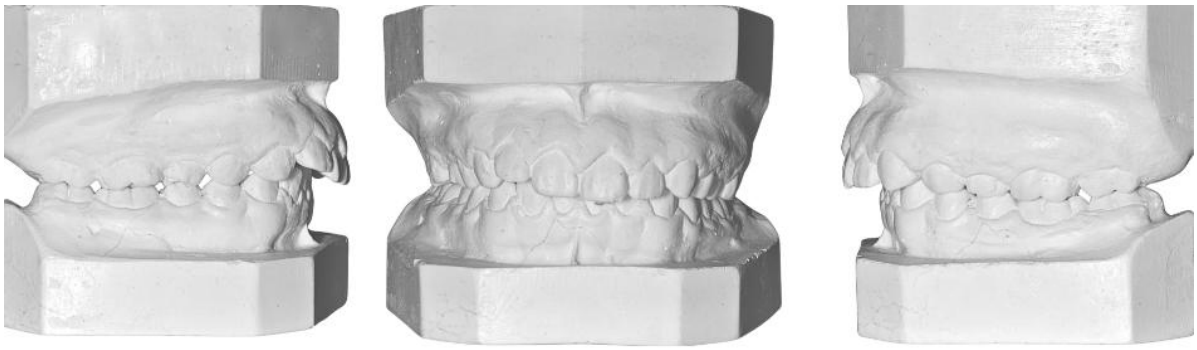
Modelos físicos de yeso

Los modelos físicos de yeso han sido utilizados tradicionalmente en ortodoncia para realizar mediciones del tamaño dentario y de las dimensiones de las arcadas. Estas mediciones pueden efectuarse de forma manual mediante instrumentos como el calibrador digital. Entre las limitaciones descritas para estos modelos se encuentran el tiempo requerido para su medición y análisis, la necesidad de espacio físico para su almacenamiento, el riesgo de fractura y las

dificultades para su transferencia cuando se requiere la valoración por otros profesionales (Restrepo et al., 2015).

En la evaluación de las dimensiones dentarias, los modelos de yeso también han sido utilizados como método de comparación frente a los modelos digitales. Restrepo et al. (2015) compararon ambos métodos y observaron una excelente reproducibilidad intra e interexaminador. Aunque encontraron diferencias estadísticas entre las mediciones realizadas en modelos físicos y digitales, la magnitud de estas diferencias fue considerada clínicamente irrelevante (Restrepo et al., 2015).

Figura 1.
Modelos físicos de yeso de las arcadas dentarias.



Nota. Modelos físicos de yeso de las arcadas dentarias utilizados para diagnóstico odontológico. Fuente propia.

Modelos digitales

Los modelos digitales se han convertido en una alternativa a los modelos físicos de yeso dentro de la práctica ortodóncica. Su uso facilita el almacenamiento de los registros, el acceso a la información y el intercambio de datos entre profesionales. Además, permiten visualizar las arcadas en tres dimensiones y observarlas desde diferentes perspectivas, lo que favorece su utilización durante el análisis de los modelos (Restrepo et al., 2015).

Su incorporación también ha llevado a estudiar si las mediciones obtenidas digitalmente son comparables con las realizadas en modelos convencionales. Los estudios disponibles han encontrado que los modelos digitales pueden proporcionar mediciones clínicamente aceptables, con niveles adecuados de validez y confiabilidad para su aplicación en ortodoncia (Luu et al., 2012; Aragón et al., 2016).

Figura 2.
Modelo digital escaneado de las arcadas dentarias maxilar y mandibular.



Nota. Modelo digital de las arcadas dentarias obtenido mediante escaneo intraoral. Fuente propia.

Escáneres intraorales

Los escáneres intraorales permiten obtener directamente registros digitales de las estructuras dentarias y generar modelos tridimensionales sobre los cuales pueden realizarse diferentes mediciones ortodóncicas. Su incorporación representa una alternativa al procedimiento convencional basado en impresiones y modelos de yeso, al permitir que la información obtenida sea almacenada y analizada en formato digital (Aragón et al., 2016).

La validez y confiabilidad de las mediciones obtenidas mediante estos sistemas han sido comparadas con las realizadas en modelos convencionales. En una revisión sistemática, las diferencias encontradas entre ambos métodos fueron consideradas clínicamente aceptables, y los modelos obtenidos mediante escaneo intraoral mostraron resultados confiables y reproducibles para su utilización en mediciones ortodóncicas (Aragón et al., 2016).

Figura 3.
Escáner intraoral Medit i600



Nota. Dispositivo utilizado para obtener modelos dentales digitales Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G., & Logozzo, S. (2017).

Software Dolphin 3D Study Models

El software Dolphin constituye una herramienta utilizada en ortodoncia para el análisis de modelos dentales digitales. Su aplicación permite trabajar con modelos en formato STL y realizar mediciones destinadas a la evaluación de las dimensiones dentarias y de las discrepancias de tamaño entre las arcadas. En una evaluación reciente, los modelos digitales en formato STL fueron incorporados a Dolphin Imaging para efectuar las mediciones correspondientes al análisis de Bolton (Santana et al., 2025).

Para el análisis de las dimensiones dentarias, la metodología comprende la medición de los dientes desde el primer molar de un lado hasta el primer molar del lado contrario, considerando doce dientes de cada arcada. A partir de estas mediciones puede realizarse el análisis de Bolton anterior, que comprende incisivos y caninos, y el análisis total, que se extiende de primer molar a primer molar (Santana et al., 2025).

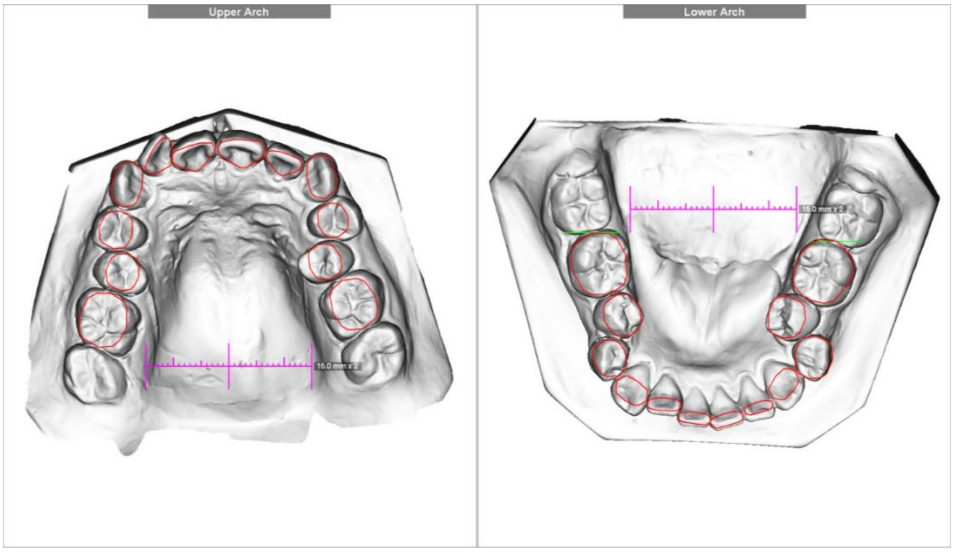
En cuanto al desempeño de las mediciones digitales, Dolphin Imaging mostró resultados confiables para la evaluación de la discrepancia anterior y total de Bolton. Asimismo, las

mediciones correspondientes al análisis anterior mostraron precisión y exactitud, respaldando la utilidad de esta herramienta dentro del diagnóstico ortodóncico (Santana et al., 2025).

En cuanto al desempeño de las mediciones digitales, Dolphin Imaging mostró resultados confiables para la evaluación de la discrepancia anterior y total de Bolton. Asimismo, las mediciones correspondientes al análisis anterior mostraron precisión y exactitud, respaldando la utilidad de esta herramienta dentro del diagnóstico ortodóncico (Santana et al., 2025).

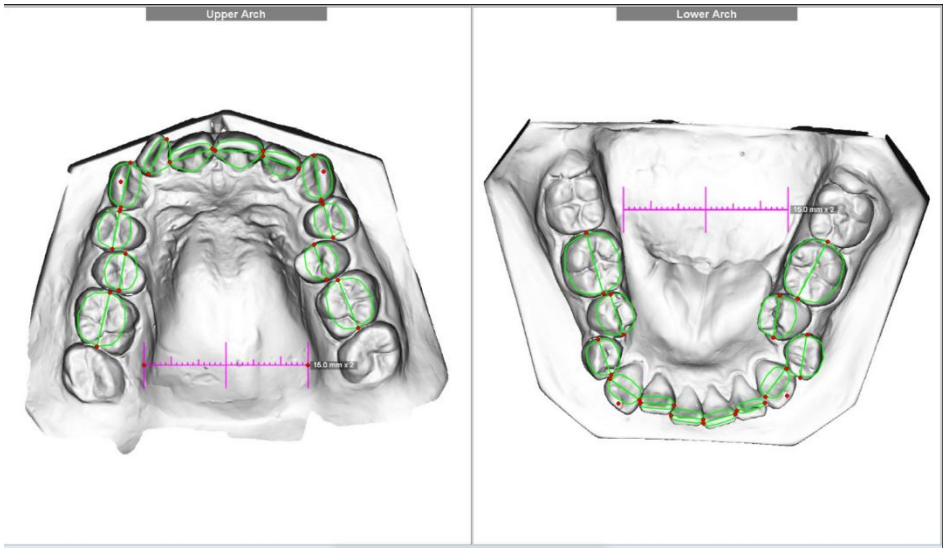
No obstante, los autores señalan que pueden presentarse imprecisiones durante la selección de los puntos de referencia en los modelos digitales. En el caso de Dolphin Imaging, indican que algunas características tridimensionales pueden perderse debido a que el software utiliza una imagen estática de la arcada en vista oclusal para establecer dichos puntos, aspecto que debe considerarse durante la realización e interpretación de las mediciones (Santana et al., 2025).

Figura 4.
Delimitación de las piezas dentarias en modelos digitales mediante el Software Dolphin 3D Study Models



Nota. Se observa la delimitación individual de las piezas dentarias sobre el modelo digital. Fuente propia.

Figura 5.
Medición del diámetro mesiodistal de las piezas dentarias en modelos digitales mediante el Software Dolphin 3D Study Models



***Nota**. Se observa la medición del diámetro mesiodistal de cada pieza dentaria mediante los puntos de referencia establecidos en el modelo digital. Fuente propia.*

8.1.2. Ancho mesiodistal dentario

El ancho mesiodistal corresponde a la máxima distancia entre los puntos de contacto mesial y distal de la corona dentaria. Su determinación permite obtener una medida individual del tamaño de cada diente y constituye una de las mediciones realizadas sobre los modelos de estudio en ortodoncia (Restrepo et al., 2015).

La identificación de los puntos utilizados para establecer esta dimensión puede verse dificultada por algunas características de la posición y anatomía dentaria. Entre ellas se han descrito el apiñamiento, las rotaciones, la inclinación de los dientes, las características de los

contactos interproximales y las variaciones anatómicas, factores que pueden influir en la obtención de la medida mesiodistal (Zilberman et al., 2003).

Figura 6.
Medición del ancho mesiodistal dental en modelo de yeso.



***Nota**. Procedimiento de medición dentaria realizado con un compás y una regla milimétrica. Fuente. Naidu, D., Freer, T. J., & Jones, A. S. (2013). Comparing the measurement accuracy of plaster models and digital models using the OrthoCAD system. Journal of Orthodontics, 40(3), 237–243.*

Medición manual del ancho mesiodistal

La medición manual del ancho mesiodistal se realiza directamente sobre los modelos físicos de yeso. Para ello, se determina el máximo ancho mesiodistal de cada diente mediante un calibrador, manteniendo el instrumento paralelo al plano oclusal durante el procedimiento (Nalcaci et al., 2013).

En la literatura científica se ha utilizado el calibrador digital para registrar estas dimensiones dentarias. Al Jabri et al. realizaron las mediciones manuales desde el primer molar

permanente derecho hasta el primer molar permanente izquierdo, registrando el mayor ancho de cada diente con una precisión de 0.1 mm (Al Jabri et al., 2021).

Asimismo, la medición sobre modelos de yeso ha sido realizada con calibradores digitales de alta precisión, registrando el mayor diámetro mesiodistal de cada diente paralelo al plano oclusal (Lo Giudice et al., 2019).

Medición digital del ancho mesiodistal

La medición digital del ancho mesiodistal se realiza sobre modelos tridimensionales mediante las herramientas disponibles en el software de análisis. Para determinar esta dimensión se identifica el mayor ancho mesiodistal de la corona dentaria, utilizando diferentes vistas del modelo para facilitar la localización de los puntos de medición. En el estudio de Nalcaci et al., las mediciones se realizaron con el software O3DM, utilizando la vista oclusal para los dientes posteriores y la vista facial para los dientes anteriores (Nalcaci et al., 2013).

La visualización digital también permite utilizar herramientas como rotación, ampliación y desplazamiento del modelo durante la selección de los puntos de referencia. Estas funciones facilitan la observación individual de los dientes y la identificación del máximo ancho mesiodistal directamente sobre el modelo virtual (Al Jabri et al., 2021).

La localización de los puntos de contacto adquiere especial importancia cuando existen condiciones que dificultan su visualización. En presencia de apiñamiento, las herramientas digitales de ampliación y rotación pueden facilitar el acceso visual a estos puntos durante la medición del ancho dentario (Adobes Martín et al., 2022).

Software Dolphin 3D Study Models

El software Dolphin constituye una herramienta utilizada en ortodoncia para el análisis de modelos dentales digitales. Su aplicación permite trabajar con modelos en formato STL y realizar mediciones destinadas a la evaluación de las dimensiones dentarias y de las discrepancias de tamaño entre las arcadas. En una evaluación reciente, los modelos digitales en formato STL fueron incorporados a Dolphin Imaging para efectuar las mediciones correspondientes al análisis de Bolton (Santana et al., 2025).

Para el análisis de las dimensiones dentarias, la metodología comprende la medición de los dientes desde el primer molar de un lado hasta el primer molar del lado contrario, considerando doce dientes de cada arcada. A partir de estas mediciones puede realizarse el análisis de Bolton anterior, que comprende incisivos y caninos, y el análisis total, que se extiende de primer molar a primer molar (Santana et al., 2025).

En cuanto al desempeño de las mediciones digitales, Dolphin Imaging mostró resultados confiables para la evaluación de la discrepancia anterior y total de Bolton. Asimismo, las mediciones correspondientes al análisis anterior mostraron precisión y exactitud, respaldando la utilidad de esta herramienta dentro del diagnóstico ortodóncico (Santana et al., 2025).

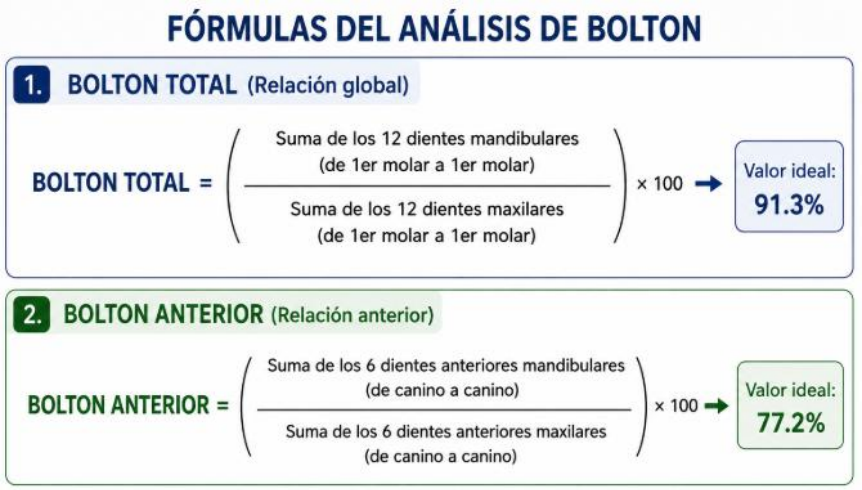
No obstante, los autores señalan que pueden presentarse imprecisiones durante la selección de los puntos de referencia en los modelos digitales. En el caso de Dolphin Imaging, indican que algunas características tridimensionales pueden perderse debido a que el software utiliza una imagen estática de la arcada en vista oclusal para establecer dichos puntos, aspecto que debe considerarse durante la realización e interpretación de las mediciones (Santana et al., 2025).

Análisis de Bolton

El análisis de Bolton se utiliza para valorar la relación entre el tamaño de los dientes de la arcada mandibular y los de la arcada maxilar. Su cálculo se basa en las medidas mesiodistales de los dientes y permite establecer dos proporciones, una anterior y otra total, de acuerdo con el segmento de la dentición que se analiza (Al Jabri et al., 2021; Nalcaci et al., 2013).

La proporción anterior se determina a partir de la suma de los anchos mesiodistales de los seis dientes anteriores mandibulares en relación con la suma correspondiente a los seis dientes anteriores maxilares. Para esta relación se establece como valor de referencia 77.2 %. Por su parte, la proporción total considera doce dientes de cada arcada y presenta como valor de referencia 91.3 % (Al Jabri et al., 2021).

Figura 7.
Fórmulas del análisis de Bolton anterior y Bolton total



Nota. Fórmulas utilizadas para el cálculo del análisis de Bolton anterior y total. Adaptado de Bolton (1962). Fuente propia

Análisis de Bolton anterior

El análisis de Bolton anterior establece la relación entre el tamaño de los seis dientes anteriores mandibulares y los seis dientes anteriores maxilares. Para obtener esta proporción se suman los anchos mesiodistales de los dientes mandibulares de canino a canino y este valor se relaciona con la sumatoria correspondiente de los dientes maxilares (Al Jabri et al., 2021).

El valor de referencia establecido para la proporción anterior es de 77.2 %. Este valor permite valorar la proporcionalidad existente entre los segmentos anteriores de ambas arcadas a partir de sus dimensiones mesiodistales (Al Jabri et al., 2021).

Análisis de Bolton total

El análisis de Bolton total establece la relación entre las dimensiones mesiodistales de doce dientes mandibulares y doce dientes maxilares, comprendidos desde el primer molar permanente de un lado hasta el primer molar permanente contralateral. Para obtener esta proporción se suman los anchos mesiodistales de los doce dientes mandibulares y se relacionan con la sumatoria correspondiente de los doce dientes maxilares (Al Jabri et al., 2021).

Para esta relación se establece como valor de referencia 91.3 %, el cual expresa la proporcionalidad entre las dimensiones dentarias mandibulares y maxilares del segmento considerado en el análisis total (Al Jabri et al., 2021).

8.1.3. Concordancia entre métodos de medición

La comparación de dos métodos destinados a medir una misma variable requiere valorar no solamente la relación existente entre sus resultados, sino también el grado de acuerdo que presentan. Una correlación elevada no necesariamente significa que dos métodos produzcan mediciones concordantes, debido a que la correlación expresa la relación entre las variables, pero no determina por sí misma el acuerdo entre ellas (Bland & Altman, 1986).

La evaluación del acuerdo permite conocer la magnitud de las diferencias que pueden presentarse entre dos procedimientos de medición. Desde el punto de vista clínico, estas diferencias deben valorarse considerando si son suficientemente pequeñas para permitir que ambos métodos puedan utilizarse de manera intercambiable, por lo que su interpretación también depende de la relevancia clínica de las variaciones encontradas (Bland & Altman, 1986).

La confiabilidad constituye otro aspecto importante al evaluar procedimientos de medición, ya que se relaciona con la capacidad de reproducir las mediciones. Para su valoración puede emplearse el coeficiente de correlación intraclase, el cual considera tanto la correlación como el acuerdo entre las mediciones y permite valorar diferentes formas de confiabilidad según las características del diseño de investigación (Koo & Li, 2016).

Evaluación de la distribución de los datos

Antes de seleccionar una prueba estadística para comparar mediciones, es necesario conocer el comportamiento de los datos y determinar si estos son compatibles con una distribución normal. La prueba de Shapiro-Wilk fue desarrollada como un procedimiento estadístico para evaluar la hipótesis de normalidad de una muestra, permitiendo valorar el supuesto de distribución que puede condicionar la elección de los métodos estadísticos posteriores (Shapiro & Wilk, 1965).

La evaluación de la normalidad resulta relevante debido a que diversos procedimientos estadísticos se sustentan en determinados supuestos sobre la distribución de los datos. Cuando

estos supuestos no se cumplen, puede ser necesario considerar métodos alternativos que no dependan de la normalidad para realizar el análisis de las mediciones (Shapiro & Wilk, 1965).

En investigaciones que comparan mediciones obtenidas mediante modelos físicos y digitales también se ha incorporado previamente la evaluación de la distribución de los datos antes de efectuar las comparaciones estadísticas entre los métodos, utilizando para ello la prueba de Shapiro-Wilk (Lo Giudice et al., 2019).

Comparacion de mediciones relacionadas

Cuando las mediciones que se desean comparar proceden de los mismos sujetos o unidades de análisis, los datos se encuentran relacionados entre sí. Para este tipo de comparación pueden utilizarse métodos basados en rangos, en los cuales se consideran las diferencias obtenidas entre cada par de mediciones y se ordenan de acuerdo con su magnitud, conservando además el sentido positivo o negativo de dichas diferencias (Wilcoxon, 1945).

La prueba de rangos con signo de Wilcoxon permite analizar datos pareados a partir de las diferencias existentes entre las observaciones relacionadas. Este procedimiento toma en consideración tanto la magnitud como el signo de las diferencias, permitiendo valorar estadísticamente la comparación entre dos conjuntos de mediciones vinculadas (Wilcoxon, 1945).

En el campo de la ortodoncia, este procedimiento también ha sido empleado para comparar mediciones realizadas sobre modelos físicos de yeso y modelos digitales, permitiendo determinar la presencia de diferencias estadísticas entre los valores obtenidos mediante ambos métodos de medición (Nalcaci et al., 2013).

Coeficiente de correlación intraclase (ICC)

El coeficiente de correlación intraclase (ICC) es una medida utilizada para evaluar la confiabilidad de las mediciones y permite considerar tanto el grado de correlación como el acuerdo existente entre ellas. Su valor se encuentra entre 0 y 1, de manera que los valores más cercanos a 1 representan una mayor confiabilidad de las mediciones (Koo & Li, 2016).

La selección del ICC debe realizarse de acuerdo con las características del diseño de investigación, debido a que existen diferentes modelos, tipos y definiciones del coeficiente. Entre estas últimas se encuentran la consistencia y el acuerdo absoluto, cuya elección depende del

propósito de la evaluación y del tipo de relación que se pretende establecer entre las mediciones (Koo & Li, 2016).

Para interpretar la confiabilidad mediante el ICC, los valores inferiores a 0.50 se consideran indicativos de confiabilidad pobre; entre 0.50 y 0.75, moderada; entre 0.75 y 0.90, buena; y superiores a 0.90, excelente. Esta interpretación debe realizarse tomando en consideración el intervalo de confianza del 95 % correspondiente a la estimación obtenida (Koo & Li, 2016).

En estudios ortodóncicos que comparan mediciones realizadas mediante modelos físicos y digitales, el ICC también ha sido utilizado para valorar la confiabilidad y repetibilidad de las mediciones obtenidas mediante los diferentes procedimientos (Al Jabri et al., 2021; Lo Giudice et al., 2019).

Análisis de Bland-Altman

El análisis de Bland-Altman permite evaluar el grado de acuerdo entre dos métodos destinados a medir una misma variable. Para ello, se analizan las diferencias obtenidas entre ambos métodos en relación con el promedio de sus mediciones, lo que permite observar el comportamiento de esas diferencias a lo largo del rango de valores evaluados (Bland & Altman, 1986).

La diferencia media entre los métodos representa una estimación del sesgo, mientras que la dispersión de las diferencias permite establecer los límites de acuerdo. Cuando las diferencias presentan una distribución aproximadamente normal, se espera que alrededor del 95 % se encuentre comprendido entre la diferencia media ± 1.96 desviaciones estándar (Bland & Altman, 1986).

La interpretación de estos límites no debe realizarse únicamente desde el punto de vista estadístico. Su importancia depende de si la magnitud de las diferencias observadas puede considerarse aceptable desde el punto de vista clínico, ya que el propósito de comparar dos métodos es determinar si presentan un grado de acuerdo suficiente para que puedan utilizarse de manera intercambiable en el contexto evaluado (Bland & Altman, 1986).

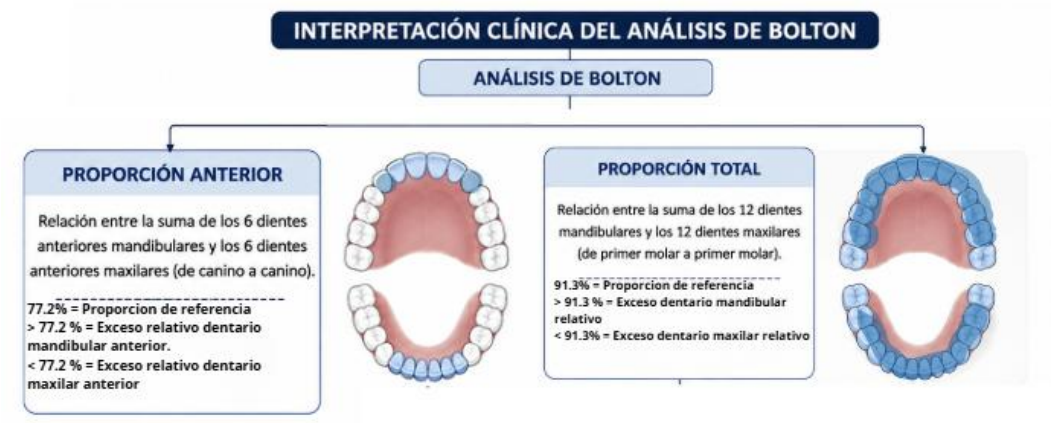
8.1.4. Interpretación clínica del análisis de Bolton

La proporción adecuada entre el tamaño mesiodistal de los dientes maxilares y mandibulares constituye un aspecto importante para alcanzar resultados funcionales y estéticos al finalizar el tratamiento ortodóncico. En este sentido, las proporciones anterior y total propuestas por Bolton se han utilizado como criterios diagnósticos para valorar la armonía entre ambas arcadas e identificar posibles discrepancias de tamaño dentario (Endo et al., 2008).

La identificación de estas discrepancias desde la etapa diagnóstica adquiere importancia clínica, ya que una adecuada relación entre las dimensiones dentarias maxilares y mandibulares contribuye al establecimiento de una correcta interdigitación, overbite y overjet. Por esta razón, la valoración de las discrepancias de tamaño dentario constituye un elemento que debe considerarse dentro del diagnóstico ortodóncico (Othman & Harradine, 2006).

Además del porcentaje obtenido mediante las proporciones anterior y total, la discrepancia puede expresarse en milímetros. Para ello, puede determinarse la dimensión dentaria que debería presentar una arcada de acuerdo con la proporción de referencia y compararla con la dimensión realmente obtenida, permitiendo cuantificar la magnitud de la discrepancia y establecer si corresponde a la arcada maxilar o mandibular (Bolton, 1962).

Figura 8.
Interpretación de las proporciones anterior y total del análisis de Bolton



Nota. Esquema de la interpretación de las proporciones anterior y total del análisis de Bolton. Fuente propia a partir de Bolton (1962)

Significancia clínica de la discrepancia Bolton

La interpretación de las discrepancias de tamaño dentario requiere considerar no solo la desviación de las proporciones de Bolton, sino también la magnitud de la discrepancia que puede tener importancia desde el punto de vista clínico. En este sentido, se ha planteado la necesidad de establecer criterios que permitan diferenciar las variaciones en las proporciones dentarias de aquellas discrepancias que pueden considerarse clínicamente significativas (Othman & Harradine, 2006).

Para valorar la significancia clínica se han utilizado tanto las desviaciones respecto a las medias de Bolton como la cantidad real de discrepancia expresada en milímetros. La expresión de la discrepancia en milímetros proporciona información sobre la cantidad de corrección maxilar o mandibular necesaria para alcanzar la media de Bolton, por lo que constituye un elemento de utilidad para su valoración clínica (Endo et al., 2009).

En relación con la magnitud de la discrepancia, se ha considerado que 2 mm de corrección dentaria requerida constituye un umbral apropiado para definir una discrepancia de tamaño dentario clínicamente significativa (Othman & Harradine, 2006). Este criterio fue posteriormente evaluado junto con la definición basada en las desviaciones estándar de Bolton, proponiéndose como referencias de significancia clínica las proporciones situadas fuera de dos desviaciones estándar de la media de Bolton y las discrepancias que requieren más de 2 mm de corrección maxilar y/o mandibular (Endo et al., 2009).

Figura 9.
Significancia clínica de la discrepancia de tamaño dentario



Nota. Esquema de los criterios utilizados para valorar la significancia clínica de las discrepancias de tamaño dentario mediante la proporción de Bolton y la cantidad de corrección requerida expresada en milímetros. Elaboración propia a partir de Othman y Harradine (2006) y Endo et al. (2009).

Relevancia clínica de las diferencias entre métodos de medición

Al comparar las mediciones obtenidas mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales, las diferencias encontradas deben valorarse no solo desde el punto de vista estadístico, sino también considerando su magnitud clínica. En estudios de comparación entre ambos métodos se han identificado diferencias estadísticamente significativas en algunas mediciones dentarias; sin embargo, cuando estas diferencias han sido pequeñas, se han considerado dentro de un rango sin importancia clínica (Nalcaci et al., 2013).

En relación con el análisis de Bolton, se ha observado que las proporciones obtenidas a partir de modelos digitales pueden presentar resultados comparables con los modelos de yeso. Nalcaci et al. encontraron que, aunque existieron diferencias entre ambos métodos en algunas mediciones de los anchos dentarios, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las proporciones anterior y total de Bolton calculadas mediante modelos digitales y físicos,

respaldando la validez y confiabilidad de los modelos digitales para este análisis (Nalcaci et al., 2013).

De manera similar, la literatura que compara modelos tridimensionales con modelos convencionales señala que pueden encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre los métodos sin que estas necesariamente representen una diferencia de importancia clínica. En este sentido, los modelos digitales obtenidos mediante escáneres intraorales y extraorales han mostrado resultados considerados confiables y precisos en comparación con los métodos convencionales, aun cuando se han registrado pequeñas diferencias entre las mediciones (Loma Salcedo & Huasco-Huarcaya, 2023).

Así, la interpretación de las diferencias entre los métodos de medición debe considerar conjuntamente el resultado estadístico y la magnitud de la diferencia observada, particularmente cuando estas mediciones son utilizadas para obtener las proporciones del análisis de Bolton y apoyar el diagnóstico ortodóncico (Nalcaci et al., 2013).

8.2 Marco conceptual

El presente marco conceptual reúne los principales conceptos que sustentan esta investigación, orientada a la comparación de la precisión diagnóstica del análisis de Bolton realizado en modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral. La comprensión de estos fundamentos permite contextualizar las mediciones dentarias empleadas en ortodoncia, así como la identificación e interpretación de las discrepancias de tamaño dentario como parte del diagnóstico y la planificación del tratamiento.

La incorporación de tecnologías digitales en ortodoncia ha introducido nuevas alternativas para la obtención, visualización y análisis de los registros dentales, lo que hace necesario comprender tanto los métodos convencionales como los recursos digitales empleados para realizar estas mediciones. En este contexto, se abordan conceptos relacionados con los modelos de estudio, el ancho mesiodistal dentario, el análisis de Bolton, los escáneres intraorales y los sistemas digitales utilizados para la medición de los modelos.

Asimismo, se incluyen conceptos vinculados con la exactitud, precisión, confiabilidad, reproducibilidad y concordancia de las mediciones, necesarios para comprender la comparación entre los métodos evaluados. Estos fundamentos permiten contextualizar el uso de los modelos

digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 y su análisis mediante el software Dolphin 3D Study Models, en comparación con las mediciones realizadas en modelos físicos de yeso.

8.2.1. Modelos de estudios en ortodoncia

Los registros de las arcadas dentarias pueden obtenerse mediante modelos físicos o modelos virtuales. Los modelos físicos se elaboran a partir de impresiones dentales, mientras que los modelos virtuales constituyen representaciones digitales que permiten visualizar y realizar mediciones sobre las estructuras dentarias. En ambos casos, es importante que el registro permita observar adecuadamente la posición e inclinación de los dientes para conservar la información necesaria para el diagnóstico (Proffit et al., 2013).

Los modelos virtuales permiten efectuar mediciones sobre representaciones tridimensionales de las arcadas y valorar dimensiones dentales y relaciones oclusales. En este tipo de modelos pueden analizarse también parámetros como el resalte y la sobremordida mediante herramientas digitales (Proffit et al., 2013).

8.2.2. Modelos físicos y modelos virtuales

Los registros de las arcadas dentarias pueden obtenerse mediante modelos físicos o modelos virtuales. Los modelos físicos se elaboran a partir de impresiones dentales, mientras que los modelos virtuales constituyen representaciones digitales que permiten visualizar y realizar mediciones sobre las estructuras dentarias. En ambos casos, es importante que el registro permita observar adecuadamente la posición e inclinación de los dientes para conservar la información necesaria para el diagnóstico (Proffit et al., 2013).

Los modelos virtuales permiten efectuar mediciones sobre representaciones tridimensionales de las arcadas y valorar dimensiones dentales y relaciones oclusales. En este tipo de modelos pueden analizarse también parámetros como el resalte y la sobremordida mediante herramientas digitales (Proffit et al., 2013).

8.2.3. Ancho mesiodistal dentario

El ancho mesiodistal corresponde a la dimensión dentaria utilizada para valorar el tamaño de cada diente dentro de la arcada. Su medición constituye la base del análisis del tamaño dentario, ya que permite comparar las dimensiones de los dientes maxilares y mandibulares y determinar si existe proporcionalidad entre ambas arcadas (Proffit et al., 2013).

En el análisis de Bolton, la anchura mesiodistal de cada diente permanente debe medirse individualmente para posteriormente comparar la suma de las dimensiones dentarias maxilares y mandibulares (Proffit et al., 2013).

8.2.4. Discrepancia de tamaño dentario

La discrepancia de tamaño dentario corresponde a una desproporción entre las dimensiones de los dientes superiores e inferiores. Cuando el tamaño relativo de ambas denticiones no es proporcional, puede dificultarse la obtención de una relación oclusal adecuada entre las arcadas (Proffit et al., 2013).

8.2.5. Análisis de Bolton

El análisis de Bolton es un procedimiento utilizado para evaluar el tamaño relativo de los dientes maxilares y mandibulares. Se realiza mediante la medición del ancho mesiodistal de los dientes permanentes y la comparación de las sumatorias obtenidas en ambas arcadas, permitiendo identificar discrepancias en la proporción dentaria (Proffit et al., 2013).

Además, en modelos digitales este análisis puede efectuarse mediante la medición individual de los anchos dentarios y la comparación de las sumatorias correspondientes a ambas arcadas (Proffit et al., 2013).

8.2.6. Proporción anterior de Bolton

La proporción anterior de Bolton corresponde a la relación porcentual entre la suma de los anchos mesiodistales de los seis dientes anteriores mandibulares y la suma de los anchos mesiodistales de los seis dientes anteriores maxilares. Esta relación comprende los incisivos y caninos de ambas arcadas y permite valorar la proporcionalidad del tamaño dentario en el segmento anterior (Bolton, 1962).

Bolton estableció para la proporción anterior un valor medio de 77.2 %, utilizado como referencia para valorar la relación entre las dimensiones dentarias mandibulares y maxilares del segmento anterior (Bolton, 1962).

8.2.7. Proporción total de Bolton

La proporción total de Bolton corresponde a la relación porcentual entre la suma de los anchos mesiodistales de los doce dientes mandibulares y la suma de los anchos mesiodistales de los doce dientes maxilares, comprendidos desde el primer molar de un lado hasta el primer molar del lado opuesto. Esta proporción permite valorar la relación del tamaño dentario entre ambas arcadas en el segmento considerado (Bolton, 1962).

Para esta relación, se estableció un valor medio de 91.3 %, utilizado como referencia para valorar la proporcionalidad entre las dimensiones dentarias mandibulares y maxilares (Bolton, 1962).

8.2.8. Modelos digitales tridimensionales

Los modelos digitales tridimensionales constituyen representaciones virtuales de las arcadas dentarias que permiten visualizar y analizar las estructuras dentales en un entorno digital. Estos registros pueden obtenerse mediante sistemas de escaneo y permiten observar los dientes en tres dimensiones, así como realizar mediciones y evaluar relaciones oclusales (Proffit et al., 2013).

Los modelos tridimensionales permiten visualizar las estructuras dentales en una pantalla y manipularlas digitalmente desde diferentes perspectivas, facilitando su utilización como registros digitales para el diagnóstico y la planificación del tratamiento ortodóncico (Jedliński et al., 2021).

8.2.9. Escáner intraoral

El escáner intraoral es un dispositivo utilizado para obtener impresiones ópticas de las arcadas dentarias y de los tejidos intraorales. Su funcionamiento se basa en la captura de imágenes mediante la proyección de una fuente de luz sobre las estructuras que se desean registrar; posteriormente, estas imágenes son procesadas mediante un software para generar una representación tridimensional de las estructuras escaneadas (Alassiry, 2023).

En ortodoncia, los escáneres intraorales permiten obtener modelos digitales de las arcadas que pueden ser utilizados para el diagnóstico, la planificación del tratamiento y diferentes aplicaciones clínicas digitales (Jedliński et al., 2021).

8.2.10. Escáner intraoral Medit i600

El Medit i600 es un escáner intraoral digital desarrollado para la adquisición de registros tridimensionales de las estructuras intraorales. Mediante tecnología de captura de video 3D, permite generar registros digitales empleados dentro del flujo de trabajo odontológico digital (Medit Corp., s. f.).

8.2.11. Software Dolphin 3D Study Models

Dolphin 3D Study Models es un módulo de software destinado al manejo y análisis de modelos de estudio digitales. El sistema permite trabajar con datos procedentes de escáneres intraorales y escáneres de modelos que exportan archivos en formatos STL y OBJ. Una vez importados los modelos, es posible establecer su orientación y oclusión, visualizarlos en diferentes vistas y efectuar mediciones tridimensionales (Dolphin Imaging & Management Solutions, 2015).

El módulo también permite almacenar los modelos digitales dentro del registro del paciente y realizar análisis sobre los datos importados. Entre sus funciones se encuentran la realización de mediciones tridimensionales y análisis tradicionales de discrepancia de longitud de arcada (Dolphin Imaging & Management Solutions, 2015).

8.2.12. Confiabilidad

La confiabilidad se refiere al grado en que las mediciones pueden ser replicadas, reflejando la consistencia de los resultados obtenidos cuando se repite un procedimiento de medición (Koo & Li, 2016).

8.2.13. Reproducibilidad

La reproducibilidad se refiere al grado de concordancia entre los resultados de mediciones realizadas sobre una misma magnitud cuando se modifican determinadas condiciones de medición, como el lugar, el operador o el sistema de medición empleado (Joint Committee for Guides in Metrology [JCGM], 2012).

8.2.14. Exactitud

La exactitud se refiere al grado de proximidad entre un valor medido y el valor verdadero de la magnitud que se pretende medir. Este concepto expresa qué tan cercano se encuentra el resultado de una medición respecto al valor considerado verdadero (Joint Committee for Guides in Metrology [JCGM], 2012).

8.2.15. Precisión

La precisión se refiere al grado de concordancia entre los valores obtenidos mediante mediciones repetidas de un mismo objeto o de objetos similares, realizadas bajo condiciones especificadas. Generalmente, se expresa mediante medidas de dispersión, como la desviación estándar, la varianza o el coeficiente de variación (Joint Committee for Guides in Metrology [JCGM], 2012).

La precisión está relacionada con la dispersión existente entre mediciones repetidas, de manera que una menor dispersión entre los valores obtenidos representa una mayor precisión de las mediciones (JCGM, 2012).

8.2.16. Concordancia

La concordancia se refiere al grado de acuerdo existente entre las mediciones obtenidas mediante dos métodos que evalúan una misma variable. Su valoración considera las diferencias existentes entre las mediciones proporcionadas por ambos métodos y permite establecer el grado en que sus resultados coinciden (Bland & Altman, 1986).

La concordancia debe distinguirse de la correlación, debido a que una correlación elevada entre dos métodos no necesariamente significa que exista un acuerdo adecuado entre las mediciones obtenidas por ambos (Bland & Altman, 1986).

8.2.17 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva comprende los métodos utilizados para organizar, resumir y presentar las características de un conjunto de datos mediante medidas numéricas y representaciones que facilitan su interpretación. Incluye medidas de tendencia central, como la media y la mediana; medidas de dispersión, como la desviación estándar; así como distribuciones de frecuencias y porcentajes (Mishra et al., 2019).

8.2.18. Prueba de Shapiro-Wilk

La prueba de Shapiro-Wilk es una prueba estadística utilizada para evaluar la normalidad de una distribución de datos mediante el contraste de la hipótesis de que una muestra procede de una población con distribución normal (Shapiro & Wilk, 1965).

8.2.19. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

La prueba de rangos con signo de Wilcoxon es un procedimiento estadístico no paramétrico empleado para comparar dos conjuntos de observaciones relacionadas. El procedimiento considera los rangos de las diferencias entre las observaciones y sus respectivos signos para evaluar las diferencias entre las mediciones relacionadas (Wilcoxon, 1945).

8.2.20. Coeficiente de correlación intraclase (ICC)

El coeficiente de correlación intraclase (ICC) es un índice estadístico utilizado para evaluar la confiabilidad de las mediciones realizadas sobre los mismos sujetos o unidades de análisis. Su interpretación considera tanto el grado de correlación como el acuerdo entre las mediciones, y la selección del tipo de ICC depende del diseño del estudio y del tipo de confiabilidad que se pretende evaluar (Koo & Li, 2016).

8.2.21. Método de Bland-Altman

El método de Bland-Altman es un procedimiento estadístico utilizado para evaluar el acuerdo entre dos métodos de medición mediante el análisis de las diferencias obtenidas entre pares de mediciones realizadas sobre los mismos sujetos. El procedimiento considera la diferencia media entre ambos métodos y los límites de acuerdo, los cuales permiten describir el intervalo dentro del cual se espera que se encuentren la mayoría de las diferencias entre las mediciones (Bland & Altman, 1986).

9. Marco metodológico

El presente marco metodológico describe los métodos, procedimientos y técnicas empleados para desarrollar la investigación y dar respuesta a la pregunta planteada. En esta sección se detallan los elementos que orientaron el proceso investigativo, desde la selección de las unidades de análisis y la obtención de los datos hasta su procesamiento y análisis estadístico, con el propósito de establecer una secuencia organizada que permita comprender y reproducir el estudio bajo condiciones similares.

La investigación se orientó a comparar la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales. Para ello, se utilizaron 100 modelos físicos de estudio previamente obtenidos de pacientes atendidos en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo durante el período 2025–2026. En estos modelos se midieron los anchos mesiodistales de las piezas dentarias comprendidas desde el primer molar permanente de un lado hasta el primer molar permanente contralateral de cada arcada, mediante compás y regla milimétrica.

Posteriormente, los mismos modelos físicos fueron escaneados mediante el escáner intraoral Medit i600 para generar sus correspondientes modelos digitales tridimensionales, los cuales fueron analizados mediante el software Dolphin 3D Study Models. En ambos métodos se identificaron los puntos anatómicos de referencia y se realizaron sistemáticamente las mediciones dentarias por un único examinador. A partir de los valores obtenidos se calcularon las proporciones anterior y total del análisis de Bolton.

Finalmente, los datos obtenidos mediante ambos métodos fueron organizados, procesados y sometidos a análisis estadístico para determinar las diferencias entre las mediciones y evaluar su confiabilidad y concordancia. De esta manera, el procedimiento metodológico permitió comparar los resultados del análisis de Bolton obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales tridimensionales.

9.1 Tipo de investigación

La investigación se clasificó de acuerdo con cinco criterios metodológicos: enfoque o paradigma, alcance o nivel de profundidad, aplicabilidad de los resultados, orientación temporal

y diseño. Estos criterios permitieron caracterizar el estudio de acuerdo con la naturaleza de los datos, el propósito de la investigación y los procedimientos empleados para su desarrollo.

Según el enfoque

La investigación correspondió a un estudio con enfoque cuantitativo, ya que se basó en la obtención y análisis de datos numéricos derivados de las mediciones de los anchos mesiodistales dentarios. Estas mediciones se registraron en milímetros tanto en los modelos físicos de yeso como en los modelos digitales tridimensionales generados mediante el escaneo de los mismos modelos físicos con el escáner Medit i600 y analizados mediante el software Dolphin 3D Study Models.

Este enfoque permitió comparar objetivamente los resultados obtenidos mediante ambos métodos de medición y aplicar procedimientos estadísticos para determinar las diferencias, confiabilidad y concordancia entre las mediciones físicas y digitales.

Según nivel de profundidad

El estudio se consideró descriptivo, debido a que se orientó a caracterizar los resultados obtenidos mediante las mediciones realizadas en los modelos físicos de yeso y en los modelos digitales tridimensionales. Para ello, se describieron los anchos mesiodistales dentarios y las proporciones anterior y total del análisis de Bolton obtenidas mediante ambos métodos, así como el comportamiento de las diferencias observadas entre sus mediciones.

Según la aplicabilidad de sus resultados

La investigación se clasificó como básica pura, debido a que su propósito principal fue generar conocimiento científico sobre la precisión diagnóstica del análisis de Bolton al comparar dos métodos de medición: modelos físicos de yeso y modelos digitales tridimensionales. El estudio estuvo orientado a analizar el comportamiento de ambos métodos y aportar evidencia sobre las diferencias, confiabilidad y concordancia de las mediciones obtenidas, sin implementar una intervención clínica directa ni modificar protocolos asistenciales.

Según su orientación en el tiempo

La investigación se consideró de corte transversal, con componentes retrospectivo y prospectivo. Fue transversal debido a que las mediciones se realizaron sobre cada modelo dental

en un momento determinado, sin efectuar seguimiento longitudinal de los pacientes ni evaluar cambios a través del tiempo.

El componente retrospectivo estuvo dado por la utilización de modelos físicos de estudio previamente obtenidos de pacientes atendidos en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial durante el período 2025–2026. Por su parte, el componente prospectivo correspondió a la obtención planificada de los datos de la investigación, ya que los modelos físicos fueron posteriormente medidos y escaneados mediante el Medit i600 para generar los modelos digitales tridimensionales, sobre los cuales se realizaron las mediciones digitales correspondientes.

Según el tipo de diseño

La investigación correspondió a un diseño observacional comparativo, debido a que no se realizó manipulación experimental de las variables y se compararon las mediciones obtenidas mediante dos métodos aplicados sobre las mismas unidades de análisis. Cada modelo físico de yeso fue medido mediante el método convencional y posteriormente escaneado para generar su correspondiente modelo digital tridimensional, permitiendo realizar la comparación entre ambos métodos de medición.

Asimismo, se consideró una investigación de campo, debido a que la recolección de los datos se realizó directamente sobre los modelos de estudio seleccionados para la investigación, mediante la ejecución de los procedimientos de medición establecidos. Los datos fueron obtenidos de las mediciones realizadas por el investigador tanto en los modelos físicos de yeso como en los modelos digitales generados a partir de estos, y no de resultados de mediciones previamente registradas.

9.2 Hipótesis de investigación

Existe concordancia diagnóstica entre las mediciones mesiodistales del análisis de Bolton obtenidas en modelos físicos de yeso y en modelos digitales generados mediante escáner intraoral Medit i600 de pacientes atendidos en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo en 2025-2026.

hipótesis nula (H_0)

No existe concordancia diagnostica entre las mediciones mesiodistales del análisis de Bolton obtenidas en modelos físicos de yeso y en modelos digitales generados mediante escáner intraoral Medit i600.

hipótesis alternativa (H_1)

Existe concordancia diagnostica entre las mediciones mesiodistales del análisis de Bolton obtenidas en modelos físicos de yeso y en modelos digitales generados mediante escáner intraoral Medit i600.

9.3 Definición operativa de las variables

En este apartado se describieron las variables consideradas en la investigación y la forma en que fueron medidas y registradas durante el desarrollo del estudio. La definición operativa permitió establecer de manera clara cómo cada variable fue observada, medida y analizada dentro del proceso investigativo, garantizando la coherencia entre los objetivos específicos, los instrumentos de medición y los procedimientos de recolección de datos. En este sentido, se presentó la operacionalización de las variables en función de los objetivos planteados, especificando sus dimensiones, indicadores, instrumentos de medición y tipo de variable, con el propósito de facilitar la obtención de datos cuantificables que permitieron comparar la precisión diagnóstica del análisis de Bolton entre modelos físicos de yeso y modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600.

Objetivo específico 1

Obtener las mediciones del ancho mesiodistal de primer molar a primer molar en ambas arcadas mediante modelos físicos de yeso, utilizando regla milimétrica y compás, y de modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, empleando el software Dolphin 3D Study Models para la medición digital.

Tabla 1.

Matriz de operacionalización del objetivo específico 1

Variable conceptual	Subvariable / dimensión	Variable operativa / indicador	Instrumento	Tipo de variable
Ancho mesiodistal dentario en modelos físicos	Ancho mesiodistal Arcada superior 16-26	Medición total en mm	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Ancho mesiodistal arcada inferior 36-46	Medición total en mm	Pág. 126- Anexo 3	Cuantitativa continua
	Ancho mesiodistal arcada superior anterior 13-23	Medición anterior mm	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Ancho mesiodistal arcada inferior anterior 33-43	Medición anterior mm	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
Ancho mesiodistal dentario en modelos digitales	Ancho mesiodistal Arcada superior 16-26	Medición total en mm	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Ancho mesiodistal arcada inferior 36-46	Medición total en mm	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Ancho mesiodistal	Medición anterior mm	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua

Variable conceptual	Subvariable / dimensión	Variable operativa / indicador	Instrumento	Tipo de variable
Ancho mesiodistal dentario en modelos digitales	arcada superior anterior 13-23			
Ancho mesiodistal dentario en modelos digitales	Ancho mesiodistal arcada inferior anterior 33-43	Medición anterior mm	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua

Nota. *Fuente propia.*

Objetivo específico 2

Calcular el análisis de Bolton anterior y total a partir de las mediciones mesiodistales obtenidas en los modelos físicos de yeso y modelos digitales.

Tabla 2.

Matriz de operacionalización del objetivo específico 2

Variable conceptual	Subvariable / dimensión	Variable operativa / indicador	Instrumento	Tipo de variable
Análisis de Bolton en modelos físicos de yeso	Bolton Anterior	Proporción anterior (%)	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Bolton total	Proporción total (%)	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
Análisis de Bolton en modelos digitales	Bolton Anterior	Proporción anterior (%)	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Bolton Total	Proporción total (%)	Pág. 126- Anexo 3	Cuantitativa continua

Nota. *Fuente propia.*

Objetivo específico 3

Analizar la concordancia diagnóstica entre las mediciones y los valores del análisis de Bolton obtenidos en modelos físicos de yeso y modelos digitales mediante pruebas estadísticas de comparación, concordancia y acuerdo.

Tabla 3.
Matriz de operacionalización del objetivo específico 3

Variable conceptual	Subvariable / dimensión	Variable operativa / indicador (con fórmulas integradas)	Instrumentos	Tipo de variable
Concordancia diagnóstica entre métodos (físico vs digital)	Diferencia entre mediciones	Diferencia entre valores físicos y digitales en mm	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Correspondencia entre métodos	Coincidencia entre valores del análisis de Bolton obtenidos por ambos métodos	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	variación entre pares de mediciones	variación entre los valores físicos-digital por caso	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Consistencia entre métodos	Estabilidad de los valores comparados entre ambos métodos	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua

Nota. Fuente propia

Objetivo específico 4

Interpretar los resultados del análisis de Bolton obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales desde el punto de vista clínico.

Tabla 4.
Matriz de operacionalización del objetivo específico 4

Variable conceptual	Subvariable / dimensión	Variable operativa / indicador (con fórmulas integradas)	Instrumentos	Tipo de variable
Resultados clínicos del análisis de Bolton	Bolton anterior	Valor comparativo (%)	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua
	Bolton total	Valor comparativo (%)	Pág. 126-Anexo 3	Cuantitativa continua

Nota. Fuente propia

9.4 Criterios de inclusión y exclusión

9.4.1. Criterios de inclusión

Se incluyeron en el estudio los modelos dentales que cumplieron con las siguientes características:

Presencia completa de piezas dentarias permanentes desde primer molar a primer molar en ambas arcadas (16–26 y 36–46), condición indispensable para la correcta realización del análisis de Bolton total y anterior.

Modelos físicos en yeso en buen estado de conservación, sin fracturas, deformaciones ni irregularidades que dificultaran la identificación de los puntos de contacto mesiodistales de las piezas dentarias.

Modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, correspondientes al mismo paciente del que se obtuvo el modelo físico de yeso.

Arcadas en dentición permanente, evitando casos en dentición mixta donde la presencia de dientes temporales puede alterar las proporciones mesiodistales necesarias para el análisis de Bolton.

Ausencia de restauraciones proximales extensas, coronas, carillas u otros tratamientos restauradores que modifiquen el diámetro mesiodistal real de las piezas dentarias.

Ausencia de abrasiones severas o desgastes proximales que dificulten la delimitación del punto de contacto anatómico necesario para las mediciones.

Modelos físicos y digitales que presentaron adecuada nitidez, exactitud y delimitación anatómica, permitiendo la identificación precisa de las superficies proximales requeridas para la medición mesiodistal.

Modelos generados durante el período 2025-2026 en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo.

9.4.2. Criterios de exclusión

Se excluyeron del estudio aquellos modelos dentales que presentaran alguna de las siguientes condiciones:

Ausencia de una o más piezas dentarias en el segmento comprendido entre 16 a 26 o 36 a 46, lo cual imposibilita la realización completa del análisis de Bolton total y anterior.

Modelos físicos de yeso fracturados, porosos, mal vaciados o con presencia de burbujas en las zonas proximales, que puedan distorsionar la medición de los diámetros mesiodistales.

Modelos físicos o digitales que presentaran defectos que comprometieran la identificación de los puntos anatómicos necesarios para las mediciones.

Presencia de restauraciones proximales extensas, tratamientos restauradores que modifiquen el diámetro mesiodistal natural de las piezas dentarias.

Pacientes en dentición mixta, en los cuales la presencia de dientes temporales impida la correcta aplicación del análisis de Bolton.

Modelos con abrasiones o desgaste interproximal severo, que dificulten la localización precisa del punto de contacto mesial y distal necesario para las mediciones odontométricas.

Modelos que no contaran con su correspondiente contraparte física o digital, lo cual impediría la comparación entre ambos métodos de medición.

Modelos duplicados o registros que no correspondieran al período establecido para el estudio, comprendido durante el periodo 2025-2026

9.5 Población y muestra

La población corresponde al conjunto de unidades que reúnen las características establecidas para una investigación, mientras que la muestra constituye un subgrupo de la población del cual se recolectan los datos y que debe definirse y delimitarse de acuerdo con los objetivos del estudio (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018). El proceso de selección de la muestra debe guardar correspondencia con las características de la población y con los criterios establecidos para la investigación.

La población de estudio estuvo constituida por los modelos físicos de yeso de pacientes atendidos en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal

Miguel Obando Bravo (UNICA) durante el período 2025–2026, disponibles para la realización del estudio y que reunían las condiciones necesarias para efectuar el análisis de Bolton.

Para la aplicación del análisis se consideró la disponibilidad de las piezas dentarias permanentes comprendidas desde el primer molar de un lado hasta el primer molar contralateral en ambas arcadas, así como condiciones adecuadas de los modelos que permitieran identificar los puntos de contacto proximales y efectuar las mediciones de los anchos mesiodistales dentarios.

La muestra estuvo conformada por 100 pares de modelos físicos de yeso, cada par constituido por una arcada superior y una arcada inferior, equivalentes a 200 modelos físicos individuales. Estos fueron seleccionados mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos para la investigación.

Posteriormente, cada par de modelos físicos fue escaneado mediante el escáner intraoral Medit i600 para generar su correspondiente par de modelos digitales tridimensionales. De esta manera, se obtuvieron 100 pares de modelos digitales, equivalentes a 200 modelos digitales individuales, sobre los cuales se realizaron las mediciones mediante el software Dolphin 3D Study Models. Esto permitió comparar las mediciones obtenidas mediante ambos métodos sobre las mismas unidades de análisis.

La selección mediante muestreo no probabilístico intencional permitió incluir aquellos pares de modelos que cumplían las características requeridas para efectuar las mediciones correspondientes al análisis de Bolton.

9.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de los datos se realizó mediante la técnica de medición odontométrica, aplicada a los modelos físicos de yeso y a sus correspondientes modelos digitales tridimensionales. Esta técnica permitió obtener los anchos mesiodistales de las piezas dentarias requeridos para el cálculo de las proporciones anterior y total del análisis de Bolton y la posterior comparación de los resultados obtenidos mediante ambos métodos de medición.

Para la obtención de las mediciones odontométricas en los modelos físicos de yeso, se utilizaron como instrumentos un compás y una regla milimétrica. Se midió el mayor ancho

mesiodistal de cada pieza dentaria permanente comprendida desde el primer molar de un lado hasta el primer molar contralateral en ambas arcadas. Para cada medición se identificaron los puntos de contacto mesial y distal de la pieza dentaria, registrándose la distancia correspondiente a su mayor ancho mesiodistal.

Para la obtención de los modelos digitales tridimensionales, los mismos modelos físicos de yeso fueron escaneados mediante el Medit i600. Posteriormente, los modelos digitales generados fueron analizados mediante el software Dolphin 3D Study Models, en el cual se realizaron las mediciones odontométricas correspondientes a las mismas piezas dentarias evaluadas en los modelos físicos, tomando como referencia los puntos mesial y distal para determinar el mayor ancho mesiodistal de cada pieza.

Como instrumento para el registro de la información se utilizó una ficha de recolección de datos diseñada específicamente para la investigación, en la cual se registraron de manera sistemática las mediciones odontométricas individuales obtenidas mediante ambos métodos. A partir de estas mediciones se determinaron los valores correspondientes a las proporciones anterior y total del análisis de Bolton. La información recopilada fue posteriormente organizada en una base de datos para su procesamiento y análisis estadístico.

9.7 Validez y confiabilidad de los instrumentos

En el presente estudio, la validez de los instrumentos se garantizó mediante la utilización de modelos físicos de yeso, considerados tradicionalmente como el estándar clínico para la medición de dimensiones dentarias en ortodoncia, y de modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600, reconocido por su alta precisión en la captura tridimensional de las estructuras dentarias. La validez concurrente se evaluó a través de la comparación directa de las mediciones mesiodistales obtenidas mediante ambos métodos, verificando que las diferencias observadas se mantuvieran dentro de rangos clínicamente aceptables para la realización del análisis de Bolton.

La concordancia entre las mediciones obtenidas mediante los modelos físicos de yeso y los modelos digitales generados con el escáner intraoral Medit i600 se evaluó mediante el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC), con el propósito de determinar el grado de acuerdo entre ambos métodos de medición. Adicionalmente, se utilizó estadística descriptiva para

resumir la información obtenida y la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para evaluar la distribución de las variables analizadas.

Asimismo, para identificar posibles diferencias entre las mediciones obtenidas mediante ambos métodos, se aplicó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas. De manera complementaria, la concordancia entre las mediciones realizadas en modelos físicos y digitales se evaluó mediante el análisis de Bland-Altman, el cual permitió identificar el sesgo existente entre ambos métodos y establecer los límites de acuerdo entre las mediciones comparadas.

En conjunto, estos procedimientos estadísticos permitieron determinar el grado de concordancia, la precisión diagnóstica y la utilidad clínica de los modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 en comparación con los modelos físicos de yeso para la realización del análisis de Bolton.

9.8 Procedimientos para el procesamiento y análisis de información

El procesamiento y análisis de la información constituyo una etapa fundamental dentro de la investigación cuantitativa, ya que permitió organizar, depurar y analizar los datos obtenidos durante el trabajo de campo mediante la aplicación de técnicas estadísticas apropiadas, En el presente estudio, los derivados de las mediciones realizadas en los modelos físicos de yeso y en los modelos digitales obtenidos mediante la digitalización de dichos modelos con el escáner intraoral Medit i600 se registraron en una ficha de recolección de datos diseñada para la investigación. En dicha ficha se consignaron las mediciones mesiodistales correspondientes a cada pieza dentaria, así como los valores obtenidos para el análisis de Bolton anterior y total.

9.8.1. Entrenamiento y estandarización de la examinadora

Previo a la obtención de las mediciones, se realizó un proceso de entrenamiento y estandarización de la examinadora con el propósito de unificar los criterios empleados para la identificación de los puntos anatómicos de referencia y la ejecución del procedimiento de medición.

Para las mediciones realizadas en los modelos físicos de yeso, la examinadora recibió orientación por parte del tutor científico respecto a la identificación de los puntos de contacto mesial y distal correspondientes al mayor diámetro mesiodistal de la corona dentaria, así como

sobre el procedimiento de medición mediante compás y regla milimétrica. Los valores fueron registrados de acuerdo con la escala observable del instrumento utilizado.

Para el método digital, la examinadora recibió orientación técnica por parte de un profesional con experiencia en escaneo intraoral sobre el manejo del modelo digital y el procedimiento para la obtención de las mediciones. Aunque el software Dolphin 3D Study Models permite realizar una delimitación inicial de las estructuras dentarias, la identificación y ajuste de los puntos de referencia mesial y distal fueron realizados por la examinadora de acuerdo con los criterios anatómicos previamente establecidos. El software permitió obtener y registrar las mediciones digitales con cifras decimales.

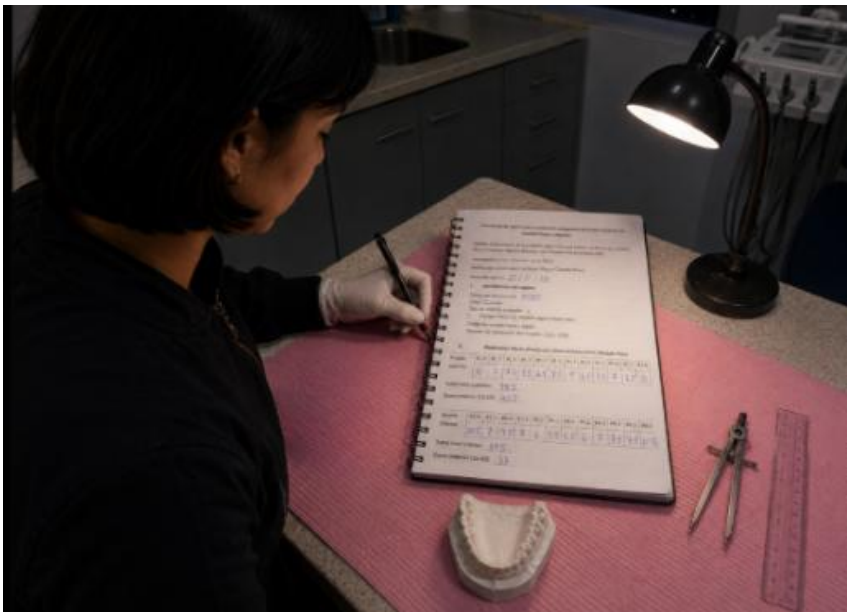
Todas las mediciones correspondientes a los modelos físicos y digitales fueron realizadas por una única examinadora siguiendo el procedimiento previamente estandarizado. No se realizaron mediciones repetidas en diferentes momentos ni participaron examinadores adicionales, por lo que no se efectuó una evaluación cuantitativa de la reproducibilidad intraexaminador o interexaminador.

9.8.2. Procedimiento de medición en los modelos físicos.

En los modelos físicos de yeso se determinó el ancho mesiodistal de las piezas dentarias comprendidas de primer molar a primer molar en ambas arcadas. Para ello se utilizó un compás para localizar la mayor distancia entre los puntos de contacto mesial y distal de cada corona dentaria y posteriormente la distancia obtenida fue trasladada a una regla milimétrica para su lectura y registro.

Los valores fueron consignados en la ficha de recolección de datos de acuerdo con la escala observable de la regla utilizada.

Figura 10.
Medición de las dimensiones mesiodistales en el modelo físico de yeso mediante el compás y regla milimétrica.



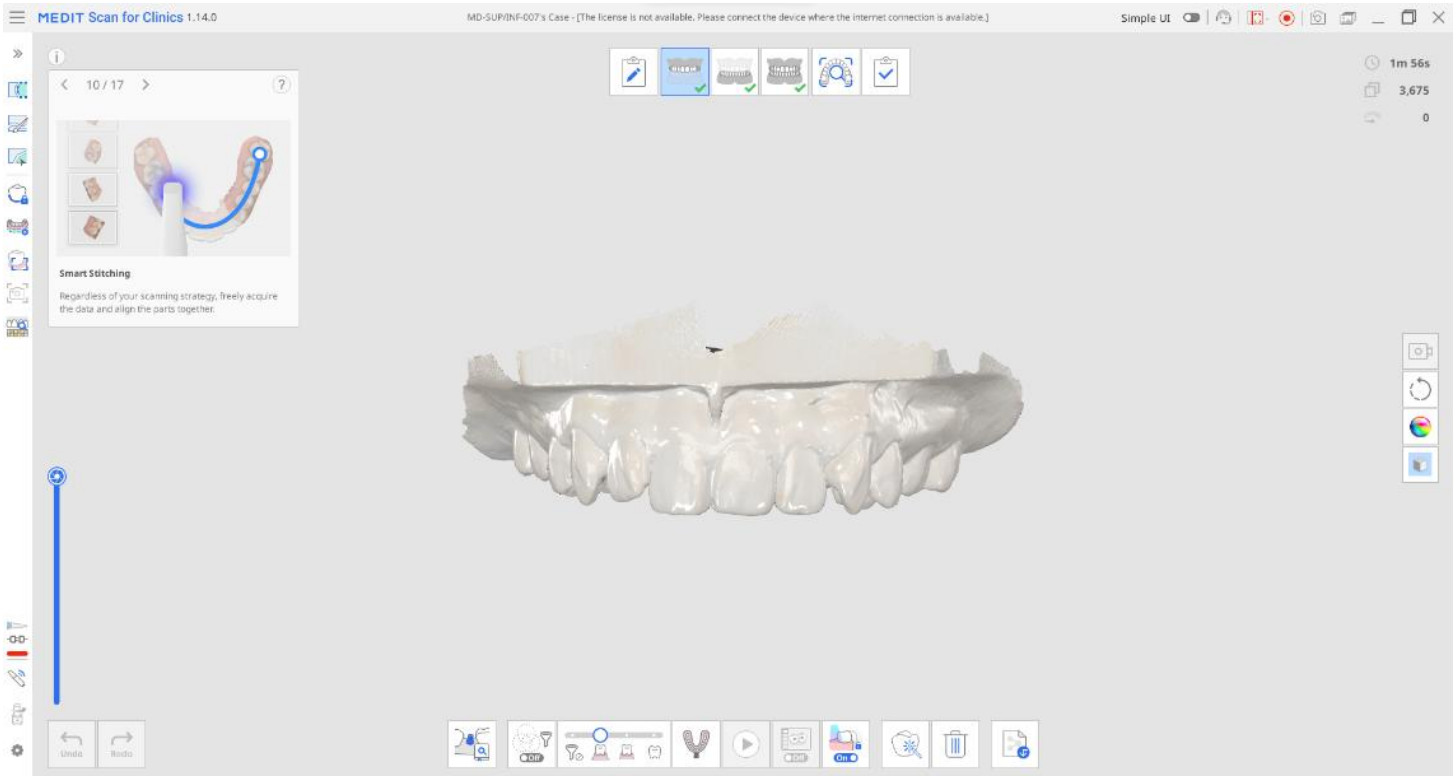
Nota. Se observa el procedimiento de medición manual del ancho mesiodistal de las piezas dentarias en modelos físicos de yeso utilizando una regla milimétrica y un compás. Fuente propia.

9.8.3. Obtención y medición de los modelos digitales

Los modelos físicos seleccionados fueron digitalizados mediante el escáner intraoral Medit i600 para obtener representaciones tridimensionales de las arcadas superior e inferior.

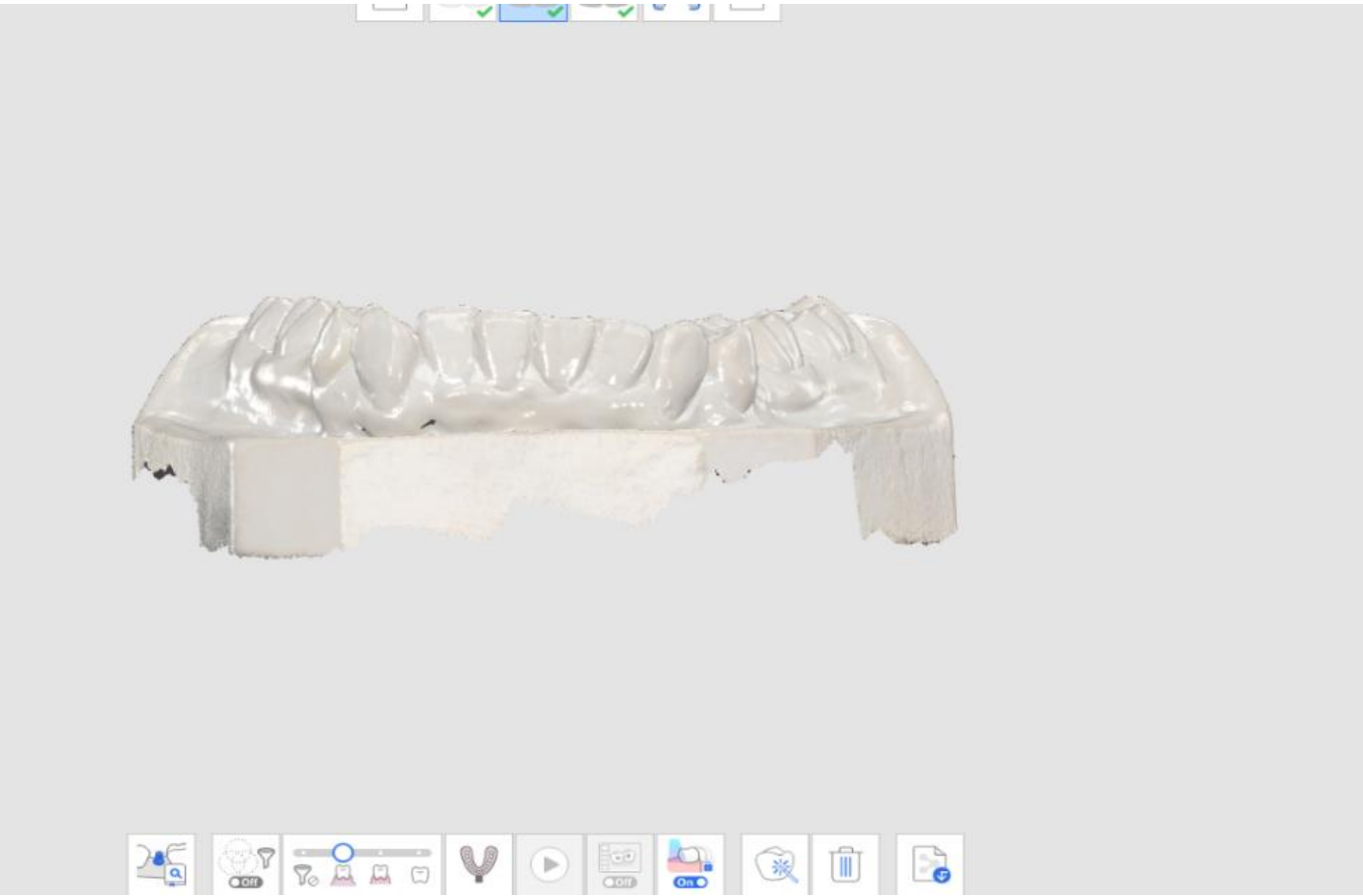
Figura 11.

Digitalización del modelo físico de la arcada superior mediante el escáner intraoral Medit i600



Nota. *Se observa la digitalización del modelo físico de la arcada superior mediante el escáner intraoral Medit i600 para la obtención del modelo digital tridimensional. Fuente propia.*

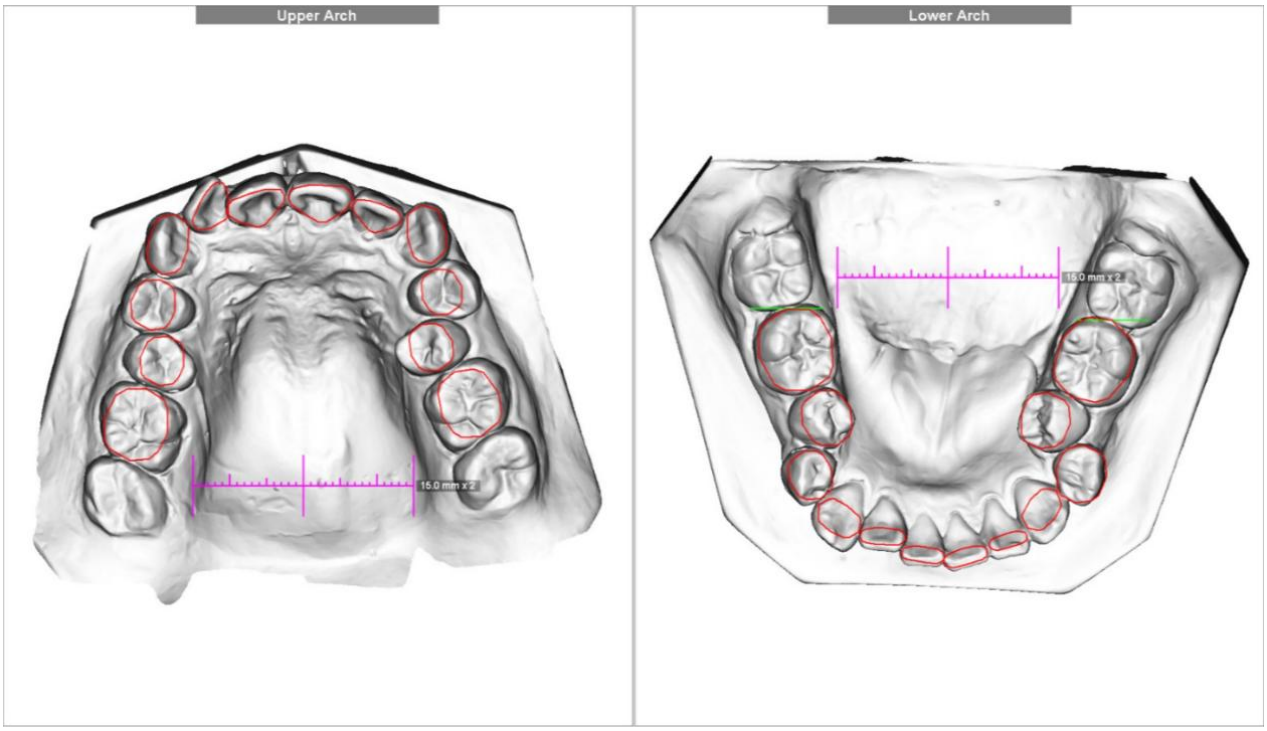
Figura 12.
Digitalización del modelo físico de la arcada inferior mediante el escáner intraoral Medit i600.



Nota. *Se observa la digitalización del modelo físico de la arcada superior mediante el escáner intraoral Medit i600 para la obtención del modelo digital tridimensional. Fuente propia*

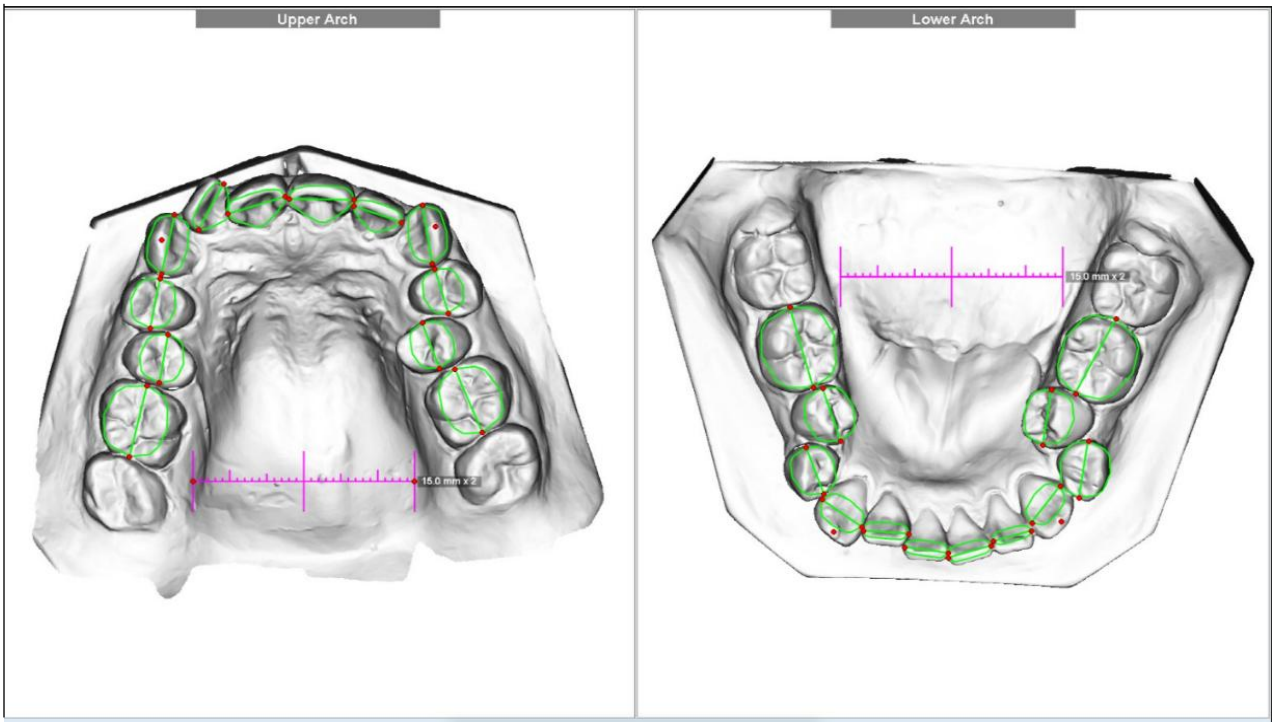
Posteriormente, los modelos digitales fueron procesados mediante Dolphin 3D Study Models. Una vez delimitadas las coronas dentarias, se identificaron y ajustaron los puntos de referencia mesial y distal correspondientes al mayor diámetro mesiodistal de cada corona clínica. Aunque el software proporcionaba herramientas digitales para la delimitación y medición, la localización y ajuste de los puntos anatómicos de referencia fueron realizados por la examinadora.

Figura 13.
Delimitación de las coronas dentarias en el modelo digital mediante el software Dolphin.



Nota. *Una vez segmentadas las piezas dentarias, el software Dolphin 3D study Models, permitió visualizar individualmente el contorno de cada corona clínica, facilitando la identificación anatómica de las piezas dentarias previo a la obtención de las mediciones mesiodistales utilizadas para el cálculo del análisis de Bolton anterior y total. Fuente propia.*

Figura 14.
Modelo digital de la arcada superior e inferior analizado en Dolphin 3D Digital Study Models para la realización de las mediciones mesiodistales correspondientes al análisis de Bolton.

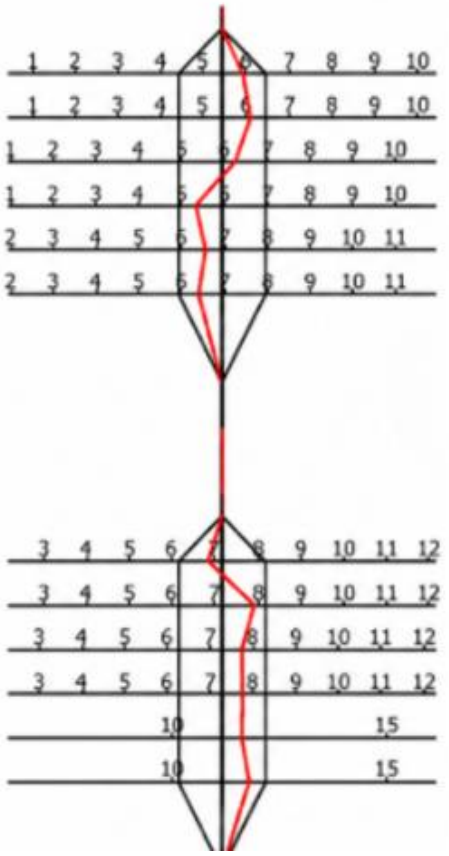


Nota. *Los puntos de referencia fueron establecidos en los puntos de contacto mesial y distal de cada diente, correspondientes al mayor diámetro mesiodistal de la corona clínica observado en el modelo digital. Las mediciones obtenidas mediante Dolphin 3D Digital Study Models sirvieron para el cálculo de las proporciones del análisis de Bolton anterior y total. Fuente propia*

A partir de las mediciones mesiodistales obtenidas, se determinaron las relaciones anterior y total del análisis de Bolton. Los valores generados mediante el procedimiento digital fueron registrados conservando las cifras decimales proporcionadas por el software.

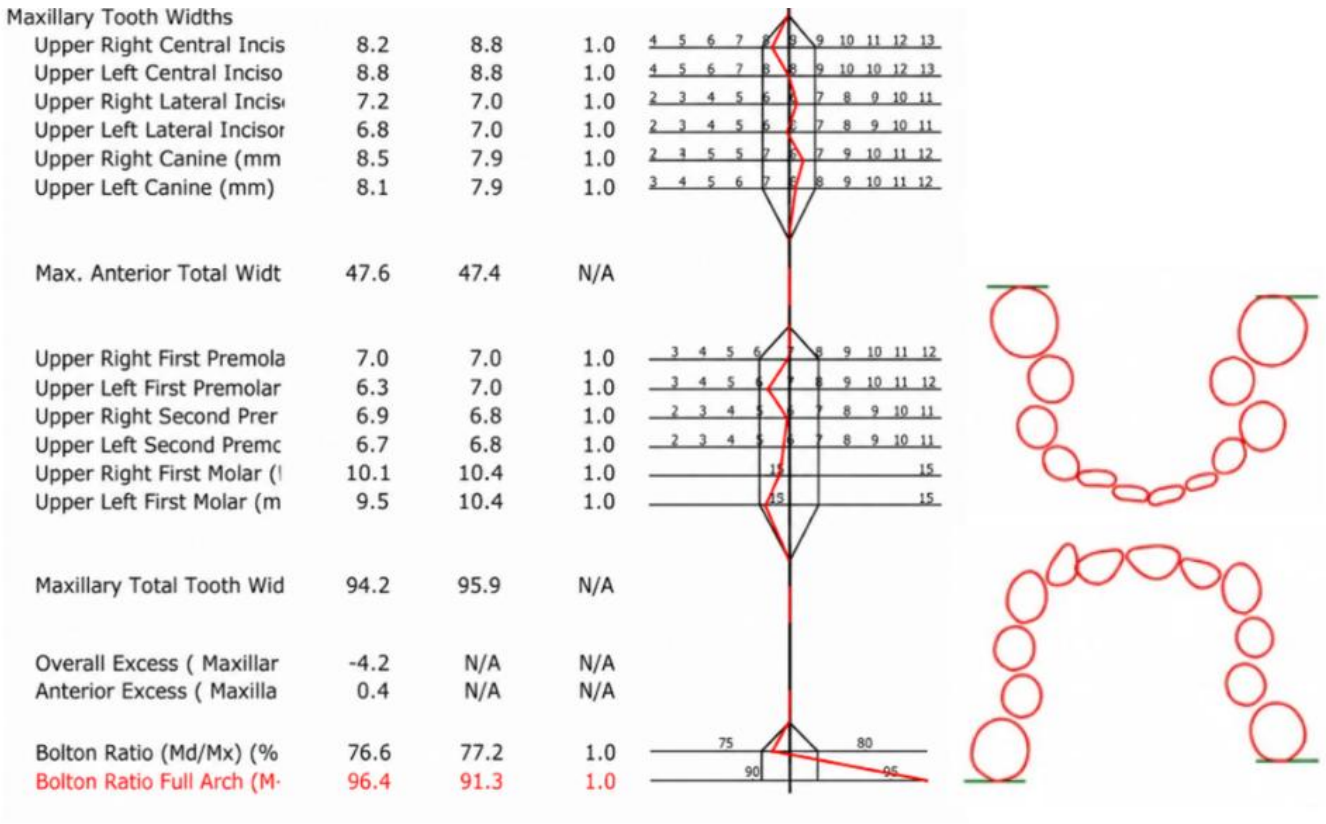
Figura 15.
Resultado del análisis de Bolton obtenido mediante el software Dolphin 3D study models, a partir de las mediciones realizadas en el modelo digital.

	Value	Norm	Std Dev
Mandibular Tooth Widths			
Lower Right Central Incis	5.9	5.4	1.0
Lower Left Central Inciso	6.1	5.4	1.0
Lower Right Lateral Incisı	6.2	5.9	1.0
Lower Left Lateral Incisor	5.3	5.9	1.0
Lower Right Canine (mm	6.5	6.9	1.0
Lower Left Canine (mm)	6.4	6.9	1.0
Mand. Anterior Total Wid	36.5	36.6	N/A
Lower Right First Premol	6.8	7.2	1.0
Lower Left First Premolar	7.9	7.2	1.0
Lower Right Second Prem	7.7	7.3	1.0
Lower Left Second Premc	7.8	7.3	1.0
Lower Right First Molar (ı	11.6	11.1	1.0
Lower Left First Molar (m	11.8	11.1	1.0



Nota. El software Dolphin 3D study models generó automáticamente los valores del análisis de Bolton anterior y total a partir de las mediciones mesiodistales obtenidas

Figura 16.
Resultado del análisis de Bolton obtenido mediante el software Dolphin 3D study models, a partir de las mediciones realizadas en el modelo digital.



Maxillary Tooth Widths			
Upper Right Central Incis	8.2	8.8	1.0
Upper Left Central Inciso	8.8	8.8	1.0
Upper Right Lateral Incis	7.2	7.0	1.0
Upper Left Lateral Incisor	6.8	7.0	1.0
Upper Right Canine (mm	8.5	7.9	1.0
Upper Left Canine (mm)	8.1	7.9	1.0
Max. Anterior Total Widt	47.6	47.4	N/A
Upper Right First Premola	7.0	7.0	1.0
Upper Left First Premolar	6.3	7.0	1.0
Upper Right Second Prer	6.9	6.8	1.0
Upper Left Second Premc	6.7	6.8	1.0
Upper Right First Molar (!	10.1	10.4	1.0
Upper Left First Molar (m	9.5	10.4	1.0
Maxillary Total Tooth Wid	94.2	95.9	N/A
Overall Excess (Maxillar	-4.2	N/A	N/A
Anterior Excess (Maxilla	0.4	N/A	N/A
Bolton Ratio (Md/Mx) (%	76.6	77.2	1.0
Bolton Ratio Full Arch (M·	96.4	91.3	1.0

Nota. El software Dolphin 3D study models generó automáticamente los valores del análisis de Bolton anterior y total a partir de las mediciones mesiodistales obtenidas

9.8.4. *Registro, depuración y procesamiento de los datos*

Posteriormente, la información registrada en las fichas fue digitada en una base de datos utilizando el software IBM SPPS Statistics versión 27 (Statistical Package for the Social Sciences), con el propósito de organizar y sistematizar los valores obtenidos. Durante esta etapa se realizó la revisión y depuración de los datos para verificar la coherencia de las mediciones y minimizar posibles errores de registro o digitación.

9.8.5. *Análisis estadístico*

En una primera fase se aplicó estadística descriptiva mediante medidas de tendencia central y dispersión, con el propósito de caracterizar el comportamiento de las mediciones obtenidas mediante los modelos físicos y digitales.

Posteriormente, se evaluó la distribución de los datos mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Una vez determinada la distribución, se aplicó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas, con el propósito de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos mediante ambos métodos.

La concordancia entre los métodos se evaluó mediante el coeficiente de correlación intraclase (ICC), utilizando un modelo de efectos mixtos de dos factores y acuerdo absoluto, con el propósito de determinar el grado de acuerdo entre las mediciones obtenidas mediante el método físico y el método digital.

Asimismo, se aplicó el análisis de Bland–Altman para determinar la magnitud de las diferencias entre ambos métodos mediante la estimación del sesgo promedio y los límites de acuerdo.

Adicionalmente, se identificaron las observaciones situadas fuera de los límites de acuerdo establecidos mediante el análisis de Bland–Altman. Estas observaciones se mantuvieron en el análisis principal. De manera complementaria, se realizó un análisis de sensibilidad mediante su exclusión temporal, con el propósito de evaluar su influencia sobre el sesgo promedio, los límites de acuerdo y el coeficiente de correlación intraclase. Este procedimiento se realizó únicamente como análisis complementario y no implicó la eliminación de dichos casos de la muestra ni la modificación de los resultados correspondientes al análisis principal.

Los resultados fueron presentados mediante tablas y representaciones gráficas para facilitar su interpretación y sustentar las conclusiones respecto a las diferencias y al grado de concordancia observado entre ambos métodos.

9.9 Consideraciones éticas

El presente estudio se desarrolló respetando los principios éticos aplicables a las investigaciones en ciencias de la salud. La investigación se basó en el análisis de modelos de estudio pertenecientes a pacientes atendidos en las Clínicas de Especialidad en Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA), los cuales fueron obtenidos previamente como parte de los procedimientos clínicos habituales utilizados para la documentación diagnóstica y planificación del tratamiento ortodóncico.

Los modelos utilizados en la investigación correspondieron a registros clínicos previamente elaborados por estudiantes de la especialidad como parte del seguimiento de sus casos clínicos. Para el desarrollo del estudio, los responsables de dichos casos autorizaron el uso académico de los modelos dentales con fines exclusivamente investigativos, sin que fuera necesaria la participación directa de los pacientes ni la realización de procedimientos adicionales sobre ellos.

Debido a que la investigación se basó en el análisis de datos secundarios y registros clínicos previamente obtenidos, no implicó intervención directa ni contacto con los pacientes, ni la realización de procedimientos adicionales que afectaran su integridad física, psicológica o social. Los modelos analizados no contenían información personal identificable, tales como nombres, números de expediente, fotografías u otros datos que permitieran identificar a los pacientes.

Durante el desarrollo de la investigación se garantizó el cumplimiento de los principios de confidencialidad, anonimato y uso responsable de la información, asegurando que los datos obtenidos fueran utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos. Asimismo, se resguardó la integridad de los modelos utilizados en el estudio y se evitó cualquier forma de divulgación de información que pudiera comprometer la identidad de los pacientes.

El estudio se realizó siguiendo los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, promoviendo el respeto por la dignidad de las personas, la protección de la información clínica y la transparencia en el desarrollo del proceso investigativo.

10 Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de las mediciones realizadas en los modelos físicos de yeso y en los modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600. Los datos se organizaron de acuerdo con los objetivos específicos de la investigación y se analizaron mediante técnicas de estadísticas descriptiva e inferencial, con el propósito de evaluar la precisión diagnostica del análisis de Bolton entre ambos métodos de medición.

Los resultados se exponen de manera secuencial mediante tablas y representaciones estadísticas que facilitan su interpretación. Asimismo, cada hallazgo es discutido con base en la evidencia científica disponible, permitiendo establecer semejanzas o diferencias con investigaciones previas y valorar la utilidad clínica de los modelos digitales como alternativa a los modelos físicos para la realización del análisis de Bolton.

10.1 Resultados y discusión correspondientes al objetivo específico 1

Con el propósito de dar cumplimiento al primer objetivo específico de la investigación, se realizaron las mediciones mesiodistales de primer molar a primer molar en ambas arcadas mediante modelos físicos de yeso, utilizando regla milimétrica y compás, y mediante modelos digitales obtenidos con el escáner intraoral Medit i600, empleando el software Dolphin 3D Study Models para la medición digital. Como punto de partida, se describieron las características generales de la muestra mediante la variable edad y, posteriormente, se presentan los resultados correspondientes a las mediciones mesiodistales de las arcadas superior e inferior obtenidas mediante ambos métodos. Estos resultados constituyen la base para el cálculo posterior del análisis de Bolton y la comparación entre los métodos de medición.

Tabla 5.
Caracterización de la muestra

Estadísticos	Edad
N validos	100
Media	19.29
Mínimo	14
Máximo	28

Nota. Datos correspondientes a la edad de los participantes incluidos en el estudio, expresada en años- Fuente propia

Los resultados muestran que se contó con 100 registros válidos para la variable edad, correspondientes a los pacientes de quienes procedían los modelos de estudio analizados. La edad promedio fue de 19.29 años, lo que indica que la muestra estuvo constituida predominantemente por adolescentes tardíos y adultos jóvenes. Asimismo, la edad mínima registrada fue de 14 años y la máxima de 28 años, evidenciando un rango de 14 años.

Estos resultados permiten caracterizar la edad de los pacientes a quienes correspondían los modelos de estudio incluidos en la investigación. Todos los modelos seleccionados cumplieron con los criterios establecidos para la realización de las mediciones odontométricas y la aplicación del análisis de Bolton.

Tabla 6.

Estadísticos descriptivos de las mediciones mesiodistales arcada superior en modelos físicos (MF)

Medición mesiodistal por pieza dentaria (mm)	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°16 en modelos físicos	10.0900	.47344	8.50	11.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°15 en modelos físicos	6.8350	.41472	5.50	7.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°14 en modelos físicos	7.0000	.42640	6.00	8.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°13 en modelos físicos	7.6250	.49937	6.50	8.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°12 en modelos físicos	6.3350	.44978	5.00	7.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°11 en modelos físicos	8.6200	.58655	7.00	10.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°21 en modelos físicos	8.7500	.60927	7.00	10.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°22 en modelos físicos	6.4650	.39731	5.50	7.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°23 en modelos físicos	7.4900	.46591	6.50	8.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°24 en modelos físicos	6.8000	.36927	6.00	7.50

Medición mesiodistal por pieza dentaria (mm)	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°25 en modelos físicos	6.9450	.41981	6.00	8.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°26 en modelos físicos	10.1200	.41512	8.50	11.00

Nota. Las mediciones mesiodistales se expresan en milímetros (mm). MF = modelos físicos arcada superior. Fuente propia a partir de la base de datos del estudio.

Los resultados obtenidos en los modelos físicos de yeso evidencian que los mayores diámetros mesiodistales correspondieron a los primeros molares superiores (dientes 16 y 26), con medias de 10.09 mm y 10.12 mm, respectivamente, mientras que los menores valores se observaron en los incisivos laterales superiores (dientes 12 y 22), con medias de 6.34 mm y 6.47 mm. La dispersión de las mediciones fue reducida en la mayoría de las piezas dentarias, observándose desviaciones estándar inferiores a 0.61 mm, lo que refleja poca variabilidad en las dimensiones dentarias registradas en la muestra estudiada.

Estos hallazgos son consistentes con los principios anatómicos descritos por Proffit, Fields y Sarver (2013), quienes señalan que los primeros molares permanentes presentan mayores diámetros mesiodistales dentro de la arcada superior, mientras que los incisivos laterales superiores suelen registrar dimensiones menores debido a su morfología característica. Asimismo, la distribución observada en las mediciones guarda relación con los patrones dentarios considerados para el análisis de Bolton, en el cual las dimensiones mesiodistales de las piezas dentarias constituyen la base para evaluar la proporcionalidad entre ambas arcadas.

De igual manera, los resultados muestran similitud con las investigaciones desarrolladas por Kim et al. (2014), quienes evaluaron medidas mesiodistales obtenidas en modelos físicos para su comparación con modelos digitales. De forma similar, Brandão et al. (2015) utilizaron las dimensiones dentarias registradas en modelos convencionales de yeso para compararlas con las obtenidas mediante modelos virtuales tridimensionales.

Asimismo, Restrepo et al. (2015) realizaron mediciones dentarias sobre modelos físicos y digitales, encontrando una excelente reproducibilidad intra e interexaminador y diferencias entre ambos métodos consideradas clínicamente irrelevantes. Los resultados de la presente investigación muestran una baja dispersión de las mediciones y una distribución coherente de las dimensiones mesiodistales entre las diferentes piezas dentarias, proporcionando los datos necesarios para el posterior cálculo del análisis de Bolton y la comparación con las mediciones obtenidas en los modelos digitales.

Tabla 7.
Estadísticos descriptivos de las mediciones mesiodistales arcada inferior en modelos físicos (MF)

Medición mesiodistal por pieza dentaria (mm)	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°36 en modelos físicos	10.8500	.58818	9.00	12.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°35 en modelos físicos	7.0200	.44902	5.50	8.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°34 en modelos físicos	7.0950	.51097	6.00	8.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°33 en modelos físicos	6.8000	.37605	5.50	7.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°32 en modelos físicos	5.5750	.37856	5.00	6.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°31 en modelos físicos	5.2750	.32079	4.50	6.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°41 en modelos físicos	5.3400	.25505	4.50	6.00

Medición mesiodistal por pieza dentaria (mm)	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°42 en modelos físicos	5.5900	.37859	5.00	6.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°43 en modelos físicos	6.7300	.41694	5.50	7.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°44 en modelos físicos	7.0000	.42044	6.00	7.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°45 en modelos físicos	7.1400	.54625	5.50	8.00
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°46 en modelos físicos	10.8400	.58119	9.00	12.00

Nota. Las mediciones mesiodistales se expresan en milímetros (mm). MF = modelos físico arcada inferior. Fuente propia a partir de la base de datos del estudio.

Los resultados correspondientes a las mediciones mesiodistales de la arcada inferior en modelos físicos de yeso muestran que los mayores diámetros dentarios se registraron en los primeros molares permanentes inferiores (dientes 36 y 46), con medias de 10.85 mm y 10.84 mm, respectivamente. Por el contrario, las menores dimensiones correspondieron a los incisivos centrales inferiores (dientes 31 y 41), con medias de 5.28 mm y 5.34 mm. Estos hallazgos reflejan el patrón dimensional observado en la dentición permanente analizada, donde los primeros molares presentaron mayores dimensiones mesiodistales y los incisivos centrales inferiores las menores.

Las desviaciones estándar observadas oscilaron entre 0.26 mm y 0.59 mm, evidenciando una dispersión reducida de las mediciones alrededor de sus respectivas medias. Asimismo, los valores mínimos y máximos registrados muestran la variabilidad existente en las dimensiones mesiodistales de las piezas dentarias evaluadas.

Estos resultados permiten caracterizar las dimensiones mesiodistales de las piezas dentarias de la arcada inferior en los modelos físicos de yeso. Estas mediciones, juntamente con

las obtenidas en la arcada superior, constituyen la información odontométrica necesaria para el posterior cálculo de las sumatorias dentarias y de las proporciones anterior y total del análisis de Bolton.

De igual forma, los hallazgos pueden relacionarse con el estudio de Kim et al. (2014), quienes compararon mediciones dentarias realizadas mediante modelos convencionales y digitales. Asimismo, Restrepo et al. (2015) evaluaron mediciones dentarias obtenidas mediante modelos físicos y digitales y reportaron una excelente reproducibilidad intra e interexaminador, con diferencias entre ambos métodos consideradas clínicamente irrelevantes. En la presente investigación, las mediciones obtenidas en los modelos físicos constituyen la base para su posterior comparación con las correspondientes mediciones realizadas en los modelos digitales.

Tabla 8.

Estadísticos descriptivos de las mediciones mesiodistales arcada superior en modelos digitales (MD)

Medición mesiodistal por pieza dentaria (mm)	**Media**	**Desv. típ.**	**Mínimo**	**Máximo**
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°16 en modelos digitales	10.1057	.45897	8.58	11.44
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°15 en modelos digitales	6.8303	.39110	5.45	7.46
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°14 en modelos digitales	6.9675	.39879	6.02	7.94
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°13 en modelos digitales	7.6444	.49175	6.29	8.50

Medición mesiodistal por pieza dentaria (mm)	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°12 en modelos digitales	6.3490	.42134	5.03	7.50
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°11 en modelos digitales	8.6093	.56645	7.03	9.97
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°21 en modelos digitales	8.7650	.58639	7.15	9.98
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°22 en modelos digitales	6.4576	.37690	5.57	7.46
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°23 en modelos digitales	7.5312	.45250	6.55	8.83
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°24 en modelos digitales	6.7824	.34983	6.03	7.53
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°25 en modelos digitales	6.9106	.39978	5.89	7.96
Medición mesiodistal en mm de la arcada superior n°26 en modelos digitales	10.1467	.40996	8.44	11.11

Nota. Las mediciones mesiodistales se expresan en milímetros (mm). MD = modelos digitales arcada superior. Fuente propia a partir de la base de datos del estudio.

Las mediciones mesiodistales obtenidas en los modelos digitales muestran una distribución anatómica coherente con la morfología dental esperada en la dentición permanente. Los mayores diámetros mesiodistales se registraron en los primeros molares superiores (dientes 16 y 26), con medias de 10.11 mm y 10.15 mm, respectivamente, mientras que los menores valores correspondieron a los incisivos laterales superiores (dientes 12 y 22), con medias de 6.35 mm y 6.46 mm. Este comportamiento evidencia diferencias en las dimensiones mesiodistales de las distintas piezas que conforman la arcada superior.

La dispersión de las mediciones fue baja en todas las piezas dentarias evaluadas, observándose desviaciones estándar comprendidas entre 0.35 mm y 0.59 mm. Estos resultados evidencian una baja variabilidad en las dimensiones dentarias registradas mediante el método digital. Asimismo, los valores mínimos y máximos obtenidos permitieron identificar el rango de variación de las mediciones mesiodistales correspondiente a cada pieza dentaria evaluada.

Al comparar descriptivamente estos resultados con los obtenidos en los modelos físicos de yeso, se observa similitud entre las medias registradas en cada pieza dentaria. Por ejemplo, el diente 16 presentó una media de 10.09 mm en los modelos físicos y de 10.11 mm en los modelos digitales, mientras que el diente 26 registró medias de 10.12 mm y 10.15 mm, respectivamente. Estas diferencias descriptivas entre las medias obtenidas mediante ambos métodos serán posteriormente sometidas a las pruebas estadísticas correspondientes para determinar el grado de concordancia entre las mediciones físicas y digitales.

Los hallazgos encontrados guardan relación con lo reportado por Kim et al. (2014), quienes compararon mediciones obtenidas mediante modelos de yeso y modelos digitales escaneados, incluyendo entre las variables estudiadas los anchos mesiodistales dentarios. Los autores encontraron diferencias medias reducidas entre los modelos escaneados y los modelos de yeso, además de un elevado grado de acuerdo entre los métodos evaluados (Kim et al., 2014).

De manera similar, Brandão et al. (2015) realizaron mediciones mesiodistales de los dientes permanentes desde los primeros molares hasta los incisivos en modelos de yeso y en sus correspondientes modelos virtuales tridimensionales. Estas mediciones fueron utilizadas posteriormente para determinar las proporciones anterior y total del análisis de Bolton y establecer la comparación entre ambos métodos (Brandão et al., 2015).

De igual manera, Restrepo et al. (2015) evaluaron mediciones dentarias realizadas sobre modelos digitales y modelos de yeso, reportando una excelente reproducibilidad intra e interexaminador y diferencias entre ambos métodos consideradas clínicamente irrelevantes. Estos antecedentes permiten contextualizar los resultados obtenidos en la presente investigación y respaldan la utilización de mediciones mesiodistales obtenidas a partir de modelos digitales dentro de los procedimientos de evaluación ortodóncica.

Tabla 9.

Estadísticos descriptivos de las mediciones mesiodistales arcada inferior en modelos digitales (MD)

Medición mesiodistal por pieza dentaria (mm)	**Media**	**Desv. típ.**	**Mínimo**	**Máximo**
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°36 en modelos digitales	10.8615	.57564	9.23	11.98
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°35 en modelos digitales	7.0487	.46211	5.61	7.94
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°34 en modelos digitales	7.1045	.49578	6.02	7.96
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°33 en modelos digitales	6.7867	.38781	5.58	7.46
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°32 en modelos digitales	5.5970	.38787	4.72	6.52
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°31 en modelos digitales	5.3401	.34398	4.56	6.39

Medición mesiodistal por pieza dentaria (mm)	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°41 en modelos digitales	5.3483	.24423	4.58	5.90
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°42 en modelos digitales	5.6469	.38340	4.92	6.48
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°43 en modelos digitales	6.7427	.43980	5.58	7.46
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°44 en modelos digitales	6.9970	.43804	5.70	7.86
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°45 en modelos digitales	7.1644	.60851	5.60	9.93
Medición mesiodistal en mm de la arcada inferior n°46 en modelos digitales	10.9023	.57515	8.94	11.96

Nota. Las mediciones mesiodistales se expresan en milímetros (mm). MD = modelos digitales arcada inferior. Fuente propia a partir de la base de datos del estudio.

Las mediciones mesiodistales obtenidas en los modelos digitales de la arcada inferior evidencian una distribución anatómica consistente con las características morfológicas de la dentición permanente. Los mayores diámetros mesiodistales correspondieron a los primeros molares inferiores (dientes 36 y 46), con medias de 10.86 mm y 10.90 mm, respectivamente, mientras que los menores valores se registraron en los incisivos centrales inferiores (dientes 31 y 41), con medias de 5.34 mm y 5.35 mm. Esta distribución refleja las diferencias dimensionales observadas entre las distintas piezas dentarias de la arcada mandibular.

La variabilidad de las mediciones fue reducida en la mayoría de las piezas dentarias, observándose desviaciones estándar entre 0.24 mm y 0.61 mm. Asimismo, los valores mínimos y máximos registrados permitieron identificar el rango de variación de las dimensiones mesiodistales correspondiente a cada pieza dentaria evaluada. En conjunto, estos estadísticos descriptivos muestran una baja dispersión de las mediciones obtenidas mediante el método digital.

Al contrastar descriptivamente estos resultados con los obtenidos en los modelos físicos, se observa semejanza entre las medias registradas para cada pieza dentaria. Por ejemplo, el diente 36 presentó una media de 10.85 mm en los modelos físicos y de 10.86 mm en los modelos digitales, mientras que el diente 46 registró valores de 10.84 mm y 10.90 mm, respectivamente. Del mismo modo, las mediciones obtenidas en premolares, caninos e incisivos mostraron valores próximos entre ambos métodos. Estas diferencias descriptivas serán posteriormente sometidas a las pruebas estadísticas correspondientes para determinar el grado de concordancia y acuerdo entre las mediciones físicas y digitales.

Estos hallazgos pueden relacionarse con lo reportado por Kim et al. (2014), quienes compararon mediciones obtenidas mediante modelos de yeso y modelos digitales escaneados, incluyendo entre las variables evaluadas los anchos mesiodistales dentarios. Los autores encontraron diferencias medias reducidas entre las mediciones realizadas en modelos escaneados y modelos de yeso, además de un elevado grado de acuerdo entre los métodos estudiados (Kim et al., 2014).

De manera similar, Brandão et al. (2015) realizaron mediciones del mayor diámetro mesiodistal de los dientes permanentes desde los primeros molares hasta los incisivos, tanto en la arcada superior como en la inferior, utilizando modelos de yeso y sus correspondientes modelos virtuales tridimensionales. Estas mediciones fueron utilizadas posteriormente para calcular las proporciones anterior y total del análisis de Bolton y establecer la comparación entre ambos métodos (Brandão et al., 2015).

De igual forma, los hallazgos guardan relación con lo reportado por Restrepo et al. (2015), quienes evaluaron mediciones dentarias realizadas sobre modelos digitales y modelos de yeso y reportaron una excelente reproducibilidad intra e interexaminador, con diferencias entre ambos

métodos consideradas clínicamente irrelevantes. Estos antecedentes permiten contextualizar las mediciones digitales obtenidas en la presente investigación y su posterior comparación con las mediciones realizadas en los modelos físicos.

10.2 Resultados y discusión correspondientes al objetivo específico 2

Calcular el análisis de Bolton anterior y total a partir de las mediciones mesiodistales obtenidas en los modelos físicos de yeso y modelos digitales.

Con el propósito de dar cumplimiento al segundo objetivo específico de la investigación, a partir de las mediciones mesiodistales obtenidas previamente se calcularon las sumatorias dentarias correspondientes a los segmentos anterior y total de las arcadas superior e inferior, tanto en los modelos físicos de yeso como en los modelos digitales. Estas sumatorias constituyeron la base para determinar las proporciones anterior y total del análisis de Bolton mediante ambos métodos de medición.

Inicialmente, se presentan los estadísticos descriptivos correspondientes a las sumatorias dentarias obtenidas mediante los modelos físicos de yeso y los modelos digitales. Posteriormente, se exponen los valores resultantes del análisis de Bolton anterior y total para cada método, considerando la media, desviación estándar, valores mínimos y máximos, con el propósito de describir el comportamiento de las proporciones dentarias obtenidas.

Tabla 10.
Suma dentarias obtenidas mediante modelos físicos

Estadísticos	Suma total superior MF	Suma anterior superior MF	Suma total inferior MF	Suma anterior inferior MF
N validos	100	100	100	100
Media	93.0750	45.2850	85.2550	35.3100
Desv. Típ	3.34194	2.01416	3.64075	1.58557
Mínimo	85.50	41.00	76.00	30.00
Máximo	104.00	51.00	92.50	37.50

Nota. MF = modelos físicos. Las sumatorias dentarias se expresan en milímetros (mm). Fuente propia a partir de la base de datos del estudio.

Los resultados obtenidos para las sumatorias dentarias calculadas a partir de las mediciones realizadas en los modelos físicos de yeso muestran que la suma total de los diámetros mesiodistales de la arcada superior presentó una media de 93.08 mm (DE = 3.34), mientras que la suma total de la arcada inferior alcanzó una media de 85.26 mm (DE = 3.64). Asimismo, la suma anterior superior registró una media de 45.29 mm (DE = 2.01), en tanto que la suma anterior inferior presentó una media de 35.31 mm (DE = 1.59). Estos resultados muestran las diferencias existentes entre las sumatorias dentarias superiores e inferiores obtenidas a partir de los modelos físicos de yeso.

La variabilidad observada fue reducida en relación con las medias obtenidas en las diferentes sumatorias analizadas. Asimismo, los valores mínimos y máximos registrados permitieron identificar el rango de variación de las sumatorias dentarias en los modelos de estudio evaluados. Estas sumatorias constituyeron la base para el cálculo posterior de las proporciones total y anterior del análisis de Bolton.

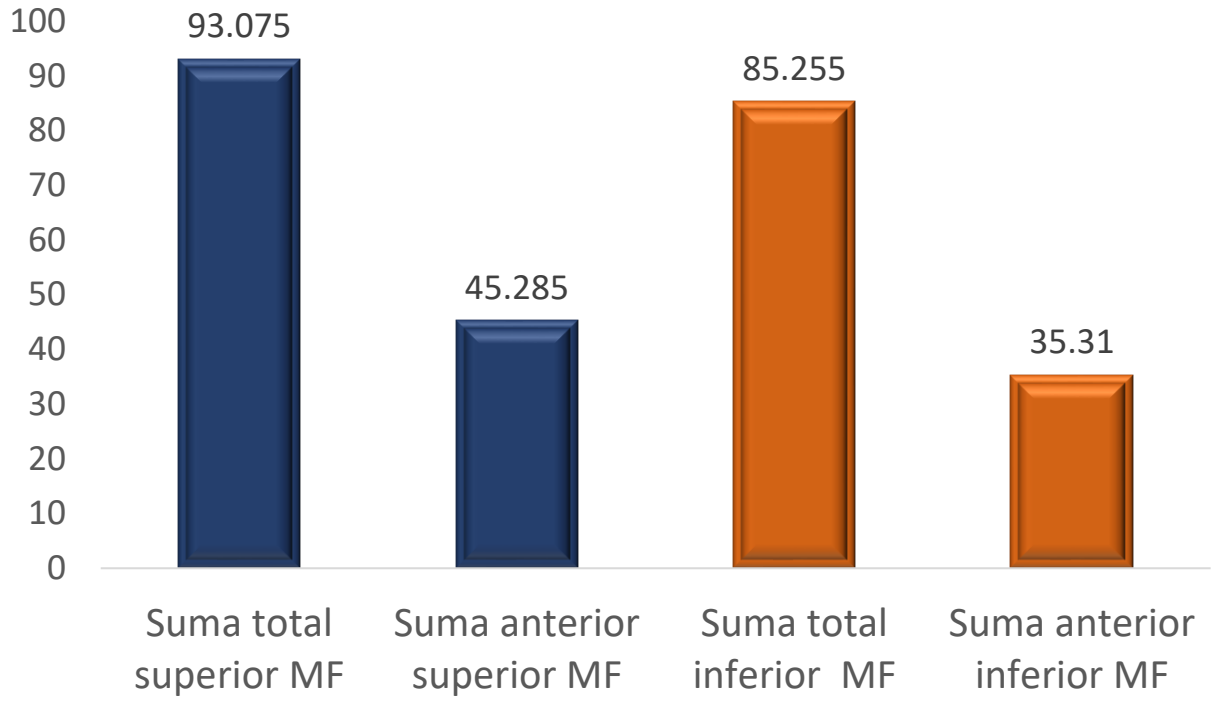
Los hallazgos se relacionan con los fundamentos establecidos por Bolton (1958), cuyo análisis se basa en la relación porcentual entre las sumatorias de los diámetros mesiodistales de los dientes mandibulares y maxilares. Para la proporción total se consideran doce dientes de cada arcada, de primer molar a primer molar, mientras que para la proporción anterior se consideran los seis dientes anteriores. De esta manera, las sumatorias obtenidas en la presente investigación proporcionaron los valores necesarios para calcular las proporciones total y anterior del análisis de Bolton.

De igual manera, Brandão et al. (2015) determinaron el mayor diámetro mesiodistal de los dientes permanentes desde los primeros molares hasta los incisivos en ambas arcadas y, a partir de estas mediciones, calcularon las proporciones anterior y total del análisis de Bolton. Este procedimiento guarda relación con el realizado en la presente investigación, en la cual las sumatorias obtenidas mediante los modelos físicos constituyeron la base para determinar posteriormente ambas proporciones.

Asimismo, Kim et al. (2014) incluyeron la medición de los anchos mesiodistales dentarios en modelos de yeso y modelos tridimensionales dentro de la comparación de métodos de

medición. Estos antecedentes permiten contextualizar la utilización de las mediciones y sumatorias dentarias obtenidas mediante modelos físicos como información necesaria para el cálculo y posterior análisis de las proporciones dentarias.

Figura 17.
Sumatorias dentarias obtenidas mediante modelos físicos de yeso



Nota. Se representan las medias de las sumatorias dentarias correspondientes a los segmentos total y anterior de las arcadas superior e inferior. MF = modelos físicos. Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

Tabla 11.
Estadísticos descriptivos del análisis de Bolton anterior y total y de la magnitud de la discrepancia en modelos físicos de yeso

Estadísticos	Bolton total MF	Bolton anterior MF	Magnitud de la discrepancia Bolton anterior en mm	Magnitud de la discrepancia Bolton total en mm
N validos	100	100	100	100
Media	91.6556	78.0964	-0.3940	-1.2180
Desv. Típ	3.88799	4.42411	2.32986	3.45451
Mínimo	83.59	67.42	-5.00	-7.50
Máximo	98.33	86.90	4.10	5.30

Nota. MF = modelos físicos. Los valores del análisis de Bolton anterior y total se expresan en porcentaje (%), mientras que la magnitud de la discrepancia se expresa en milímetros (mm).

Los resultados del análisis de Bolton obtenidos a partir de los modelos físicos de yeso muestran que el índice de Bolton total presentó una media de 91.66 % (DE = 3.89), mientras que el índice de Bolton anterior registró una media de 78.10 % (DE = 4.42). Estos valores se encuentran próximos a los estándares establecidos originalmente por Bolton (1958), quien reportó valores de referencia de 91.3 % para la relación total y 77.2 % para la relación anterior. En términos descriptivos, la media obtenida para el Bolton total se situó 0.36 puntos porcentuales por encima del valor de referencia, mientras que la correspondiente al Bolton anterior fue 0.90 puntos porcentuales superior.

En relación con la magnitud de las discrepancias, se observó una media de −0.39 mm (DE = 2.33) para la discrepancia de Bolton anterior y de −1.22 mm (DE = 3.45) para la discrepancia de Bolton total. Los valores negativos observados en las medias reflejan la dirección de las discrepancias obtenidas según el procedimiento de cálculo empleado en el estudio, mientras que las desviaciones estándar muestran la variabilidad existente entre los modelos analizados.

Los valores mínimos y máximos permitieron apreciar con mayor amplitud esta variabilidad. En la discrepancia de Bolton anterior se registraron valores comprendidos entre −5.00 mm y 4.10 mm, mientras que para la discrepancia total los valores oscilaron entre −7.50 mm y 5.30 mm. De igual manera, el Bolton anterior presentó valores entre 67.42 % y 86.90 %, mientras que el Bolton total osciló entre 83.59 % y 98.33 %. Estos resultados evidencian que, aunque las medias generales se encontraron próximas a los valores de referencia establecidos por Bolton, existió variabilidad entre los modelos de estudio evaluados.

Los resultados obtenidos guardan relación con los fundamentos establecidos por Bolton (1958), quien propuso el análisis de discrepancia de tamaño dentario a partir de la relación entre las sumatorias de los diámetros mesiodistales de los dientes mandibulares y maxilares. En la presente investigación, la media del Bolton total obtenida mediante modelos físicos fue de 91.66 %, próxima al valor de referencia de 91.3 %, mientras que la media del Bolton anterior fue de 78.10 %, ligeramente superior al valor de referencia de 77.2 %.

Asimismo, los hallazgos pueden relacionarse con investigaciones que han documentado variaciones en las proporciones dentarias entre diferentes muestras ortodóncicas. Othman y Harradine (2006), Araujo y Souki (2003) y Endo et al. (2008) analizaron discrepancias de tamaño dentario mediante las proporciones de Bolton, mostrando que estas pueden presentar variaciones entre los individuos y las poblaciones estudiadas. Estos antecedentes permiten contextualizar la variabilidad observada en los valores del Bolton anterior y total obtenidos mediante los modelos físicos de yeso en la presente investigación.

De manera complementaria, Brandão et al. (2015) calcularon las proporciones anterior y total del análisis de Bolton a partir de mediciones mesiodistales realizadas sobre modelos de yeso y modelos virtuales tridimensionales. En dicho estudio, la comparación de las proporciones obtenidas mediante ambos métodos no mostró diferencias estadísticamente significativas para las relaciones anterior y total. Este antecedente resulta relevante para la presente investigación, debido a que las proporciones calculadas a partir de los modelos físicos constituyen posteriormente la base para su comparación con las obtenidas mediante los modelos digitales.

Tabla 12.
Suma dentarias obtenidas mediante modelos Digitales

Estadísticos	Suma total inferior MD	Suma anterior inferior MD	Suma total superior MD	Suma anterior superior MD
N validos	100	100	100	100
Media	85.5401	35.4617	93.0997	45.3565
Desv. Típ	3.71062	1.70364	3.32649	2.01515
Mínimo	76.38	30.38	85.65	41.42
Máximo	92.54	37.72	103.40	50.66

Nota. MD = Modelos Digitales. Las sumatorias dentarias se expresan en milímetros (mm). Fuente propia a partir de la base de datos del estudio.

Los resultados obtenidos a partir de las sumatorias dentarias calculadas en los modelos digitales muestran que la suma total de los diámetros mesiodistales de la arcada superior presentó una media de 93.10 mm (DE = 3.33), mientras que la suma total de la arcada inferior registró una media de 85.54 mm (DE = 3.71). Por su parte, la suma anterior superior alcanzó una media de 45.36 mm (DE = 2.02) y la suma anterior inferior una media de 35.46 mm (DE = 1.70). Estos resultados describen las dimensiones acumuladas de los segmentos total y anterior de ambas arcadas obtenidas mediante las mediciones realizadas en los modelos digitales.

En cuanto a la dispersión de los datos, las desviaciones estándar fueron relativamente bajas respecto a las medias registradas. La suma total superior presentó valores comprendidos entre 85.65 mm y 103.40 mm, mientras que la suma anterior superior osciló entre 41.42 mm y 50.66 mm. En la arcada inferior, la suma total presentó valores entre 76.38 mm y 92.54 mm, y la suma anterior entre 30.38 mm y 37.72 mm. Estos resultados evidencian la variabilidad existente entre los modelos de estudio analizados mediante el método digital.

De manera descriptiva, las sumatorias obtenidas mediante los modelos digitales mostraron valores próximos a los registrados mediante los modelos físicos de yeso. La suma total superior presentó una media de 93.10 mm en los modelos digitales y 93.08 mm en los modelos

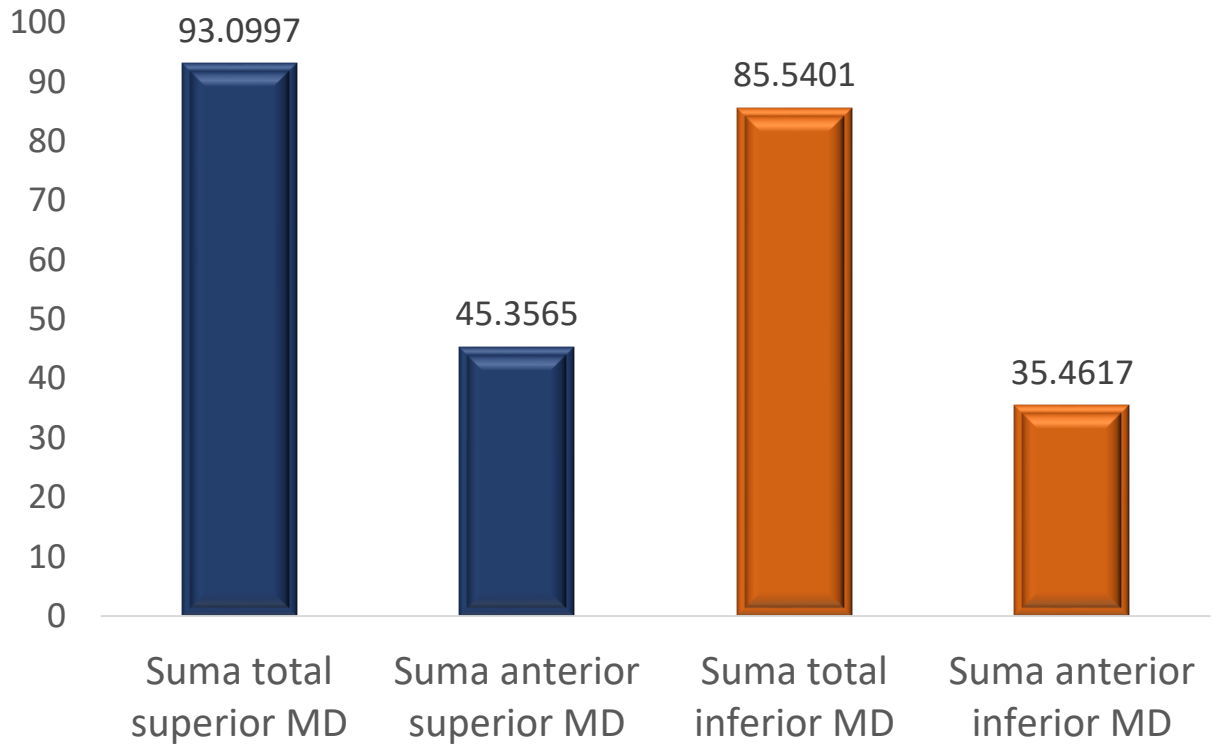
físicos; la suma anterior superior, 45.36 mm y 45.29 mm; la suma total inferior, 85.54 mm y 85.26 mm; y la suma anterior inferior, 35.46 mm y 35.31 mm, respectivamente. Estas diferencias descriptivas fueron pequeñas; sin embargo, su significancia estadística y el grado de concordancia entre ambos métodos serán determinados posteriormente mediante las pruebas correspondientes al tercer objetivo específico.

Los resultados pueden relacionarse con Brandão et al. (2015), quienes realizaron mediciones de los diámetros mesiodistales dentarios en modelos convencionales de yeso y modelos virtuales tridimensionales y utilizaron dichas mediciones para el cálculo de las proporciones anterior y total del análisis de Bolton. Este procedimiento guarda relación con la presente investigación, en la que las sumatorias de las dimensiones mesiodistales obtenidas mediante los modelos digitales constituyeron la base para el cálculo posterior del análisis de Bolton anterior y total.

Asimismo, Restrepo et al. (2015) compararon mediciones obtenidas mediante modelos de yeso y modelos digitales y reportaron una excelente reproducibilidad intra e interexaminador, con diferencias entre ambos métodos consideradas clínicamente irrelevantes. Estos antecedentes permiten contextualizar la proximidad descriptiva observada entre las sumatorias obtenidas mediante los modelos físicos y digitales en la presente investigación, cuya concordancia será evaluada posteriormente mediante los análisis estadísticos establecidos.

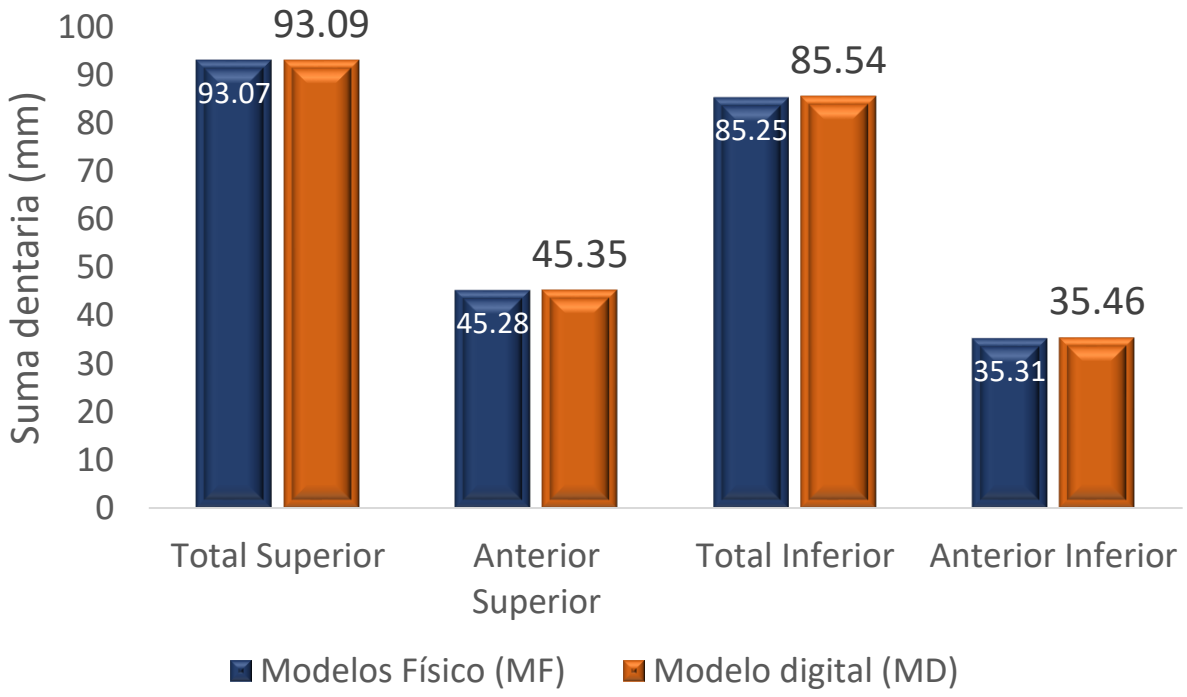
Figura 18.

Sumatorias dentarias obtenidas mediante modelos digitales.



Nota. Se representan las medias de las sumatorias dentarias correspondientes a los segmentos total y anterior de las arcadas superior e inferior. MD = modelos digitales. Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

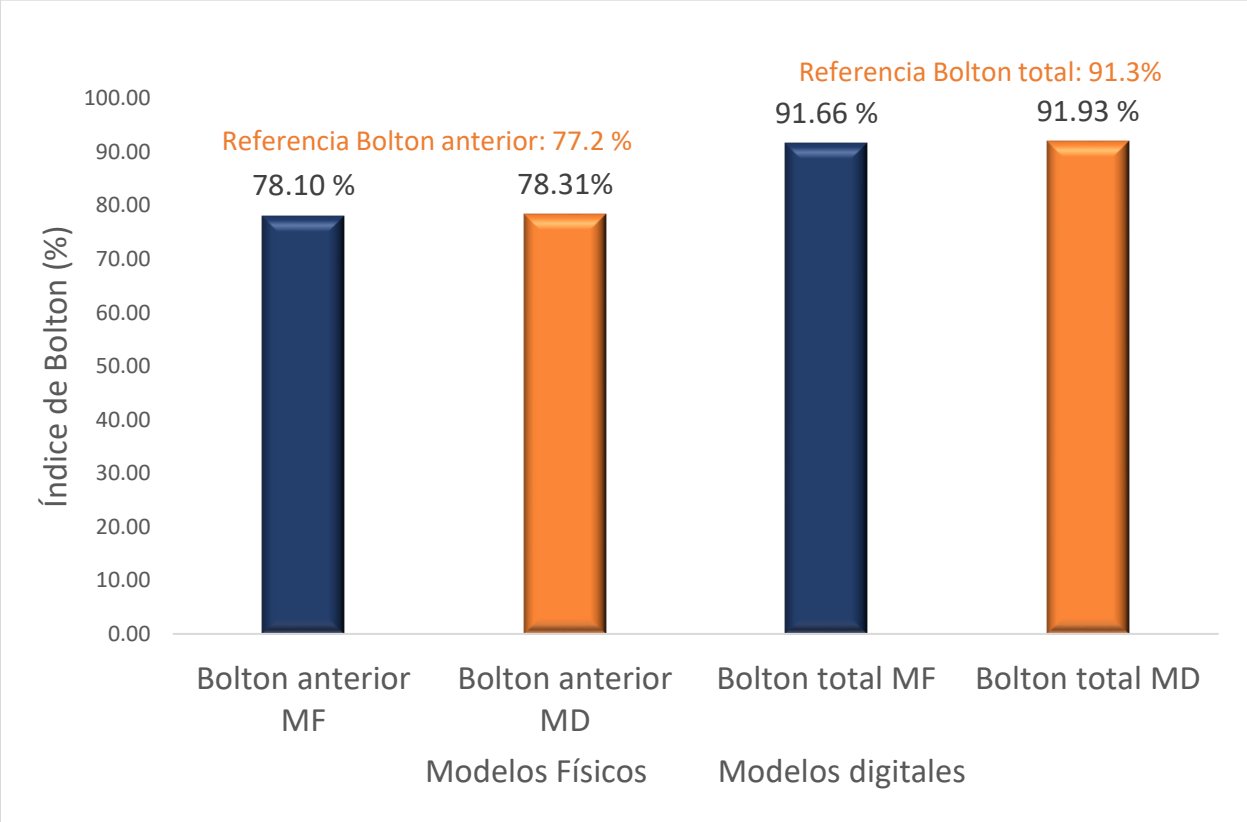
Figura 19.
Comparación descriptiva de las medias de las sumatorias dentarias obtenidas mediante



Nota. Se representan las medias de las sumatorias dentarias correspondientes a los segmentos total y anterior de las arcadas superior e inferior obtenidas mediante modelos físicos de yeso (MF) y modelos digitales (MD). Los valores se expresan en milímetros (mm). Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

Figura 20.

Comparacion de los índices de Bolton anterior y total entre modelos físicos y digitales.



Nota. Se presentan los valores promedio del índice de Bolton anterior y total obtenidos mediante modelos físicos (MF) y modelos digitales (MD). Como referencia se utilizaron los valores establecidos por Bolton (1958): 77.2 % para la relación anterior y 91.3 % para la relación total. Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la investigación.

A partir de las sumatorias dentarias se calcularon los índices de Bolton anterior y total para ambos métodos. En el Bolton anterior obtuvimos 78.10 % en los modelos físicos y 78.31 % en los digitales, mientras que para el Bolton total obtuvimos 91.66 % y 91.93 %, respectivamente.

Como podemos observar, descriptivamente los valores obtenidos mediante ambos métodos fueron muy próximos. Al compararlos con los valores de referencia establecidos por Bolton, de 77.2 % para la relación anterior y 91.3 % para la relación total, las medias obtenidas en nuestra muestra fueron ligeramente superiores a estos valores de referencia.

La diferencia entre ambos métodos fue de aproximadamente 0.21 puntos porcentuales para Bolton anterior y 0.28 puntos porcentuales para Bolton total, lo que muestra que, a nivel de las medias, las variaciones entre ambos procedimientos fueron pequeñas.

Estos resultados siguen la tendencia descrita en la literatura. Brandão et al. reportaron concordancia satisfactoria entre modelos físicos y digitales para el análisis de Bolton; Naidu y Freer encontraron diferencias estadísticas consideradas clínicamente insignificantes, con excelente confiabilidad y reproducibilidad; y Al Jabri et al. reportaron resultados comparables entre los procedimientos digitales y convencionales.

Tabla 13.
Estadísticos descriptivos del análisis de Bolton anterior y total y de la magnitud de la discrepancia en modelos digitales

Estadísticos	Bolton anterior MD	Bolton total MD	Magnitud de la discrepancia Bolton anterior en mm	Magnitud de la discrepancia Bolton total en mm
N validos	100	100	100	100
Media	78.3057	91.9320	-.2626	.1170
Desv. Típ	4.59531	3.84794	2.40089	3.77483
Mínimo	66.67	84.84	-6.00	-6.88
Máximo	86.11	98.25	3.69	6.48

Nota. MD = modelos digitales. Los valores del análisis de Bolton anterior y total se expresan en porcentaje (%), mientras que la magnitud de la discrepancia se expresa en milímetros (mm).

Los resultados obtenidos a partir de los modelos digitales muestran que el índice de Bolton anterior presentó una media de 78.31 % (DE = 4.60), mientras que el índice de Bolton total registró una media de 91.93 % (DE = 3.85). Estos valores se aproximan a los valores de referencia establecidos por Bolton (1958), correspondientes a 77.2 % para la relación anterior y 91.3 % para la relación total. En términos descriptivos, la media del Bolton anterior se situó 1.11 puntos porcentuales por encima del valor de referencia, mientras que la media del Bolton total fue 0.63 puntos porcentuales superior.

Respecto a la magnitud de las discrepancias dentarias calculadas mediante los modelos digitales, se obtuvo una media de −0.26 mm (DE = 2.40) para la discrepancia de Bolton anterior y de 0.12 mm (DE = 3.77) para la discrepancia de Bolton total. Estos valores describen la magnitud promedio y la dirección de las discrepancias obtenidas mediante el método digital, mientras que las desviaciones estándar evidencian la variabilidad existente entre los modelos de estudio analizados.

Los valores mínimos y máximos permitieron apreciar con mayor amplitud esta variabilidad. En la discrepancia de Bolton anterior se registraron valores comprendidos entre −6.00 mm y 3.69 mm, mientras que para la discrepancia total los valores oscilaron entre −6.88 mm y 6.48 mm. Asimismo, el Bolton anterior presentó valores entre 66.67 % y 86.11 %, mientras que el Bolton total osciló entre 84.84 % y 98.25 %. Estos resultados muestran que, aunque las medias generales se encontraron próximas a los valores de referencia establecidos por Bolton, existió variabilidad entre los modelos de estudio evaluados.

De manera descriptiva, los valores obtenidos mediante los modelos digitales fueron próximos a los registrados mediante los modelos físicos de yeso. El Bolton anterior presentó una media de 78.31 % en los modelos digitales y 78.10 % en los modelos físicos, con una diferencia aproximada de 0.21 puntos porcentuales. Por su parte, el Bolton total presentó medias de 91.93 % y 91.66 %, respectivamente, con una diferencia aproximada de 0.28 puntos porcentuales. Esta proximidad constituye un hallazgo descriptivo y no permite por sí sola establecer equivalencia o concordancia entre los métodos; la existencia de diferencias estadísticamente significativas y el grado de concordancia y acuerdo fueron evaluados posteriormente mediante las pruebas estadísticas correspondientes.

Estos resultados pueden contextualizarse con la revisión sistemática realizada por Aragón et al. (2016), en la que participaron Bichara y Flores-Mir, quienes analizaron la validez y confiabilidad de mediciones ortodóncicas obtenidas mediante modelos digitales en comparación con modelos convencionales de yeso. Entre los estudios incluidos en la revisión se evaluaron parámetros relacionados con los anchos dentarios y las relaciones de Bolton. En conjunto, la revisión aportó evidencia favorable respecto a la validez y confiabilidad de diferentes mediciones realizadas mediante modelos digitales, aunque los autores señalaron variabilidad metodológica

entre los sistemas y procedimientos analizados. Este antecedente resulta pertinente para la presente investigación, debido a que el cálculo de las relaciones de Bolton depende directamente de la obtención de las dimensiones mesiodistales dentarias.

Los resultados también pueden relacionarse con los hallazgos de Brandão et al. (2015), quienes calcularon las proporciones anterior y total del análisis de Bolton a partir de mediciones realizadas en modelos convencionales de yeso y modelos virtuales tridimensionales. Los autores no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos para las relaciones anterior y total. Aunque este comportamiento difiere de los resultados inferenciales obtenidos posteriormente en la presente investigación, donde se identificaron diferencias estadísticamente significativas, ambos estudios permiten valorar el comportamiento de las relaciones de Bolton obtenidas mediante procedimientos físicos y digitales.

Asimismo, Restrepo et al. (2015) compararon mediciones obtenidas mediante modelos digitales y modelos de yeso y reportaron una elevada reproducibilidad de las mediciones evaluadas. Estos antecedentes aportan evidencia sobre el comportamiento de las mediciones digitales frente a las convencionales. No obstante, en la presente investigación la existencia de diferencias entre los métodos y su grado de concordancia y acuerdo fueron evaluados específicamente mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, el Coeficiente de Correlación Intraclase y el análisis de Bland–Altman, cuyos resultados se presentan posteriormente.

10.3 Resultados y discusión correspondientes al objetivo específico 3

Con el propósito de evaluar la concordancia diagnóstica entre los modelos físicos de yeso y los modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, se realizaron análisis estadísticos orientados a determinar las diferencias, la concordancia y el grado de acuerdo existente entre ambos métodos de medición. Inicialmente, se verificó el comportamiento de la distribución de las diferencias mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con el fin de seleccionar las pruebas estadísticas más adecuadas para la comparación de los datos.

Posteriormente, se compararon las mediciones obtenidas mediante ambos métodos utilizando pruebas para muestras relacionadas, evaluando las diferencias existentes en las

mediciones y en los valores del análisis de Bolton anterior y total. Debido al comportamiento de la distribución de las diferencias, se aplicó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los métodos. Asimismo, la concordancia fue evaluada mediante el coeficiente de correlación intraclase (ICC), mientras que el análisis de Bland-Altman permitió valorar el acuerdo entre las mediciones obtenidas mediante los modelos físicos y digitales.

La aplicación conjunta de estas pruebas permitió analizar diferentes componentes de la comparación entre ambos métodos, considerando la existencia de diferencias estadísticamente significativas, el grado de concordancia y el acuerdo entre las mediciones. Estos resultados constituyen la base estadística para determinar el comportamiento de los modelos digitales respecto al método físico de referencia, mientras que su interpretación desde el punto de vista clínico será abordada posteriormente en correspondencia con el cuarto objetivo específico.

Hipótesis nula (H_o):

Las diferencias entre las mediciones del índice de Bolton anterior obtenidas mediante modelos físicos y modelos digitales siguen una distribución normal.

Hipótesis alternativa (H_1):

Las diferencias entre las mediciones del índice de Bolton anterior obtenidas mediante modelos físicos y modelos digitales no siguen una distribución normal.

Tabla 14.

Pruebas de normalidad de la diferencia del análisis de Bolton anterior entre modelos físicos y modelos digitales

Variable analizada	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia_Bolton_Anterior	.218	100	.000	.777	100	.000

A. Corrección de la significación de Lilliefors.

Nota. Se presenta la prueba de normalidad aplicada a las diferencias entre los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales. Se consideró un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

La normalidad de las diferencias entre los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales fue evaluada mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Los resultados mostraron que las diferencias no siguieron una distribución normal ($W = 0.777$; $p < 0.001$), debido a que el valor de significancia fue inferior al nivel establecido ($\alpha = 0.05$). Por tanto, se rechazó la hipótesis nula de normalidad y se aceptó la hipótesis alternativa, concluyéndose que las diferencias entre los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante ambos métodos no presentan una distribución normal.

Debido al incumplimiento del supuesto de normalidad, se determinó la utilización de una prueba no paramétrica para muestras relacionadas. En consecuencia, se aplicó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para comparar los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales.

Hipótesis nula (H_0):

La mediana de las diferencias entre los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante modelos físicos de yeso (MF) y modelos digitales (MD) es igual a cero; por tanto, no existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos de medición.

Hipótesis alternativa (H_1):

La mediana de las diferencias entre los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante modelos físicos de yeso (MF) y modelos digitales (MD) es diferente de cero; por tanto, existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos de medición.

Figura 21.
Resultado de la prueba de Wilcoxon para el índice de Bolton anterior entre los modelos físicos y digitales.

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Boltón_anterior_MF y Boltón_anterior_MD es igual a 0.	Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo de muestras relacionadas	.001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es .05.

Nota. Se presenta el resultado de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para la comparación del índice de Bolton anterior entre modelos físicos y digitales. Se obtuvo una significancia de p = 0.001, por lo que se rechazó la hipótesis nula, evidenciándose una diferencia estadísticamente significativa entre ambos métodos de medición. Fuente propia a partir del análisis estadístico realizado en SPSS.

La prueba de rangos con signo de Wilcoxon evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales ($p = 0.001$), valor inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). En consecuencia, se rechazó la hipótesis nula (H_0) y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1), determinándose que la mediana de las diferencias entre ambos métodos es diferente de cero.

Al considerar los resultados descriptivos previamente obtenidos, el índice de Bolton anterior presentó una media de 78.10 % en los modelos físicos y de 78.31 % en los modelos digitales, lo que representa una diferencia aproximada de 0.21 puntos porcentuales entre las medias. De esta manera, aunque la prueba de Wilcoxon identificó una diferencia estadísticamente significativa, la magnitud descriptiva de la diferencia observada entre las medias fue pequeña. Este resultado evidencia la necesidad de complementar la comparación

estadística con pruebas específicas de concordancia y acuerdo antes de establecer la correspondencia entre ambos métodos.

Los resultados pueden relacionarse con lo reportado por Kim et al. (2014), quienes compararon mediciones realizadas mediante modelos físicos y digitales y evaluaron la exactitud y confiabilidad de las mediciones obtenidas mediante ambos métodos. De manera similar, Brandão et al. (2015) compararon las mediciones dentarias y las proporciones de Bolton obtenidas mediante modelos convencionales de yeso y modelos virtuales tridimensionales. Estos antecedentes permiten contextualizar las diferencias encontradas en la presente investigación y resaltan la importancia de valorar no solamente la significancia estadística, sino también el comportamiento de las mediciones obtenidas mediante ambos métodos.

Hipótesis nula (H_0):

Las diferencias entre las mediciones del índice de Bolton total obtenidas mediante modelos físicos y modelos digitales siguen una distribución normal.

Hipótesis alternativa (H_1):

Las diferencias entre las mediciones del índice de Bolton total obtenidas mediante modelos físicos y modelos digitales no siguen una distribución normal.

Tabla 15.
Pruebas de normalidad de la diferencia del análisis de Bolton total entre modelos físicos y modelos digitales

Variable analizada	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Diferencia_Bolton_Total	.172	100	.000	.806	100	.000

A. Corrección de la significación de Lilliefors

Nota. Se presenta la prueba de normalidad aplicada a las diferencias entre los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales. Se consideró un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

La prueba de Shapiro-Wilk aplicada a las diferencias entre los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales mostró un estadístico de $W = 0.806$ y un valor de significancia de $p < 0.001$, inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$). Por tanto, se rechazó la hipótesis nula (H_o) de normalidad y se aceptó la hipótesis alternativa (H_1), determinándose que las diferencias entre los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante ambos métodos no presentan una distribución normal.

Debido al incumplimiento del supuesto de normalidad, se determinó la utilización de una prueba no paramétrica para muestras relacionadas. En consecuencia, se aplicó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales.

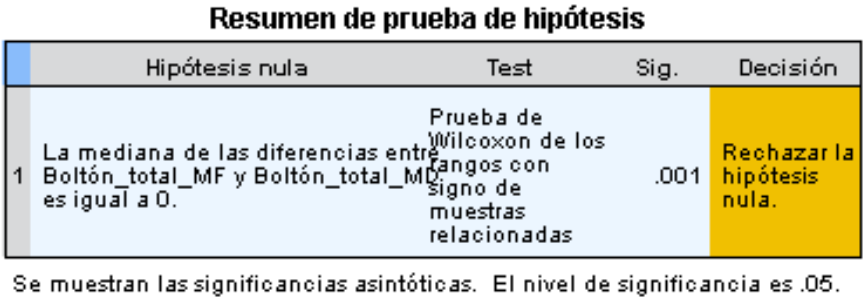
Hipótesis nula (H_o):

La mediana de las diferencias entre las mediciones del índice de Bolton total obtenidas mediante modelos físicos (MF) y modelos digitales (MD) es igual a cero; por tanto, no existen diferencias significativas entre ambos métodos de medición.

Hipótesis alternativa (H_1):

La mediana de las diferencias entre las mediciones del índice de Bolton total obtenidas mediante modelos físicos (MF) y modelos digitales (MD) es diferente de cero; por tanto, existen diferencias significativas entre ambos métodos de medición.

Figura 22.
Resultado de la prueba de Wilcoxon para el índice de Bolton total entre los modelos físicos y digitales.



Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre Boltón_total_MF y Boltón_total_MD es igual a 0.	Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo de muestras relacionadas	.001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es .05.

Nota. La prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas comparó los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante modelos físicos de yeso (MF) y modelos digitales (MD). Se consideró un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Fuente elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

Debido a que la variable Diferencia_Bolton_Total no presentó una distribución normal (Shapiro-Wilk = 0.806; $p < 0.001$), se aplicó la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para comparar las mediciones obtenidas mediante modelos físicos y modelos digitales. Los resultados mostraron un valor de significancia de $p = 0.001$, inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), por lo que se rechazó la hipótesis nula.

En consecuencia, se concluye que existen diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones del índice de Bolton total obtenidas mediante ambos métodos. Con el propósito de evaluar el grado de concordancia y confiabilidad entre las mediciones obtenidas mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales generados con el escáner intraoral Medit i600, se calculó el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) utilizando un modelo de efectos mixtos de dos factores con definición de acuerdo absoluto. Este estadístico permite determinar el nivel de acuerdo existente entre dos métodos de medición aplicados sobre las mismas unidades de análisis y constituye uno de los indicadores más utilizados para evaluar la validez y reproducibilidad de procedimientos diagnósticos en ortodoncia.

Tabla 16.
Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) Bolton anterior

Tipo de medidas	Correlación intraclase[b]	Intervalo de confianza 95%		Prueba F con valor verdadero 0			
		Límite inferior	Límite superior	Valor	gl1	gl2	Sig.
Medidas individuales	.876[a]	.822	.915	15.162	99	99	.000
Medidas promedio	.934[c]	.902	.956	15.162	99	99	.000

Nota. ICC = Coeficiente de Correlación Intraclase. El ICC para medidas individuales fue de 0.876 (IC 95 %: 0.822–0.915), indicando buena concordancia, mientras que el ICC para medidas promedio fue de 0.934 (IC 95 %: 0.902–0.956), indicando excelente concordancia entre los modelos físicos y digitales para el índice de Bolton anterior.

Como se observa en la Tabla 16, el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) aplicado a los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales mostró un ICC de 0.876 para las medidas individuales, con un intervalo de confianza del 95 % entre 0.822 y 0.915. De acuerdo con los criterios de interpretación propuestos por Koo y Li (2016), este resultado corresponde a un nivel de concordancia bueno entre ambos métodos.

Para las medidas promedio se obtuvo un ICC de 0.934 (IC 95 %: 0.902–0.956), correspondiente a un nivel de concordancia excelente. La prueba asociada al coeficiente presentó significancia estadística ($F = 15.162$; $gl1 = 99$; $gl2 = 99$; $p < 0.001$), respaldando la concordancia observada entre los valores del índice de Bolton anterior obtenidos mediante ambos métodos.

Al relacionar estos resultados con la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, que mostró diferencias estadísticamente significativas entre los modelos físicos y digitales ($p = 0.001$), se evidencia que ambas pruebas aportan información complementaria. Mientras Wilcoxon permite determinar la existencia de diferencias entre mediciones relacionadas, el ICC cuantifica el grado de concordancia entre ellas. En este caso, a pesar de la diferencia estadísticamente significativa

identificada mediante Wilcoxon, el ICC mostró una buena concordancia para las medidas individuales (ICC = 0.876) y una concordancia excelente para las medidas promedio (ICC = 0.934).

Estos hallazgos guardan relación con la revisión sistemática de Aragón et al. (2016), quienes reportaron niveles adecuados de validez y confiabilidad de los modelos digitales en comparación con los modelos convencionales de yeso para mediciones utilizadas en ortodoncia. Asimismo, Kim et al. (2014), Brandão et al. (2015) y Restrepo et al. (2015) reportaron resultados favorables respecto a la confiabilidad y reproducibilidad de las mediciones obtenidas mediante modelos digitales en comparación con los modelos físicos, lo que permite contextualizar la concordancia observada en la presente investigación.

Tabla 17.

Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) Bolton total

Tipo de medidas	**Correlación intraclase[b]**	**Intervalo de confianza 95%**		**Prueba F con valor verdadero 0**			
		Límite inferior	**Límite superior**	**Valor**	**gl1**	**gl2**	**Sig.**
Medidas individuales	.915[a]	.876	.942	22.988	99	99	.000
Medidas promedio	.956[c]	.934	.970	28.988	99	99	.000

Modelo de efectos mixtos de dos factores en el que los efectos de las personas son aleatorios y los efectos de las medidas son fijos.

a. El estimador es el mismo, ya esté presente o no el efecto de interacción.

b. Coeficientes de correlación intraclase de tipo A utilizando una definición de acuerdo absoluto.

c. Esta estimación se calcula asumiendo que no está presente el efecto de interacción, ya que de otra manera no es estimable.

Para determinar el grado de concordancia entre los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales, se calculó el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) utilizando un modelo de efectos mixtos de dos factores con definición de acuerdo absoluto. Los resultados evidenciaron un ICC de 0.915 para las medidas individuales, con un intervalo de confianza del 95 % de 0.876 a 0.942, mientras que para las medidas promedio se obtuvo un ICC de 0.956, con un intervalo de confianza del 95 % de 0.934 a 0.970.

De acuerdo con los criterios de interpretación de Koo y Li (2016), el ICC de 0.915 correspondiente a las medidas individuales indica una concordancia excelente entre ambos métodos. Asimismo, el ICC de 0.956 obtenido para las medidas promedio corresponde igualmente a una concordancia excelente. Estos resultados evidencian un elevado grado de concordancia entre los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales.

Los resultados del ICC deben interpretarse juntamente con los obtenidos mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, la cual evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante modelos físicos y digitales ($p = 0.001$). Mientras Wilcoxon determina la existencia de diferencias entre mediciones relacionadas, el ICC permite cuantificar el grado de concordancia entre ellas, por lo que ambas pruebas proporcionan información complementaria para la comparación de los métodos evaluados.

Los hallazgos podrán contrastarse con los antecedentes de Aragón et al. (2016), Kim et al. (2014), Brandão et al. (2015) y Restrepo et al. (2015), quienes evaluaron la confiabilidad, reproducibilidad o concordancia de mediciones obtenidas mediante modelos digitales y convencionales en ortodoncia.

Tabla 18.

Comparacion del Coeficiente de Correlación *Intraclase de los* Índices *de Bolton anterior y total entre modelos físicos y digitales.*

Análisis de Bolton	ICC (medidas individuales)	IC95%	Valor P	Interpretación
Bolton anterior	0.876	0.822 – 0.915	< 0.001	Buena concordancia
Bolton total	0.915	0.876 – 0.942	< 0.001	Excelente concordancia

Nota. ICC = coeficiente de correlación intraclase; IC = intervalo de confianza. Se presentan los valores correspondientes a las medidas individuales, calculados mediante un modelo de efectos mixtos de dos factores con definición de acuerdo absoluto. La interpretación se realizó según los criterios de Koo y Li (2016). Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

En conjunto, los resultados del Coeficiente de Correlación Intraclase evidenciaron un elevado grado de concordancia entre los valores del análisis de Bolton obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales. Para el índice de Bolton anterior, el ICC correspondiente a las medidas individuales fue de 0.876 (IC 95 %: 0.822–0.915; $p < 0.001$), lo que representa una buena concordancia. Por su parte, el índice de Bolton total presentó un ICC de 0.915 (IC 95 %: 0.876–0.942; $p < 0.001$), correspondiente a una concordancia excelente, según los criterios de interpretación de Koo y Li (2016).

Los resultados correspondientes a las medidas promedio mostraron igualmente valores elevados, con un ICC de 0.934 (IC 95 %: 0.902–0.956) para el índice de Bolton anterior y de 0.956 (IC 95 %: 0.934–0.970) para el índice de Bolton total, ambos correspondientes a un nivel excelente. En términos comparativos, el índice de Bolton total presentó valores de concordancia ligeramente superiores a los observados para el índice anterior.

Al integrar estos hallazgos con los resultados obtenidos mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, se observa que, aunque se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos mediante modelos físicos y digitales tanto para el índice de Bolton anterior como para el total ($p = 0.001$ en ambos análisis), los coeficientes de correlación intraclase mostraron niveles de concordancia de buenos a excelentes. Estos resultados no son contradictorios, debido a que ambas pruebas evalúan propiedades estadísticas diferentes: Wilcoxon permite determinar si existe una diferencia sistemática entre mediciones relacionadas,

mientras que el ICC cuantifica el grado de concordancia entre los valores obtenidos mediante los dos métodos.

Los hallazgos guardan relación con la revisión sistemática realizada por Aragón et al. (2016), en la cual se evaluó la validez y confiabilidad de modelos digitales en comparación con modelos convencionales de yeso para mediciones ortodóncicas. Asimismo, Kim et al. (2014) analizaron la exactitud y confiabilidad de las mediciones obtenidas mediante modelos digitales, mientras que Brandão et al. (2015) compararon mediciones dentarias y proporciones de Bolton obtenidas mediante modelos digitales y convencionales. De igual manera, Restrepo et al. (2015) reportaron una elevada reproducibilidad de las mediciones realizadas sobre modelos digitales y modelos de yeso. En este contexto, los niveles de concordancia encontrados en la presente investigación se encuentran en correspondencia con la evidencia que respalda la confiabilidad de las mediciones obtenidas mediante métodos digitales en ortodoncia.

En cuanto al software empleado para el análisis digital, Santana et al. (2025) evaluaron el desempeño diagnóstico de ClinCheck, Dolphin Imaging y 3D Slicer para el análisis de la discrepancia de Bolton. En dicha investigación, los archivos STL fueron analizados mediante Dolphin Imaging y 3D Slicer siguiendo la misma metodología de medición de Bolton. Los autores reportaron valores adecuados de concordancia para los métodos evaluados y encontraron que, para el análisis de Bolton anterior, ClinCheck y Dolphin Imaging cumplieron con los criterios de exactitud establecidos en su investigación.

En cuanto al software empleado para el análisis digital, Santana et al. (2025) evaluaron el desempeño diagnóstico de ClinCheck, Dolphin Imaging y 3D Slicer para el análisis de la discrepancia de Bolton. En dicha investigación, los archivos STL fueron analizados mediante Dolphin Imaging y 3D Slicer siguiendo la metodología de medición de Bolton. Los autores reportaron resultados favorables de confiabilidad para los métodos digitales evaluados y encontraron que, para el análisis de Bolton anterior, ClinCheck y Dolphin Imaging cumplieron con los criterios de exactitud establecidos en su investigación. Este antecedente resulta particularmente relevante para el presente estudio, debido a que proporciona respaldo científico específico para la utilización de Dolphin en la obtención de las mediciones requeridas para el análisis de Bolton.

En la presente investigación, Dolphin 3D Study Models fue seleccionado debido a que contaba con las herramientas necesarias para la delimitación de las piezas dentarias, la identificación y ajuste de los puntos de referencia mesial y distal, la obtención de las dimensiones mesiodistales y el cálculo de las relaciones de Bolton anterior y total, además de encontrarse disponible dentro del flujo de trabajo establecido para la investigación. Se reconoce que existen otras alternativas para el análisis de modelos digitales, incluyendo programas de acceso libre como 3D Slicer; sin embargo, la disponibilidad gratuita de un software no constituye por sí misma un criterio de mayor exactitud o confiabilidad. La selección de Dolphin tampoco implica superioridad respecto a otros programas, debido a que la comparación entre softwares no constituyó un objetivo de esta investigación. Por consiguiente, los hallazgos obtenidos deben interpretarse específicamente dentro del flujo digital evaluado en el presente estudio, conformado por Medit i600 y Dolphin 3D Study Models, sin generalizarlos automáticamente a otras plataformas de análisis digital.

Tabla 19.

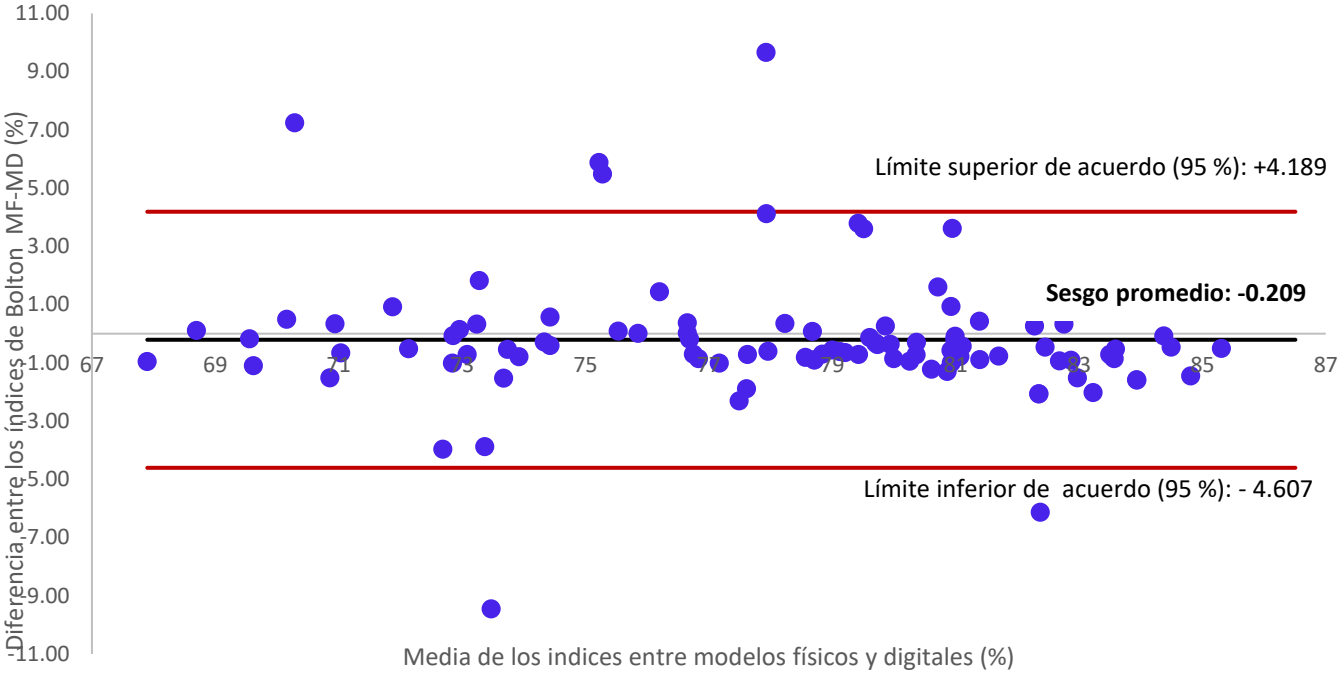
Análisis de acuerdo mediante el método de Bland- Altman para los índices de Bolton anterior y Bolton total

Estadísticos	Diferencia_Bolton_Anterior	Diferencia_Bolton_Total
N validos	100	100
Media	-.2092	-.2764
Desv. típ.	2.24394	1.57951

Nota. El sesgo corresponde a la media de las diferencias entre los valores del índice de Bolton obtenidos mediante modelos físicos y digitales (MF − MD). Fuente elaboración propia a partir de la base de datos.

El análisis de Bland-Altman mostró un sesgo promedio de -0.209 para el índice de Bolton anterior y de -0.276 para el índice de Bolton total. Estos valores cercanos a cero indican que no existe una tendencia sistemática importante de los modelos digitales a sobrestimar o subestimar las mediciones respecto a los modelos físicos.

Figura 23.
Análisis de Bland- Altman para el índice de Bolton anterior



Nota. La línea central representa el sesgo promedio entre los valores obtenidos mediante modelos físicos y digitales (MF − MD = −0.209). Las líneas superior e inferior representan los límites de acuerdo con el 95 % (+4.189 y −4.607, respectivamente), calculados como sesgo ± 1.96 desviaciones estándar. Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

El análisis de Bland-Altman para el índice de Bolton anterior mostró un sesgo promedio de −0.209, lo que evidencia una diferencia promedio pequeña entre los valores obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales. Debido a que las diferencias fueron calculadas como modelo físico menos modelo digital (MF − MD), el valor negativo del sesgo indica que, en promedio, los valores obtenidos mediante los modelos físicos fueron ligeramente inferiores a los registrados mediante los modelos digitales.

Los límites de acuerdo con el 95 % se establecieron entre −4.607 y 4.189, observándose que la mayoría de las diferencias entre ambos métodos se concentraron dentro de estos límites.

No obstante, se identificaron algunas observaciones fuera de dicho intervalo, lo que refleja la presencia de variabilidad individual en las diferencias entre las mediciones obtenidas mediante ambos procedimientos.

Estos resultados deben interpretarse juntamente con el Coeficiente de Correlación Intraclase, mediante el cual se obtuvo una buena concordancia para el índice de Bolton anterior (ICC = 0.876; IC 95 %: 0.822–0.915). De esta manera, ambos análisis proporcionan información complementaria: mientras el ICC cuantifica el grado de concordancia entre los valores obtenidos mediante los modelos físicos y digitales, el método de Bland-Altman permite determinar el sesgo promedio y la amplitud de los límites de acuerdo entre ambos métodos.

Tabla 20.

Sesgo promedio y límites de acuerdo del 95 % obtenidos mediante el análisis de Bland–Altman para los índices de Bolton anterior y total.

Variable	Sesgo promedio	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Bolton anterior	-0.209	-4.607	4.189
Bolton total	-0.276	-3.372	2.819

Nota. Los valores corresponden al análisis de Bland–Altman. El sesgo promedio representa la media de las diferencias entre los modelos físicos y digitales (MF − MD). Los límites de acuerdo del 95 % se calcularon como sesgo promedio ± 1.96 desviaciones estándar. Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio.

Los límites de acuerdo con el 95 % se establecieron entre −4.607 y 4.189 para el índice de Bolton anterior y entre −3.372 y 2.819 para el índice de Bolton total. Estos intervalos representan el rango dentro del cual se espera que se sitúe aproximadamente el 95 % de las diferencias entre los valores obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales, de acuerdo con el método de Bland-Altman. Los sesgos promedio fueron de −0.209 para el índice de Bolton anterior y −0.276 para el índice de Bolton total, evidenciando diferencias promedio pequeñas entre ambos métodos. Debido a que las diferencias fueron calculadas como modelo físico menos modelo digital (MF − MD), los valores negativos indican una ligera tendencia de los modelos físicos a registrar valores inferiores a los obtenidos mediante los modelos digitales.

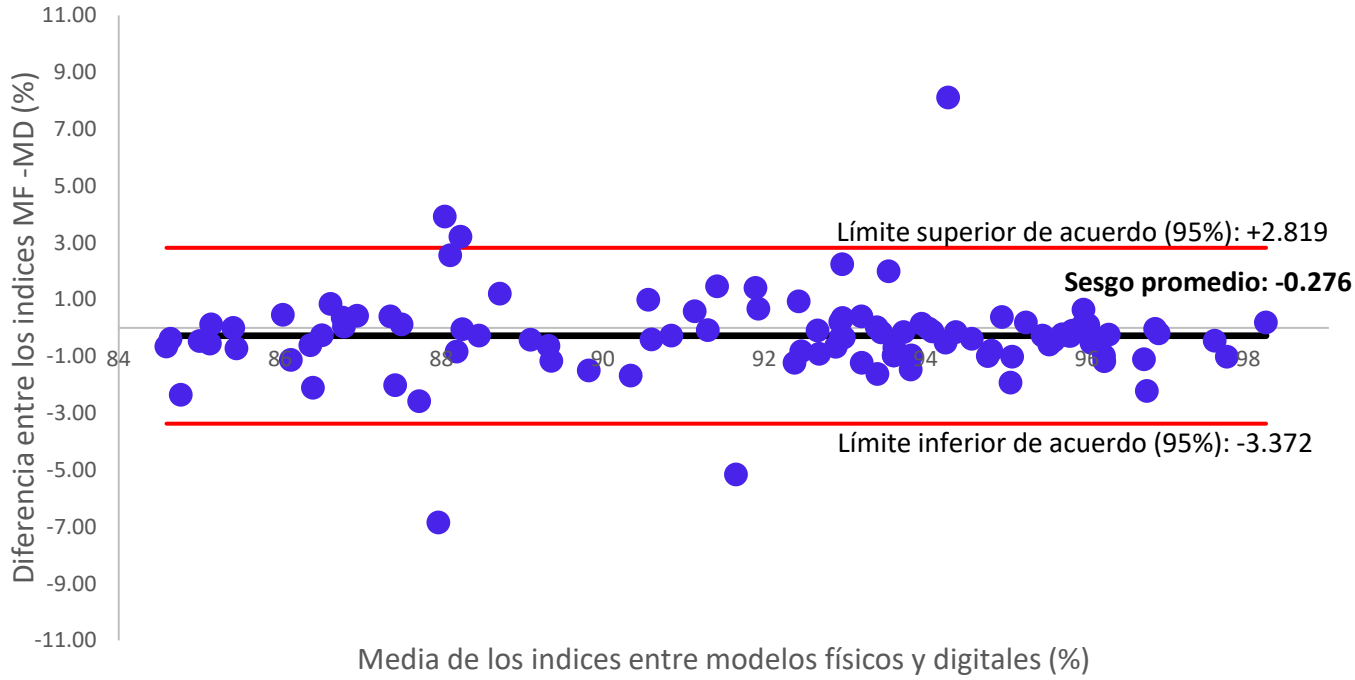
Al analizar estos resultados juntamente con el Coeficiente de Correlación Intraclase, se observó una buena concordancia para el índice de Bolton anterior, con un ICC de 0.876 (IC 95 %: 0.822–0.915), mientras que para el índice de Bolton total se obtuvo una concordancia excelente, con un ICC de 0.915 (IC 95 %: 0.876–0.942), considerando las medidas individuales. Estos resultados muestran que el ICC y el análisis de Bland-Altman aportan información complementaria en la evaluación de los métodos: el ICC cuantifica el grado de concordancia entre los valores obtenidos, mientras que Bland-Altman permite determinar el sesgo promedio y la amplitud de los límites de acuerdo.

Los hallazgos también deben considerarse juntamente con los resultados de la prueba de rangos con signo de Wilcoxon, mediante la cual se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre los modelos físicos y digitales ($p = 0.001$). La presencia de diferencias estadísticamente significativas junto con coeficientes de correlación intraclase elevados evidencia que las pruebas aplicadas evalúan aspectos distintos de la comparación entre métodos. Por esta razón, la valoración de la correspondencia entre los modelos físicos y digitales requiere integrar los resultados obtenidos mediante las pruebas de comparación, concordancia y acuerdo, en lugar de fundamentarse exclusivamente en la significancia estadística.

Estos hallazgos guardan relación con la revisión sistemática realizada por Aragón et al. (2016), quienes evaluaron la validez y confiabilidad de los modelos digitales en comparación con los modelos convencionales de yeso para la realización de mediciones ortodóncicas. Asimismo, Restrepo et al. (2015) reportaron resultados favorables respecto a la concordancia y reproducibilidad de las mediciones obtenidas mediante modelos digitales y modelos convencionales. Estos antecedentes permiten contextualizar los elevados coeficientes de concordancia y los reducidos sesgos promedio encontrados en la presente investigación.

Figura 24.

Análisis de Bland- Altman para el índice de Bolton total



Nota. La línea central representa el sesgo promedio entre los valores del índice de Bolton total obtenidos mediante modelos físicos y digitales (MF − MD = −0.276). Las líneas superior e inferior representan los límites de acuerdo con el 95 % (+2.819 y −3.372, respectivamente), calculados como sesgo ± 1.96 desviaciones estándar. Elaboración propia a partir de la base de datos del estudio

El análisis de Bland-Altman para el índice de Bolton total mostró un sesgo promedio de −0.276, evidenciando una diferencia promedio pequeña entre los valores obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales. Debido a que las diferencias fueron calculadas como modelo físico menos modelo digital (MF − MD), el valor negativo del sesgo indica que, en promedio, los valores obtenidos mediante los modelos físicos fueron ligeramente inferiores a los registrados mediante los modelos digitales.

Los límites de acuerdo con el 95 % se establecieron entre −3.372 y 2.819, observándose que la mayoría de las diferencias entre ambos métodos se concentraron dentro de estos límites. No obstante, se identificaron algunas observaciones fuera del intervalo de acuerdo, lo que refleja la presencia de variabilidad individual en las diferencias entre los valores obtenidos mediante ambos procedimientos.

Estos resultados complementan los obtenidos mediante el Coeficiente de Correlación Intraclase, que mostró una concordancia excelente para el índice de Bolton total (ICC = 0.915; IC 95 %: 0.876–0.942). En conjunto, ambos análisis proporcionan información complementaria sobre la comparación entre los métodos: mientras el ICC cuantifica el grado de concordancia entre los valores obtenidos mediante modelos físicos y digitales, el análisis de Bland-Altman permite determinar el sesgo promedio y la amplitud de los límites de acuerdo entre ambos procedimientos.

El análisis de Bland–Altman mostró que la mayoría de las observaciones se encontraron dentro de los límites de acuerdo; sin embargo, se identificaron seis casos fuera de dichos límites para el índice anterior y cinco para el índice total. El análisis de sensibilidad evidenció que estas observaciones ejercieron una mayor influencia sobre la dispersión de las diferencias individuales, ya que su exclusión temporal produjo un estrechamiento de los límites de acuerdo y un incremento del ICC, de 0.876 a 0.955 para el índice anterior y de 0.915 a 0.968 para el índice total. Por otra parte, los cambios observados en el sesgo promedio fueron menores.

Aunque determinadas características de la posición dentaria podrían dificultar la identificación de los puntos de referencia utilizados para las mediciones mesiodistales, el grado de apiñamiento no fue cuantificado ni clasificado como variable en la presente investigación. Por esta razón, no es posible atribuir los casos situados fuera de los límites de acuerdo con un determinado grado de apiñamiento ni establecer su influencia sobre las discrepancias observadas entre ambos métodos. En este sentido, Aragón et al. (2016), en su revisión sistemática, reportaron que Wiranto et al. (2013), uno de los estudios incluidos que evaluó los anchos dentarios y las relaciones de Bolton, consideró dentro de las características de selección de su muestra la ausencia de apiñamiento severo.

Tabla 21.

Análisis de sensibilidad de la influencia de las observaciones situadas fuera de los límites de acuerdo en los índices de Bolton anterior y total

Indicador	***Bolton anterior principal n=100***	***Sensibilidad n=94***	***Bolton total principal n=100***	***Sensibilidad n=95***
Shapiro-Wilk, p	<0.001	<0.001	<0.001	0.048
Wilcoxon, P	0.001	<0.001	0.001	<0.001
ICC	0.876	0.955	0.915	0.968
Sesgo (pp)	-.0209	-0.357	-0.276	-0.325
Límite inferior	-4.607	-2.875	-3.372	-2.129
Límite superior	+4.189	+2.161	+2.819	+1.480

Nota. El análisis de sensibilidad se realizó mediante la exclusión temporal de las observaciones situadas fuera de los límites de acuerdo establecidos mediante Bland–Altman. Para el índice de Bolton anterior se excluyeron temporalmente seis observaciones (n = 94) y para el índice de Bolton total cinco observaciones (n = 95). Se compararon los resultados de Shapiro–Wilk, Wilcoxon, coeficiente de correlación intraclase (ICC), sesgo y límites de acuerdo con los obtenidos en el análisis principal de la muestra completa (n = 100). Las observaciones excluidas temporalmente se conservaron en el análisis principal y su exclusión se realizó únicamente con fines de análisis de sensibilidad.

Con el propósito de determinar si las observaciones situadas fuera de los límites de acuerdo de Bland–Altman ejercían una influencia importante sobre los resultados estadísticos obtenidos, se realizó un análisis de sensibilidad. Este procedimiento consistió en excluir temporalmente dichas observaciones y repetir los análisis estadísticos, comparando los resultados con los obtenidos en la muestra completa. Su finalidad no fue eliminar casos ni mejorar artificialmente la concordancia entre los métodos, sino evaluar la robustez de los resultados y determinar en qué medida estas observaciones influían sobre la distribución de las diferencias, la comparación entre los métodos y las medidas de concordancia y acuerdo.

El análisis de sensibilidad mostró que la exclusión temporal de los casos situados fuera de los límites de acuerdo no modificó la conclusión inferencial respecto a la comparación entre ambos métodos. Para el índice de Bolton anterior, la distribución de las diferencias continuó siendo no normal según Shapiro–Wilk ($p < 0.001$); mientras que para el índice de Bolton total el valor de significación aumentó hasta aproximarse al punto de corte establecido, aunque

permaneció por debajo de 0.05 ($p = 0.048$). Asimismo, la prueba de Wilcoxon continuó mostrando diferencias estadísticamente significativas entre los métodos para ambos índices ($p < 0.001$).

En contraste, la exclusión temporal de estas observaciones produjo cambios principalmente en las medidas de concordancia y dispersión. El ICC aumentó de 0.876 a 0.955 para Bolton anterior y de 0.915 a 0.968 para Bolton total, mientras que los límites de acuerdo se estrecharon en ambos análisis. Los sesgos promedio presentaron modificaciones menores, pasando de −0.209 a −0.357 puntos porcentuales para Bolton anterior y de −0.276 a −0.325 puntos porcentuales para Bolton total. En conjunto, estos resultados indican que las observaciones extremas ejercieron principalmente influencia sobre la dispersión de las diferencias individuales y la magnitud del ICC, pero no modificaron la conclusión respecto a la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos. Los resultados principales corresponden a la totalidad de la muestra (n=100), y la exclusión de estas observaciones se realizó únicamente con fines de análisis de sensibilidad.

La realización del análisis de sensibilidad permitió valorar la robustez de los resultados obtenidos y establecer si las observaciones situadas fuera de los límites de acuerdo condicionaban las conclusiones del estudio. Su aplicación fue particularmente relevante debido a que las observaciones extremas pueden incrementar la dispersión de las diferencias y modificar determinadas medidas estadísticas de concordancia. Al excluirlas temporalmente, se observó un incremento del ICC de 0.876 a 0.955 para Bolton anterior y de 0.915 a 0.968 para Bolton total, acompañado de un estrechamiento de los límites de acuerdo. Sin embargo, los sesgos promedio presentaron modificaciones menores y Wilcoxon continuó mostrando diferencias estadísticamente significativas en ambos índices ($p < 0.001$). Por tanto, estas observaciones ejercieron influencia principalmente sobre la variabilidad de las diferencias individuales y la magnitud de la concordancia, pero no fueron responsables por sí solas de la diferencia estadísticamente significativa encontrada entre los métodos.

Estos resultados deben interpretarse considerando que diferencia estadística y concordancia representan conceptos distintos. La prueba de Wilcoxon evalúa si la distribución de las diferencias entre mediciones relacionadas presenta una diferencia sistemática, mientras

que el análisis de Bland–Altman evalúa el acuerdo mediante la estimación del sesgo y los límites de acuerdo. Por su parte, el ICC permite cuantificar el grado de concordancia entre las mediciones. Por esta razón, la existencia de una diferencia estadísticamente significativa no implica necesariamente ausencia de concordancia entre los métodos. Bland y Altman plantean precisamente la necesidad de estudiar la magnitud y distribución de las diferencias al evaluar el acuerdo entre procedimientos de medición, en lugar de basar la interpretación exclusivamente en pruebas de significación estadística.

De acuerdo con los criterios de Koo y Li (2016), valores de ICC entre 0.75 y 0.90 representan buena confiabilidad y valores superiores a 0.90 representan confiabilidad excelente. En el análisis principal, el índice de Bolton anterior presentó un ICC de 0.876, correspondiente a buena concordancia, y el índice total un ICC de 0.915, correspondiente a concordancia excelente. En el análisis de sensibilidad, ambos índices alcanzaron valores superiores a 0.90 (0.955 y 0.968, respectivamente). Este comportamiento demuestra que las observaciones extremas reducían la magnitud de la concordancia observada, especialmente para Bolton anterior, pero su presencia no anuló la concordancia encontrada en la muestra completa.

10.4 Resultados y discusión correspondientes al objetivo específico 4

Interpretar los resultados del análisis de Bolton obtenidos mediante modelos físicos de yeso y modelos digitales desde el punto de vista clínico.

Con el propósito de interpretar clínicamente los resultados del análisis de Bolton, se integraron los hallazgos obtenidos mediante los modelos físicos de yeso y los modelos digitales, considerando las diferencias encontradas, el grado de concordancia y el acuerdo entre ambos métodos.

Los resultados mostraron valores medios muy próximos entre ambos procedimientos. Para el índice de Bolton anterior se obtuvo una media de 78.10 % en los modelos físicos y 78.31 % en los digitales, con una diferencia de 0.21 puntos porcentuales. Para el índice de Bolton total, las medias fueron de 91.66 % y 91.93 %, respectivamente, con una diferencia de 0.28 puntos porcentuales. Estos valores se encontraron próximos a los establecidos por Bolton (1958), de 77.2 % para la relación anterior y 91.3 % para la relación total.

Desde el punto de vista clínico, la pequeña magnitud de estas diferencias indica que ambos métodos proporcionaron resultados muy próximos para el análisis de Bolton. Sin embargo, se observó variabilidad individual en la magnitud de las discrepancias, lo que evidencia que la interpretación debe realizarse considerando las características de cada caso y no únicamente los valores promedio de la muestra. Esto resulta relevante debido a que las discrepancias de tamaño dentario pueden influir en la relación entre ambas arcadas y, por tanto, deben ser consideradas durante el diagnóstico y la planificación ortodóncica, como han señalado Bolton (1958), Araujo y Souki (2003), Othman y Harradine (2006) y Endo et al. (2007).

Aunque la prueba de Wilcoxon identificó diferencias estadísticamente significativas entre los modelos físicos y digitales ($p = 0.001$), este resultado no implica ausencia de concordancia. El ICC mostró una buena concordancia para Bolton anterior (ICC = 0.876) y una concordancia excelente para Bolton total (ICC = 0.915). Asimismo, el análisis de Bland-Altman mostró sesgos promedio reducidos de −0.209 y −0.276, respectivamente. En conjunto, estos resultados indican que las diferencias estadísticas encontradas coexistieron con un elevado grado de concordancia y con diferencias sistemáticas promedio pequeñas entre ambos métodos.

Los límites de acuerdo con el 95 % fueron de −4.607 a 4.189 para Bolton anterior y de −3.372 a 2.819 para Bolton total, observándose mayor variabilidad individual en la relación anterior. Este hallazgo señala que, aunque ambos métodos mostraron una adecuada concordancia en términos generales, pueden existir diferencias de mayor magnitud en determinados casos, por lo que los resultados del análisis de Bolton deben integrarse con los demás elementos del diagnóstico ortodóncico.

Estos hallazgos guardan relación con Kim et al. (2014), Brandão et al. (2015) y Restrepo et al. (2015), quienes reportaron resultados favorables al comparar mediciones realizadas mediante modelos físicos y digitales. Asimismo, Aragón et al. (2016) encontró evidencia favorable sobre la validez y confiabilidad de los modelos digitales para mediciones ortodóncicas. En este sentido, los resultados de la presente investigación coinciden con la evidencia que señala que las diferencias entre ambos procedimientos pueden ser reducidas y coexistir con niveles elevados de concordancia.

En conjunto, los resultados evidencian una adecuada concordancia entre los modelos físicos de yeso y los modelos digitales para la realización del análisis de Bolton. Aunque se identificaron diferencias estadísticamente significativas, su magnitud promedio fue pequeña, los sesgos fueron cercanos a cero y los niveles de concordancia fueron buenos a excelentes. Desde el punto de vista clínico, estos hallazgos respaldan la utilización de los modelos digitales obtenidos mediante el escáner intraoral Medit i600 y analizados con Dolphin 3D Study Models como herramienta para la realización del análisis de Bolton dentro del diagnóstico ortodóncico.

Tabla 22.

Resumen de los resultados e interpretación clínica de los índices de Bolton anterior y total mediante modelos físicos y digitales

Indicador	Bolton anterior	Bolton total	Interpretación
Media MF	78.10%	91.66%	Próxima a valores de referencia
Media MD	78.31%	91.93%	Próxima a MF
Diferencia entre medias	0.21 puntos porcentuales	0.28 puntos porcentuales	Diferencia promedio reducida
Wilcoxon	P= 0.001	P= 0.001	Diferencia estadísticamente significativa
ICC individual	0.876	0.915	Buena/excelente concordancia
ICC promedio	0.934	0.956	Excelente concordancia
Sesgo Bland-Altman	-0.209	-0.276	Diferencia sistematica promedio reducida
Límites de acuerdo 95%	-4.607 a 4.189	-3.372 a 2.819	Mayor variabilidad en Bolton anterior

Nota. MF = modelos físicos; MD = modelos digitales; ICC = coeficiente de correlación intraclase. Los valores de p corresponden a la prueba de rangos con signo de Wilcoxon. El sesgo y los límites de acuerdo del 95 % corresponden al análisis de Bland–Altman. La interpretación clínica se realizó considerando la magnitud de las diferencias entre ambos métodos y su nivel de concordancia.

11 Conclusiones

Las mediciones mesiodistales obtenidas mediante los modelos físicos de yeso y los modelos digitales mostraron valores muy próximos en ambas arcadas. En los dos métodos, los mayores diámetros correspondieron a los primeros molares permanentes, mientras que las menores dimensiones se observaron en los incisivos laterales superiores y en los incisivos centrales inferiores. Estas mediciones permitieron obtener las sumatorias dentarias necesarias para realizar posteriormente el análisis de Bolton mediante ambos procedimientos.

Los índices de Bolton anterior y total calculados a partir de los modelos físicos y digitales presentaron valores promedio muy similares entre sí y próximos a los valores de referencia establecidos por Bolton. Esto demuestra que ambos métodos permitieron identificar y cuantificar las proporciones dentarias anterior y total, así como las discrepancias de tamaño dentario presentes en los modelos estudiados.

Al comparar ambos métodos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los índices de Bolton anterior y total. Sin embargo, las diferencias promedio fueron pequeñas y coexistieron con una buena concordancia para el índice de Bolton anterior y una concordancia excelente para el índice de Bolton total. El análisis de Bland–Altman mostró sesgos promedio próximos a cero, aunque se identificaron diferencias individuales de mayor magnitud en algunos casos. El análisis de sensibilidad evidenció que estas observaciones influyeron principalmente sobre la dispersión de las diferencias y la amplitud de los límites de acuerdo, mientras que los cambios en el sesgo promedio fueron menores.

Desde el punto de vista clínico, los modelos físicos de yeso y los modelos digitales analizados mediante Dolphin 3D Study Models mostraron un elevado grado de concordancia en los valores del análisis de Bolton, con buena concordancia para el índice anterior y excelente para el índice total. No obstante, se observaron diferencias estadísticamente significativas y variaciones individuales entre ambos procedimientos, por lo que los hallazgos deben interpretarse considerando tanto el comportamiento promedio como las discrepancias observadas en casos individuales. Los resultados del presente estudio permiten establecer el grado de acuerdo entre ambos métodos bajo las condiciones evaluadas, sin determinar la superioridad o exactitud absoluta de uno respecto al otro.

12 Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda incorporar progresivamente el uso de modelos digitales en la práctica ortodóncica para la realización del análisis de Bolton. La buena a excelente concordancia encontrada con respecto a los modelos físicos de yeso respalda su utilización como herramienta para el diagnóstico y la planificación del tratamiento ortodóncico.

Se recomienda a las autoridades académicas de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo (UNICA) fortalecer la formación en odontología digital mediante actividades teórico-prácticas dirigidas a estudiantes de pregrado y posgrado. La capacitación en el manejo del escáner intraoral y de programas de análisis digital contribuiría al desarrollo de competencias acordes con los avances tecnológicos actuales y favorecería su adecuada incorporación en la práctica clínica.

Asimismo, se sugiere promover la capacitación continua de odontólogos y ortodoncistas en el uso de escáneres intraorales y software especializado para el análisis de modelos digitales. El conocimiento y manejo adecuado de estas herramientas resulta fundamental para realizar correctamente las mediciones y aprovechar sus beneficios dentro del diagnóstico ortodóncico.

Para futuras investigaciones, se recomienda trabajar con muestras más amplias y con diferentes características clínicas, con el propósito de evaluar el comportamiento de las mediciones digitales en poblaciones diversas y fortalecer la evidencia científica sobre su concordancia con los métodos convencionales.

También se recomienda ampliar futuras investigaciones hacia otros análisis y mediciones realizadas sobre modelos de estudio, como el análisis de espacio y las mediciones transversales, con el fin de determinar si los niveles de concordancia observados en el análisis de Bolton se mantienen en otros procedimientos utilizados durante el diagnóstico ortodóncico.

Finalmente, se sugiere realizar estudios comparativos entre diferentes sistemas de escaneo intraoral y programas de análisis digital, con el propósito de identificar posibles variaciones en las mediciones obtenidas y generar evidencia que facilite la selección de

herramientas digitales adecuadas para la práctica clínica, la enseñanza y la investigación en ortodoncia.

13 Referencias

Adobes Martin, M., Lipani, E., Bernes Martínez, L., Alvarado Lorenzo, A., Aiuto, R., & Garcovich, D. (2022). Reliability of tooth width measurements delivered by the Clin-Check Pro-6.0 software on digital casts: A cross-sectional study. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(6), 3581.

Alassiry, A. M. (2023). Clinical aspects of digital three-dimensional intraoral scanning in orthodontics—A systematic review. *The Saudi Dental Journal, 35*, 437–442.

Al Jabri, M., Wu, S., Zhang, Y., Wang, H., Pan, Y., Ma, J., & Wang, L. (2021). Accuracy of Bolton's analysis among different malocclusion patients plaster models and digital models obtained by ex vivo scanning with iTero scanner in Chinese Han population. Nigerian Journal of Clinical Practice, 24(7), 1086–1091.

Aragón, M. L., Pontes, L. F., Bichara, L. M., Flores-Mir, C., & Normando, D. (2016). *Validity and reliability of intraoral scanners compared to conventional gypsum models measurements: A systematic review*. *European Journal of Orthodontics, 38*(4), 429–434.

Araujo, E., & Souki, M. (2003). Bolton anterior tooth size discrepancies among different malocclusion groups. *The Angle Orthodontist, 73*(3), 307–313.

Aude Díaz, R. A., Sánchez Meraz, W., Cárdenas, J. M., Gutiérrez Cantú, F. J., & Murga, H. M. (2016). Eficacia del índice de Bolton por medición digital vs manual. Revista Mexicana de Ortodoncia, 4(1), 31–34.

Baciu, E.-R., Budală, D. G., Vasluianu, R.-I., Lupu, C. I., Murariu, A., Geleţu, G. L., Zetu, I. N., Diaconu-Popa, D., Tatarciuc, M., Nichitean, G., & Luchian, I. (2022). A comparative analysis of dental measurements in physical and digital orthodontic case study models. Medicina, 58(9), 1230.

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet, 327*(8476), 307–310.

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.

Bolton, W. A. (1962). The clinical application of a tooth-size analysis. The Angle Orthodontist, 32(4), 290–302.

Brandão, M. M., Sobral, M. C., & Vogel, C. J. (2015). Reliability of Bolton analysis evaluation in tridimensional virtual models. Dental Press Journal of Orthodontics, 20(5), 72–77.

Cadena Carrera, A., Vásquez Pacheco, Z., Limonchi Palacio, L. V., Lehmann Mendoza, J. M., & López Alvarado, M. Á. (2025). Precisión del análisis de Bolton utilizando el software WebCeph vs modelos de estudio en pacientes de la UJAT. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 9(6).

Camardella, L. T., Ongkosuwito, E. M., Penning, E. W., Kuijpers-Jagtman, A. M., Vilella, O. V., & Breuning, K. H. (2020). Accuracy and reliability of measurements performed using two different software programs on digital models generated using laser and computed tomography plaster model scanners. Korean Journal of Orthodontics, 50(1), 13–25.

Dolphin Imaging & Management Solutions. *What's New in Dolphin Imaging 11.8* [Internet]. Chatsworth (CA): Dolphin Imaging & Management Solutions; 2015.

Endo, T., Abe, R., Kuroki, H., Oka, K., & Shimooka, S. (2008). Tooth size discrepancies among different malocclusions in a Japanese orthodontic population. *The Angle Orthodontist, 78*(6), 994–999.

Endo, T., Uchikura, K., Ishida, K., Shundo, I., Sakaeda, K., & Shimooka, S. (2009). Thresholds for clinically significant tooth-size discrepancy. *The Angle Orthodontist, 79*(4), 740–746.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

Jedliński, M., Mazur, M., Grocholewicz, K., & Janiszewska-Olszowska, J. (2021). 3D scanners in orthodontics—Current knowledge and future perspectives—A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*, 1121

Joint Committee for Guides in Metrology. (2012). *International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms (VIM)* (3rd ed.). JCGM.

Khalil, S. K., Mudhir, A. M., & Sirri, M. R. (2023). Accuracy of CBCT and intraoral scanner images for measuring tooth widths and Bolton's ratio: A comparative study with gold standard (plaster models) in Duhok's adult population. *SN Applied Sciences, 5*, 257.

Kim, J., Heo, G., & Lagravère, M. O. (2014). Accuracy of laser-scanned models compared to plaster models and cone-beam computed tomography. The Angle Orthodontist, 84(3), 443–450.

Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine, 15*(2), 155–163.

Lo Giudice, A., Muraglie, S., Martina, S., Ronsivalle, V., & Leonardi, R. (2019). Accuracy and reliability of space analysis measurements in digital models with different degrees of crowding. The Open Dentistry Journal, 13, 505–511.

Loma Salcedo, H. (2023). Grado de fiabilidad de la evaluación del análisis de Bolton en modelos virtuales tridimensionales versus modelos de yeso [Tesis de segunda especialidad en Ortodoncia y Ortopedia Maxilar, Universidad Científica del Sur].

Luu, N. S., Nikolcheva, L. G., Retrouvey, J.-M., Flores-Mir, C., El-Bialy, T., Carey, J. P., & Major, P. W. (2012). Linear measurements using virtual study models: A systematic review. The Angle Orthodontist, 82(6), 1098–1106.

Medit Corp. Medit i600. Seúl: Medit Corp.; s. f.

Mishra, R. K., Kafle, D., & Gupta, R. (2019). Analysis of interarch tooth size relationship in Nepalese subjects with normal occlusion and malocclusions. *International Journal of Dentistry, 2019*, Article 2761427

Naidu, D., & Freer, T. J. (2013). Validity, reliability, and reproducibility of the iOC intraoral scanner: A comparison of tooth widths and Bolton ratios. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 144(2), 304–310.

Nalcaci, R., Topcuoglu, T., & 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), S66–S70.

Othman, S. A., & Harradine, N. W. T. (2006). Tooth-size discrepancy and Bolton's ratios: A literature review. *Journal of Orthodontics, 33*, 45–51.

Pinos Luzuriaga, A. G. (2015). Diagnóstico de modelos de yeso vs digitales: Exactitud y fiabilidad en la comparación del análisis de Bolton y sus mediciones correspondientes [Tesis de especialidad en Ortodoncia, Universidad de Cuenca].

Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B., & Sarver, D. M. (2013). Contemporary orthodontics (5th ed.). Elsevier.

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika, 52*(3–4), 591–611.

Rafiei, E., Haerian, A., Fadaei Tehrani, P., & Shokrollahi, M. (2022). Agreement of in vitro orthodontic measurements on dental plaster casts and digital models using Maestro 3D Ortho Studio software. Clinical and Experimental Dental Research, 8(5), 1149–1157.

Restrepo, M., Castellanos, L., Grehs-Porto, B., Santos-Pinto, A., & Santos-Pinto, L. (2015). Comparación de medidas dentales y transversales realizadas en modelos de yeso con calibrador digital, y en modelos digitales con el software o3d. Revista CES Odontología, 28(2), 59–68.

Santana, T. T., Copello, F., Marañón-Vásquez, G. A., Nojima, L. I., & Sant'Anna, E. F. (2025). Diagnostic performance of ClinCheck, Dolphin Imaging, and 3D Slicer software for Bolton discrepancy analysis. The Angle Orthodontist, 95(1), 51–56.

Tomassetti, J. J., Taloumis, L. J., Denny, J. M., & 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.

Tunca, M., Tunca, Y., Kotan, S., & Bilen, S. (2021). Comparison of linear measurements and Bolton analysis on the model obtained from conventional method with OrthoCAD software. Van Dentistry Journal, 2(2), 1–10.

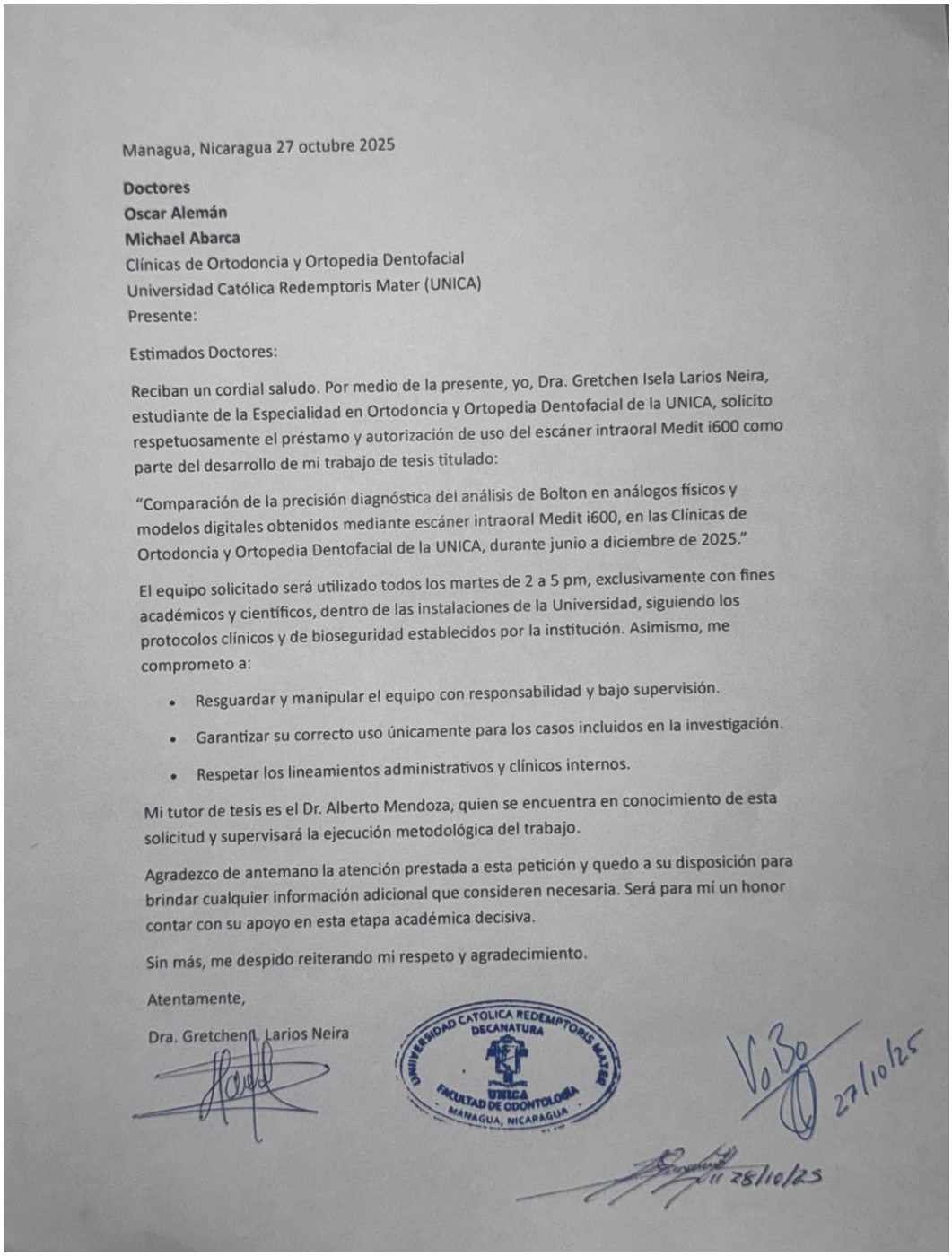
Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin, 1*(6), 80–83.

Yılmaz, H., Çakmak Özlü, F., Karadeniz, C., & 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.

Zilberman, O., Huggare, J. Å. V., & 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.

14 Anexos

Anexo 1. Autorización para el uso de escáner intraoral Medit i600 en las clínicas del Posgrado de UNICA.



Managua, Nicaragua 27 octubre 2025

Doctores
Oscar Alemán
Michael Abarca
Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial
Universidad Católica Redemptoris Mater (UNICA)
Presente:

Estimados Doctores:

Reciban un cordial saludo. Por medio de la presente, yo, Dra. Gretchen Isela Larios Neira, estudiante de la Especialidad en Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la UNICA, solicito respetuosamente el préstamo y autorización de uso del escáner intraoral Medit i600 como parte del desarrollo de mi trabajo de tesis titulado:

"Comparación de la precisión diagnóstica del análisis de Bolton en análogos físicos y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la UNICA, durante junio a diciembre de 2025."

El equipo solicitado será utilizado todos los martes de 2 a 5 pm, exclusivamente con fines académicos y científicos, dentro de las instalaciones de la Universidad, siguiendo los protocolos clínicos y de bioseguridad establecidos por la institución. Asimismo, me comprometo a:

- Resguardar y manipular el equipo con responsabilidad y bajo supervisión.
- Garantizar su correcto uso únicamente para los casos incluidos en la investigación.
- Respetar los lineamientos administrativos y clínicos internos.

Mi tutor de tesis es el Dr. Alberto Mendoza, quien se encuentra en conocimiento de esta solicitud y supervisará la ejecución metodológica del trabajo.

Agradezco de antemano la atención prestada a esta petición y quedo a su disposición para brindar cualquier información adicional que consideren necesaria. Será para mí un honor contar con su apoyo en esta etapa académica decisiva.

Sin más, me despido reiterando mi respeto y agradecimiento.

Atentamente,

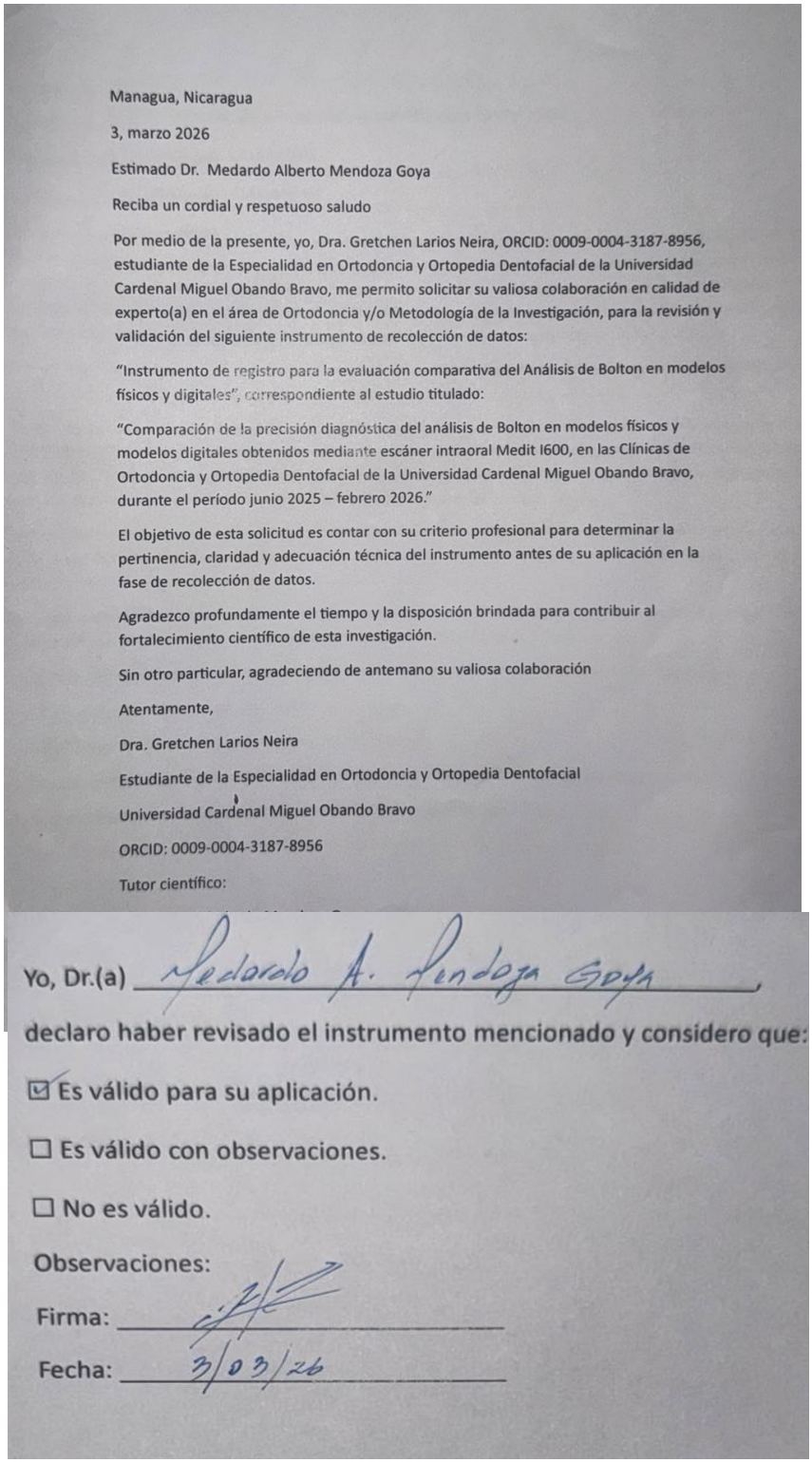
Dra. Gretchen I. Larios Neira

UNIVERSIDAD CATOLICA REDEMPTORIS MATER
DECANATURA
UNICA
FACULTAD DE ODONTOLOGIA
MANAGUA, NICARAGUA

Vo Bo 27/10/25

28/10/25

Anexo 2. Validación y aprobación del instrumento de recolección de datos.



Managua, Nicaragua

3, marzo 2026

Estimado Dr. Medardo Alberto Mendoza Goya

Reciba un cordial y respetuoso saludo

Por medio de la presente, yo, Dra. Gretchen Larios Neira, ORCID: 0009-0004-3187-8956, estudiante de la Especialidad en Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo, me permito solicitar su valiosa colaboración en calidad de experto(a) en el área de Ortodoncia y/o Metodología de la Investigación, para la revisión y validación del siguiente instrumento de recolección de datos:

"Instrumento de registro para la evaluación comparativa del Análisis de Bolton en modelos físicos y digitales", correspondiente al estudio titulado:

"Comparación de la precisión diagnóstica del análisis de Bolton en modelos físicos y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit I600, en las Clínicas de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo, durante el período junio 2025 – febrero 2026."

El objetivo de esta solicitud es contar con su criterio profesional para determinar la pertinencia, claridad y adecuación técnica del instrumento antes de su aplicación en la fase de recolección de datos.

Agradezco profundamente el tiempo y la disposición brindada para contribuir al fortalecimiento científico de esta investigación.

Sin otro particular, agradeciendo de antemano su valiosa colaboración

Atentamente,

Dra. Gretchen Larios Neira

Estudiante de la Especialidad en Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial

Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo

ORCID: 0009-0004-3187-8956

Tutor científico:

Yo, Dr.(a) Medardo A. Mendoza Goya,

declaro haber revisado el instrumento mencionado y considero que:

☑ Es válido para su aplicación.

☐ Es válido con observaciones.

☐ No es válido.

Observaciones:

Firma: _____

Fecha: 3/03/26

Anexo 3. Instrumento de recolección de datos.

Instrumento de registro para la evaluación comparativa del Análisis de Bolton en modelos físicos y digitales.

Estudio: Comparación de la precisión diagnostica del análisis de Bolton en modelos físicos y modelos digitales obtenidos con el escáner intraoral Medit I600.

Investigadora: Dra. Gretchen Larios Neira.

Institución: Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo

Fecha de registro: _____/_____/_____

I. Identificación del registro

Código del participante: _____
Edad: _____ años
Tipo de modelo evaluado:
Modelo físico ( ) Modelo digital Medit I600 ( )
Código de modelo físico y digital:
Periodo de obtención del modelo 2025-2026

II. Mediciones Mesio-distales por pieza dentaria (mm)- Modelo físico

Arcada superior		#1.6	#1.5	#1.4	#1.3	#1.2	#1.1	#2.1	#2.2	#2.3	#2.4	#2.5	#2.6

Suma total superior: _____

Suma anterior (13-23) _____

Arcada inferior	#3.6	#3.5	#3.4	#3.3	#3.2	#3.1	#4.1	#4.2	#4.3	#4.4	#4.5	#4.6

Suma total inferior: _____

Suma anterior (33-43) _____

III. Mediciones Mesio-distales por pieza dentaria (mm)- Modelo Digital

Arcada superior	#1.6	#1.5	#1.4	#1.3	#1.2	#1.1	#2.1	#2.2	#2.3	#2.4	#2.5	#2.6

Suma total superior: _____

Suma anterior (13-23) _____

Arcada inferior	#3.6	#3.5	#3.4	#3.3	#3.2	#3.1	#4.1	#4.2	#4.3	#4.4	#4.5	#4.6

Suma total inferior: _____

Suma anterior (33-43) _____

IV. Registros del análisis de Bolton – Modelo físico

Bolton anterior	**Valor obtenido** _____		
Discrepancia	Exceso sup. ( )	Exceso inf. ( )	Magnitud ( )

Bolton Total	**Valor obtenido** _____		
Discrepancia	Exceso sup. ( )	Exceso inf. ( )	Magnitud ( )

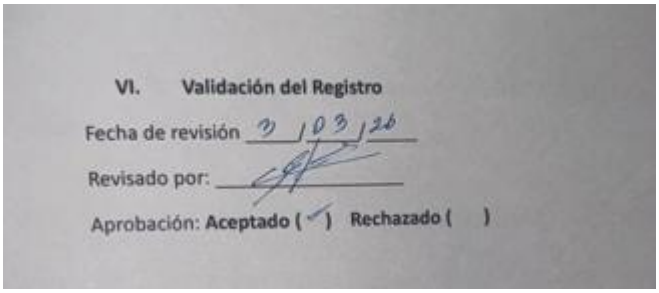
V. Registros del análisis de Bolton – Modelo digital

Bolton anterior	**Valor obtenido** _____		
Discrepancia	Exceso sup. ( )	Exceso inf. ( )	Magnitud ( )

Bolton Total	**Valor obtenido** _____		
Discrepancia	Exceso sup. ( )	Exceso inf. ( )	Magnitud ( )

VI. Registro comparativo entre métodos de medición

Variable evaluada	Valor modelo físico	Valor modelo digital	Diferencia (%)
Bolton anterior (%)			
Bolton total (%)			



VI. Validación del Registro

Fecha de revisión 3/03/26

Revisado por: _____

Aprobación: Aceptado (✓) Rechazado ( )

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS DE PUBLICACIÓN

Yo, Gretchen Isela Larios Neira, con cédula de identidad 001-050289-0024J, egresada de la especialidad de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo, declaro que:

El contenido del presente documento es un reflejo de mi trabajo personal, y toda la información que se presenta está libre de derechos de autor, por lo que, ante cualquier notificación de plagio, copia o falta a la fuente original, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad Cardenal Miguel Obando Bravo.

Así mismo, autorizamos a UNICA por este medio, publicar la versión aprobada de mi trabajo de investigación, bajo el título Comparacion de la precisión diagnostica del análisis de Bolton en modelos físicos y modelos digitales obtenidos mediante escáner intraoral Medit i600, en las clínicas de Ortodoncia y Ortopedia dentofacial de la UNICA durante el periodo de Junio 2025-2026, en el campus virtual y en otros espacios de divulgación, bajo la licencia Atribución-No Comercial-Sin derivados, irrevocable y universal para autorizar los depósitos y difundir los contenidos de forma libre e inmediata.

Todo esto lo hago desde mi libertad y deseo de contribuir a aumentar la producción científica. Para constancia de lo expuesto anteriormente, se firma la presente declaración en la ciudad de Managua, Nicaragua a los XXXX días del mes XXXX de 2023.

Atentamente,

[Nombre y apellidos]

[Correo electrónico]

Firma: _____

[Nombre y apellidos]

[Correo electrónico]

Firma: _____

[Nombre y apellidos]

[Correo electrónico]

Firma: _____