



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

**PROTOTIPOS DENTALES: IMPRESIÓN EN 3D DE DIENTES
PRIMEROS PREMOLARES PARA PRÁCTICAS DE
ENDODONCIA, EN LA CARRERA DE ODONTOLOGÍA DE LA
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, FEBRERO 2024-
DICIEMBRE 2024**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGO**

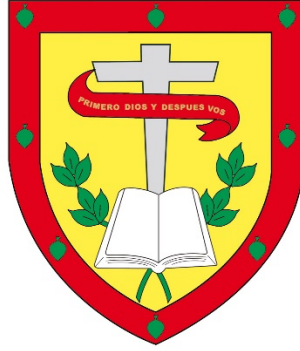
AUTOR: DANILO ALEJANDRO HERRERA SAMANIEGO

DIRECTORA: OD.ESP. PAOLA ALEXANDRA DURÁN NEIRA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR

CARRERA DE ODONTOLOGÍA

PROTOTIPOS DENTALES: IMPRESIÓN EN 3D DE DIENTES

PRIMEROS PREMOLARES PARA PRÁCTICAS DE

ENDODONCIA, EN LA CARRERA DE ODONTOLOGÍA DE LA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, FEBRERO 2024-

DICIEMBRE 2024

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL

TÍTULO DE ODONTÓLOGO

AUTOR: DANILO ALEJANDRO HERRERA SAMANIEGO

DIRECTORA: OD.ESP. PAOLA ALEXANDRA DURÁN NEIRA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Prototipos dentales: Impresión en 3D de dientes primeros premolares para prácticas de endodoncia, en la Carrera de Odontología de la Universidad Católica de Cuenca, febrero 2024-diciembre 2024

¹ Danilo Herrera, ² Paola Durán Neira, ³ Diana Álvarez, ⁴ Magda Calva.

1. Danilo Alejandro Herrera Samaniego - Alumno de la facultad de odontología, her_dan11@hotmail.com. Universidad Católica de Cuenca. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8057-8787>
2. Paola Alexandra Durán Neira - Odontóloga Magister en Rehabilitación Oral e Implantología, pdurann@ucacue.edu.ec. Universidad Católica de Cuenca ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7030-2221>
3. Diana Patricia Álvarez Álvarez Odontóloga y Especialista en Endodoncia, dalvareza@ucacue.edu.ec. Universidad Católica de Cuenca, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7046-2137>
4. Magda Zulay Bastidas Calva Odontóloga y Especialista en Endodoncia, zulybastidas@hotmail.com. Universidad Católica de Cuenca, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1874-3649>

Resumen

Objetivo. Crear prototipos dentales a base de impresión 3D con biomateriales que simulen la morfología dental interna y externa para realizar las prácticas preclínicas de endodoncia de los estudiantes de la Carrera de Odontología de la Universidad Católica de Cuenca, octubre 2022 – septiembre 2024. **Métodos.** Se utilizó la ficha clínica del paciente junto el consentimiento informado amplio, además de la tomografía de haz cónico, software 3D Slicer 5.2.2, Meshmixer 3p5, para la impresión se hizo uso de la Phrozen Sonic Mini 4K Resin 3D Printer y resina Resina AnyCubic Clear, se evaluó el color, dureza, precisión de forma y dureza de trabajo. **Resultados.** En las primeras reproducciones de los primeros premolares se encontró conductos amplios, pintura que manchaban las limas, ápices abiertos, se hicieron cambios en cada una de las pruebas donde se eliminó la pintura de la pulpa, simulando una réplica casi exacta de un diente real con características morfológicas externas e internas, radiográficas y sensación

táctil similares **Conclusiones.** PEX3Dent, nos ofrece beneficios significativos en cuanto a la morfología externa precisa, el tamaño adecuado, la semejanza a una pieza real, teniendo limitaciones en cuanto a la resistencia en comparación con el diente real, además de no encontrar un material que pigmente y simule la pulpa, por eso es necesario investigar y utilizar nuevos materiales en futuros modelos de impresión.

Palabras Clave: Sistema estomatognático, Prototipo dental, Impresión tridimensional, Diseño tridimensional, Endodoncia

ABSTRACT

Objective. To create dental prototypes based on 3D printing with biomaterials that simulate the internal and external dental morphology of teeth for preclinical endodontic practices by students in the Dentistry Program at the Catholic University of Cuenca, October 2022 - September 2024. **Methods.** The patient's clinical history and comprehensive informed consent were used. In addition, the cone beam tomography, 3D Slicer 5.2.2 software, Meshmixer 3.5, the Phrozen Sonic Mini 4K Resin 3D Printer, and Anycubic Clear Resin were used for the impression, the color, hardness, shape, accuracy, and working hardness were evaluated. **Results.** In the initial reproductions of first premolars, wide canals, paint staining the files, and open apices were observed. Adjustments were made in each test where the paint was removed from the pulp, resulting in a nearly exact replica of a real tooth with similar external and internal morphological characteristics, radiographic features, and tactile sensation. **Conclusion.** PEX3Dent provides significant benefits in terms of accurate external morphology, adequate size, and resemblance to a real tooth, but it has limitations in terms of strength compared to the real tooth. Furthermore, a material that can be pigmented and simulated the pulp has not yet been found. Therefore, it is necessary to investigate and use new materials in future impression models.

Keywords: Stomatognathic system, Dental prototype, Three-dimensional printing, Three-dimensional Design, Endodontics

Introducción

Uno de los principales motivos de la visita al dentista es la odontalgia, producida por el acúmulo de microorganismos dentro del diente que producen caries, cuando la pieza dentaria no puede repararse por si sola se produce un desequilibrio a nivel pulpar, generando la inflamación y posterior muerte de la misma con repercusiones a nivel apical y en los peores escenarios generando la pérdida dentaria, dando como resultado un desbalance en la oclusión, generando problemas a gran escala, por ende es necesario realizar un tratamiento de conducto que no es más que la eliminación del tejido infectado neutralizando las bacterias para luego colocar un material que remplace dicho tejido, por esta razón, es crucial que el personal que llevará a cabo estos procedimientos tenga conocimiento tanto teórico como práctico. De esta manera, podrán minimizar en lo posible los riesgos y complicaciones asociadas con la extracción dental, ofreciendo seguridad y bienestar a los pacientes ¹.

Los estudios prácticos para cursar el área de endodoncia de manera preclínica incluyen el uso de dientes naturales extraídos de un paciente, aún se siguen considerando de primera elección, los cuales presentan ventajas como: excelente morfología, dureza y radiodensidad del tejido natural, pero los principales problemas son: la dificultad en la recolección de suficientes dientes naturales que conserven una adecuada morfología de conductos y anatomía externa, además no deben presentar tratamientos endodónticos previos ²⁻⁴. El riesgo de contaminación cruzada es otro factor importante dado que son muy complejos de esterilizar y esto los hace más susceptibles a fracturas, el uso de hipoclorito de sodio no es suficiente, además de que daña en gran parte su estructura, por lo que no presentan buen olor debido al almacenamiento ⁵⁻⁷.

Al ser tanta la demanda de órganos dentales, no se sabe con certeza la procedencia de los mismo y la razón de sus extracciones, por lo que un punto de análisis son las consideraciones éticas, esto en base a que se debería obtener bajo un consentimiento informado de los propietarios ^{8,9}.

Un gran problema es la variabilidad anatómica por lo cual no permite a los estudiantes aprender de la misma manera conjunto a la explicación del operador

en consecuencia a la complicada y gran diversidad de anatomía de los conductos radiculares ^{10,11}.

Por lo que, nuevas investigaciones han estado enfocadas en el desarrollo, duplicación y/o replicación de piezas dentales basados en materiales sintéticos que permitan reproducir de manera similar la anatomía interna y externa de las mismas, siendo más asequibles a los estudiantes y catedráticos. Son de fácil acceso y permiten ser intercambiables en los tipodontos que son ocupados en los simuladores. El empleo de estas piezas artificiales, pueden ser utilizados en varios ámbitos odontológicos, como: área de operatoria dental, endodoncia, periodoncia, rehabilitación oral, implantología, cirugía, guías quirúrgicas, ortodoncia entre otras ^{12,13}.

En la actualidad la obtención de nuevos prototipos dentales permite mejorar la enseñanza tanto en la preclínica como en la práctica odontológica, mediante el prototipado rápido que es la creación de estructuras en tres dimensiones teniendo como base un modelo virtual, permite la experimentación y testeo. En el mercado existen productos creados para endodoncia que simulan los conductos de diferentes piezas dentales sin la representación de las raíces ¹⁴, el prototipo dental lo que busca es la replicación de un diente natural creado por medio de la tecnología 3D, producido para explicaciones didácticas, generando un análisis práctico ¹⁵, incluyendo beneficios como la réplica exacta de forma, tamaño y detalles morfológicos de un diente real, proporciona una experiencia práctica realista, abordadas de manera más segura por la simulación dental, la instrumentación es muy similar por lo cual ofrece una experiencia casi igual a la de trabajar con un diente real, que permiten tener un modelo en software de la computadora e incluso poder editar las malformaciones, desniveles y realizar así variaciones anatómicas como dilaceración de raíces, conductos en forma de C, diferentes tipos de configuración de conductos, aplicables en el área de Endodoncia específicamente ¹⁶. Con la impresión 3D en odontología que utiliza diseño asistido por computadora (CAD) y fabricación (CAM), permitiendo la creación rápida y precisa de modelos dentales, que consiste en añadir capas de material sucesivamente mediante un programa informático, ofreciendo ventajas

como la personalización de dientes y reducción de costos, pudiendo fabricar a gran escala ¹⁷⁻¹⁹.

El objetivo de la siguiente investigación fue crear prototipos dentales a base de impresión 3D con biomateriales que simulen la morfología dental interna y externa para realizar las prácticas preclínicas de endodoncia de los estudiantes de la Carrera de Odontología de la Universidad Católica de Cuenca, octubre 2022 – septiembre 2024.

Materiales y Métodos

Se obtuvo la aprobación respectiva de ética mediante evaluación expedita por el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos CEISH-UCACUE código CEISH-UCACUE-2023-1, en la creación de los prototipos dentales para prácticas endodónticas en la carrera de odontología. Se empezó la búsqueda del paciente para la tomografía de haz cónico computarizada, dentro de los criterios de inclusión se tomó en cuenta paciente adulto, de cualquier sexo, sin enfermedades sistémicas previas, sin tratamientos ortodónticos, malformaciones dentarias, presencia de todos los dientes a excepción de los terceros molares, los criterios de exclusión fueron, ausencia de órganos dentales, presencia de zonas radiolúcidas compatibles con caries o lesiones apicales, restauraciones previas, traumatismos dentoalveolares, reabsorciones radiculares internas y externas, apicectomías y cirugía reconstructiva de los maxilares.

Se utilizó la ficha clínica del paciente junto el consentimiento informado amplio, además de la tomografía de haz cónico, software 3D Slicer 5.2.2, Meshmixer 3p5, para la impresión se hizo uso de la Phrozen Sonic Mini 4K Resin 3D Printer y resina Resina AnyCubic Clear, se evaluó el color, dureza, precisión de forma y dureza de trabajo.

Nuestro producto se denomina PEX3Dent (prototipo experimental 3Dental).

Obtención de modelo

Como primer paso es necesario la tomografía definida del paciente, se descartó la existencia de distorsiones, ruido, y demás interferencias radiológicas, a

continuación, mediante el 3D Slicer, nos permitió segmentar todas las estructuras necesarias, tanto hueso, dientes y conductos, obtuvimos una imagen tridimensional a partir de la tomografía, lo cual permitió cuantificar y medir el volumen de la superficie (figura 1).

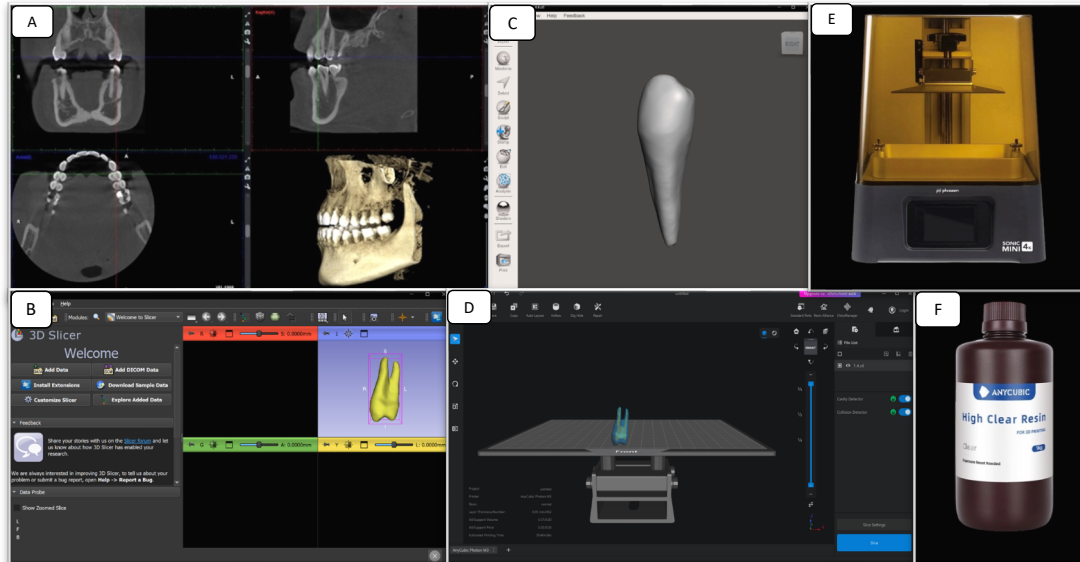


Figura 1: **A:** Tomografía del paciente. **B:** 3D Slicer (versión 5.22), primer premolar superior. **C:** Meshmixer 3.5, primer premolar inferior. **D:** Chitubox, primer premolar superior. **E:** Phrozen Sonic Mini 4K Resin 3D Printer. **F:** Resina AnyCubic Clear.

Una vez obtenido el modelo diente a diente en 3D, se procedió a la separación de conductos por medio del programa Meshmixer 3.5, permitiéndonos mejorar la anatomía radicular, en un tiempo aproximado para la segmentación de cada uno de 30 minutos. Para ello, se utilizó un formato STN que se prepara para dicha impresión, una vez sincronizados los conductos con los dientes y mediante el programa Chitubox, por último, se procedió a enviar el archivo a la impresora “Anycubic Photon M3”, la cual reduce el tiempo de trabajo, así mismo genera alta fiabilidad de detalles, realizando una fabricación aditiva mediante fotopolimerización, utilizadno una resina de lavado con agua de la marca Anycubics Water-Wash resin, no contienen plomo, ningún aditivo en especial, esto evita que los modelos se agrieten, dando consigo un almacenado de los modelos hasta 3 años sin formarse grietas luego del curado por luz ultravioleta, tiene una alta precisión de detalles dado a la baja tasa de contracción y tiene poco olor. Al ser de baja viscosidad permite una impresión más rápida teniendo reducción de tiempo de hasta 79 minutos menos, tiene una amplia compatibilidad de impresoras 3D del mercado.

Una vez ya listo para la impresión se hizo prueba error, ya que esta resina se cura capa por capa dependiendo de cuantas micras se ocupe ya sea de 30,50,100 o 200, en este caso se ocupó 50 micras, cuanto más aumentan las micras más aumenta el tiempo de impresión sin embargo el costo es similar (figura 2).

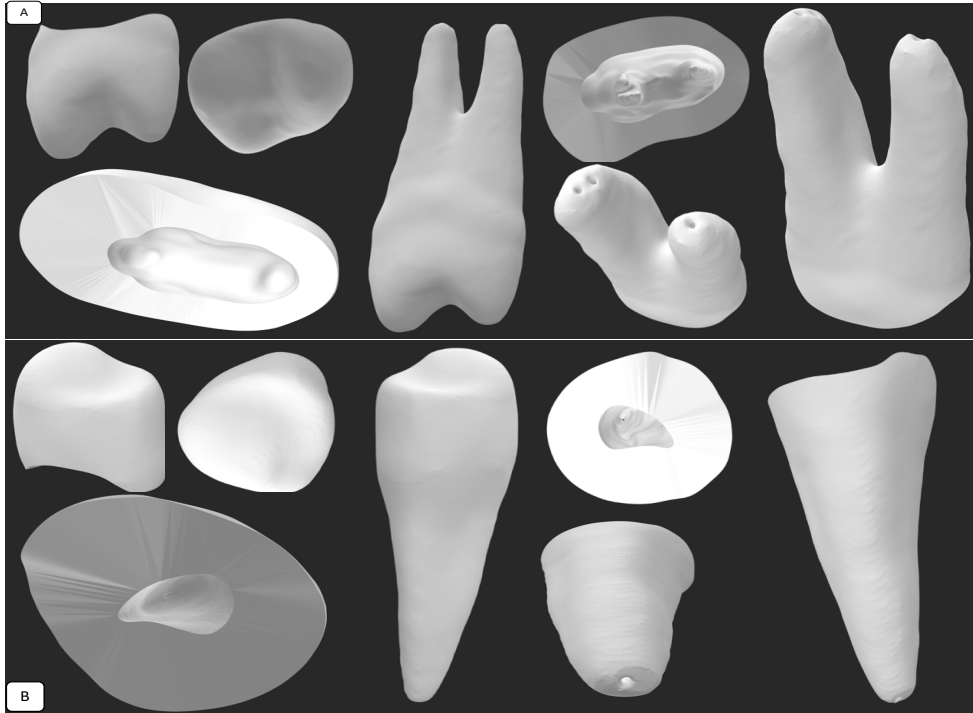


Figura 2: **A:** PEX3Dent (prototipo experimental 3Dental), primer premolar superior en 3D. **B:** PEX3Dent (prototipo experimental 3Dental), primer premolar inferior en 3D.

Los premolares se realizaron como primera etapa con un corte recto, luego entraron en una segunda fase de impresión en los que se realizó separando corona y raíz en un corte coronario, en la tercera etapa se realizó la impresión de la corona de una resina más blanquecina y a la raíz de color transparente, uno de los grandes problemas es la semejanza de la pulpa ya que en esta ocasión se colocó pintura acrilizada, sin embargo, esta estaba muy líquida.

Resultados

La anatomía del prototipo dental fue muy similar al diente natural, a cada uno de los prototipos se realizó una serie de pruebas endodónticas divididas en tres etapas (inicial, media y final) realizando consigo la apertura, instrumentación y obturación.

En las primera pruebas se realizó la apertura de la cámara haciendo uso de la pieza de alta velocidad (turbina) y fresas redondas diamantadas de cuello largo y Endo z, donde se pudo apreciar que PEX3Dent no se quemó en relación como suele pasar con el tipodonto, la corona al ser pintada con un spray buscando similitud con el color del esmalte generaba dificultad al realizar el acceso coronario, pero una vez que se pasaba la cama de spray la fresa cayó directamente en el techo cameral de manera rápida y grotesca producida por falta de material que rellenase la porción pulpar de la corona, se presentó dificultad en el escalonamiento por la presencia demasiada amplitud de los doctos, y un diámetroápico coronal muy corto, por otro la pintura acrílica roja utilizada para simular la pulpa pigmentaba las limas al realizar la instrumentación además de que el polvillo generado se adhería obstruyendo la irrigación, afectando la visualización y evaluación del estado de limpieza, en cuanto a las propiedades radiopacas de visualización radiográfica de la gutapercha se presentan correctamente ya que existe mucha similitud de las zonas radiolúcidas del esmalte, dentina y pulpa de un diente real, la longitud de la obturación quedo próxima al ápice por la distancia de los conductos.

En las pruebas intermedias se realizaron cambios de color de la corona, la raíz se realizó con una resina más translúcida, se modificó la longitud y diámetro de los conductos, se eliminó la pintura que simulaba la pulpa, dentro de los errores encontrados, es el grado de facilidad con el que se realizaba la apertura coronaria, en el primer premolar inferior el ápice abierto y el primer premolar superior la fácil perforación apical en la raíz palatina.

En la prueba final, se corrigieron los errores anteriores, obteniendo un acceso limpio, controlado tanto en el premolar superior e inferior en donde se abordó

con la fresa redonda de cuello largo y Endo Z, reflejando un cámara pulpar limpia y normal (figura 3).

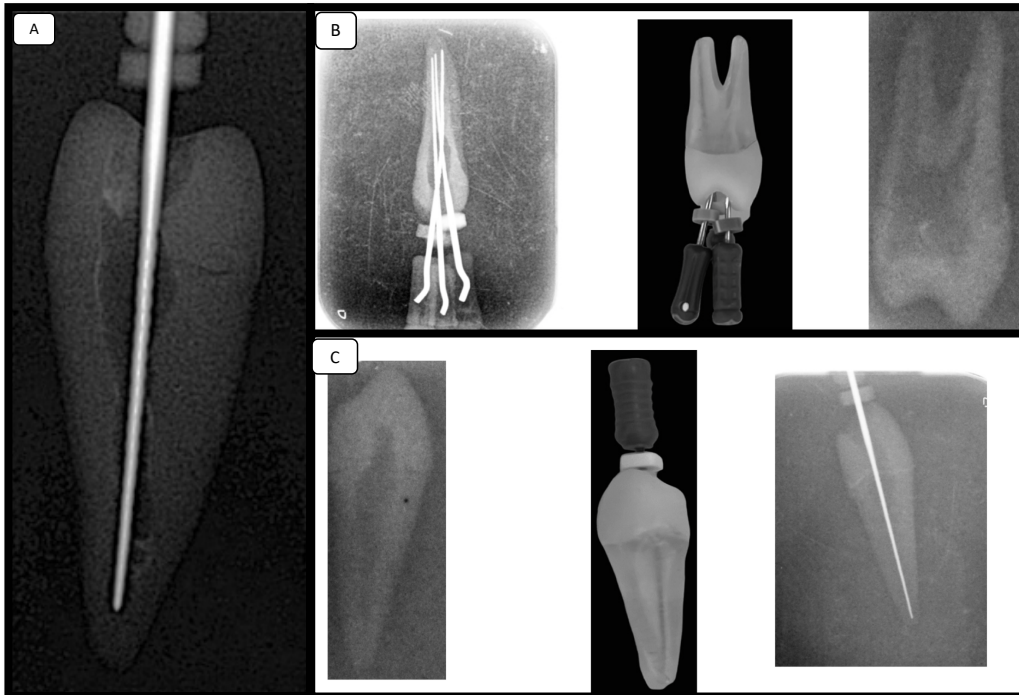


Figura 3: A: Primer conductimetría, primer premolar inferior, B: Última prueba primer premolar superior. C: Última prueba primer premolar inferior.

El primer premolar superior contaba con tres conductos, dos vestibulares y una palatino, en la conductimetría se inició con una lima K 25 a 19mm en MV1, MV2, y P, con una longitud de real de diente de 22mm, el amperaje de Rx fue de 0,12.

El primer premolar inferior presentó un conducto único, la conductimetría se inició con una lima K 25 a 24mm, con una longitud de trabajo de 25mm, el amperaje radiográfico fue de 0,12.

PEX3Dent logró una gran similitud de forma, tamaño y color mejorando en el paso de cada una de las pruebas (figura 4).

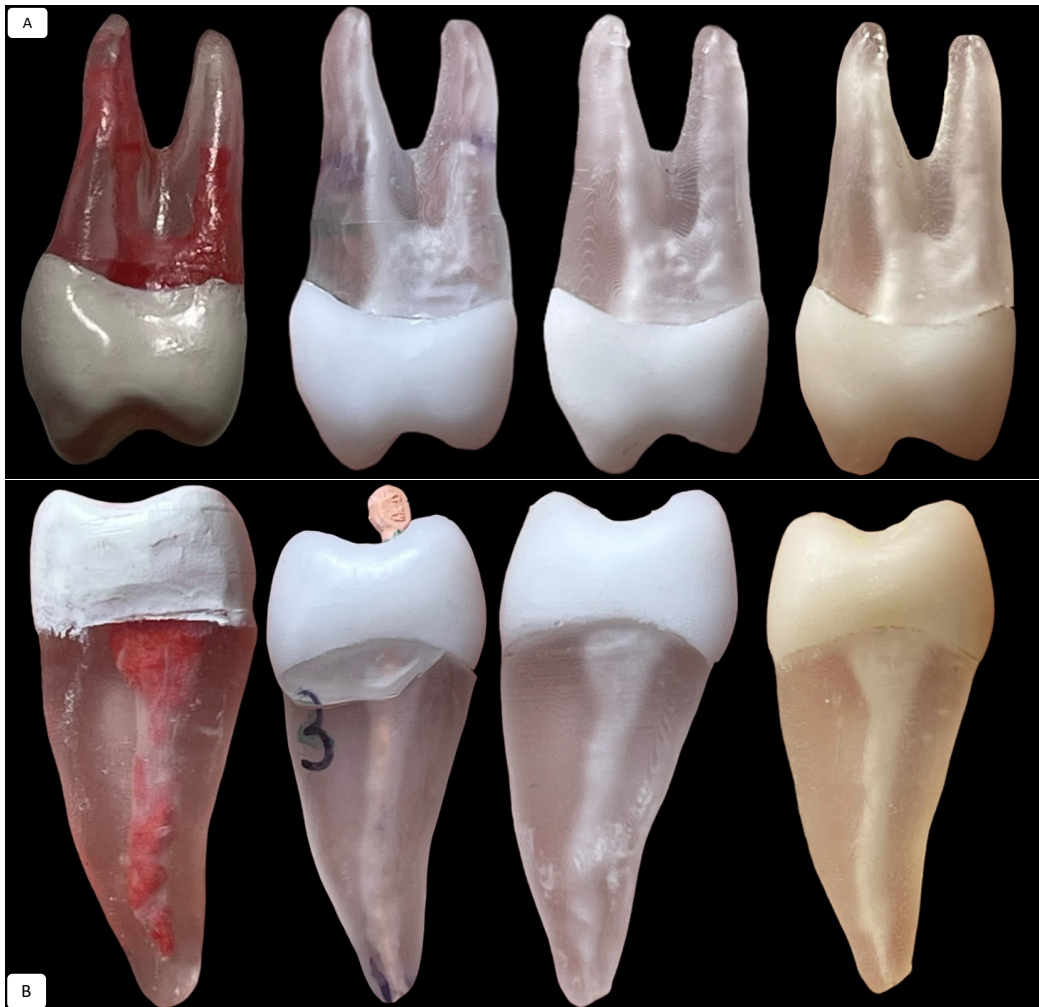


Figura 4: **A:** Secuencias de PEX3Dent (prototipo experimental 3Dental), primer premolar superior en 3D. **B:** Secuencia de PEX3Dent (prototipo experimental 3Dental), primer premolar superior en 3D.

Discusión

Los dientes naturales extraídos siguen siendo el Gold estándar para la realización de prácticas preprofesionales, para Reymus M ¹¹, los dientes artificiales tienen el potencial para remplazarlos, de esta forma se evita una posible contaminación cruzada, consideraciones éticas de su origen y anatomía no estandarizada, esto concuerda con Höhne C ²⁰, quien menciona que al ser impresos en 3D su producciones son de bajo costo, y poder utilizarlos en modelos estandarizados sin inversiones grandes, cumpliendo con una experiencia realista para los estudiantes ya que los prototipos creados replican a gran similitud las estructuras anatómicas de un diente real, en el estudio de Zhang R ²¹, logró demostrar que por medio del escaneo de un tercer molar extraído, se puede tener una reproductibilidad igual y las veces que sean

necesario al contener el archivo de impresión, además hizo uso de la fabricación aditiva, misma utilizada en nuestro estudio, por medio de curado tras la colocación de capa de resina, en donde hacen hincapié sobre la angulación de la impresión, debido a que el molar presentaba una raíz con una curvatura considerable, por lo que si se realizaba la impresión de forma vertical se obstruía apicalmente, por ende es necesario una impresión a 45°, lo cual no fue necesario en nuestro proyecto porque los premolares de nuestro paciente no tenían dilaceraciones importantes. Dobrosó K ²², recalca que el componente más débil en la impresión es la anatomía interna, eso en base a que sus dientes fueron creados por medio de Acrilonitrilo Butadieno Estireno y no a base de resina como en nuestro proyecto, además nos permiten realizar con más confianza las aperturas camerales al conocer la anatomía dental, en relación a lo descubierto por Pouhaër M ²³, en donde en su proyecto de macromodelos utilizados para la formación y práctica en endodoncia se encontró que más del 80% de los estudiantes los consideran herramientas efectivas para su uso, a pesar de esto Suebnukarn S ²⁴, propone una nueva forma de aprender mediante la técnica de simulación háptica en donde desarrollaron un simulador de realidad virtual que por medio de un espejo y turbina mecánica practican los accesos coronarios, pero tiene una dificultad principal que no reconoce instrumentos flexibles como las limas, algo muy similar pasó en el estudio de Suh E ²⁵, en el cual los estudiantes aprendían anatomía dental de forma digital, teniendo y cumpliendo con gran similitud a pesar de todas estas ventajas los estudiantes prefirieron los dientes físicos.

Hsu M ²⁶, constató que por medio de un software podía agregar color, dureza, o alguna patología al diente virtual, utilizando un escáner, para ello es necesario tener piezas extraídas, utilizaron el 3D slicer para poder crear y editar a partir de imágenes CBT, de la misma forma que Kustra P ²⁷, utilizaron el scan III (GOM, Alemania), para la creación de el diente en 3D, lo cual es una desventaja ya que solo se puede crear la anatomía externa, además que el órgano dental debe estar extraído y no tener ninguna patología, a diferencia de nuestro proyecto que se hizo uso de una tomografía computarizada de haz cónico, en la cual podemos segmentar y fabricar las veces necesarias las piezas dentales así como posteriormente agregar patologías mediante el software, permitiendo una nueva forma de educación endodóntica.

Conclusión

PEX3Dent, nos ofrece beneficios significativos en cuanto a la morfología externa precisa, el tamaño adecuado, la semejanza a una pieza real, la funcionalidad en la práctica odontológica y la sensación que se asemeja a una pieza real por sus paredes durante la instrumentación con limas, contribuyendo a mejorar la formación y desarrollo de habilidades clínicas, sin embargo se observó que el prototipo es menos resistente en comparación a un órgano dental real, por esto es necesario investigar y utilizar materiales más resistentes en futuros modelos de impresión, además el uso de color para simulación de Pulpa pigmentaba las limas por lo que se recomienda explorar materiales como silicona fría o protector gingival que proporcionen mayor similitud con la textura y características de la pulpa dental.

Agradecimientos

A investigación formativa.

Conflictos de interés

Los autores no tienen conflicto de interés con este estudio.

Contribuciones de los autores

Todos los autores contribuyeron con este manuscrito

Apoyo financiero

Universidad Católica de Cuenca

Declaración de disponibilidad de datos

Datos disponibles previa solicitud a los autores.

Referencias Bibliográficas

1. Duncan HF. Present status and future directions—Vital pulp treatment and pulp preservation strategies. *Int Endod J.* 2022 May 3;55(S3):497–511.
2. Al-Sudani DI, Basudan SO. Students' perceptions of pre-clinical endodontic training with artificial teeth compared to extracted human teeth. *European Journal of Dental Education.* 2017 Nov 6;21(4).
3. Farronato M, Maspero C, Lanteri V, Fama A, Ferrati F, Pettenuzzo A, et al. Current state of the art in the use of augmented reality in dentistry: a systematic review of the literature. *BMC Oral Health.* 2019 Dec 8;19(1):135.
4. Tchorz JP, Brandl M, Ganter PA, Karygianni L, Polydorou O, Vach K, et al. Pre-clinical endodontic training with artificial instead of extracted human teeth: does the type of exercise have an influence on clinical endodontic outcomes? *Int Endod J.* 2015 Sep 20;48(9):888–93.
5. Kumar M, Sequeira P, Peter S, Bhat G. STERILISATION OF EXTRACTED HUMAN TEETH FOR EDUCATIONAL USE. *Indian J Med Microbiol.* 2005 Oct;23(4):256–8.
6. Michaud PL, Maleki M, Mello I. Effect of Different Disinfection/Sterilization Methods on Risk of Fracture of Teeth Used in Preclinical Dental Education. *J Dent Educ.* 2018 Jan;82(1):84–7.
7. Mello I, Michaud P, Tanner N. Resistance to fracture of extracted teeth used for pre-clinical endodontic procedures: Influence of storage conditions. *European Journal of Dental Education.* 2020 May 22;24(2):272–5.
8. Hülsmann M. A critical appraisal of research methods and experimental models for studies on root canal preparation. *Int Endod J.* 2022 Mar 17;55(S1):95–118.

9. Dobroś K, Hajto-Bryk J, Zarzecka J. Application of 3D-printed teeth models in teaching dentistry students: A scoping review. *European Journal of Dental Education*. 2023 Feb 10;27(1):126–34.
10. De-Deus G, Simões-Carvalho M, Belladonna FG, Versiani MA, Silva EJNL, Cavalcante DM, et al. Creation of well-balanced experimental groups for comparative endodontic laboratory studies: a new proposal based on micro-CT and *in silico* methods. *Int Endod J*. 2020 Jul 15;53(7):974–85.
11. Reymus M, Fotiadou C, Kessler A, Heck K, Hickel R, Diegritz C. 3D printed replicas for endodontic education. *Int Endod J*. 2019 Jan 29;52(1):123–30.
12. Swain M V., Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. Vol. 1, *International journal of oral science*. 2009. p. 177–88.
13. Dawood A, Marti BM, Sauret-Jackson V, Darwood A. 3D printing in dentistry. *Br Dent J*. 2015 Dec 11;219(11):521–9.
14. Bennett GW. Multi-material polyjet printing for more lifelike endodontic practice teeth. *J Dent Educ*. 2023 Dec 18;87(S3):1852–3.
15. Robberecht L, Hornez JC, Dehurtevent M, Dufour T, Labreuche J, Deveaux E, et al. Optimization and Preclinical Perception of an Artificial Simulator for Endodontic Training: A Preliminary Study. *J Dent Educ*. 2017 Mar;81(3):326–32.
16. Anderson J, Wealleans J, Ray J. Endodontic applications of 3D printing. Vol. 51, *International Endodontic Journal*. Blackwell Publishing Ltd; 2018. p. 1005–18.
17. Llaquet Pujol M, Vidal C, Mercadé M, Muñoz M, Ortolani-Seltenerich S. Guided Endodontics for Managing Severely Calcified Canals. *J Endod*. 2021 Feb 1;47(2):315–21.

18. Duan W, Chen Y, Zhang Q, Lin X, Yang X. Refined tooth and pulp segmentation using U-Net in CBCT image. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2021 Sep 1;50(6).
19. Tricio JA, Kleiman SE, Eiriksson VI, Vicuña DP, Cacciuttolo FR, Jorquera GA, et al. Students' and tutors' perceptions of a deliberate simulated practice using patient-specific virtual and three-dimensional printed teeth models: A pilot study. *J Dent Educ*. 2022 Aug 7;86(8):1006–14.
20. Höhne C, Schmitter M. 3D Printed Teeth for the Preclinical Education of Dental Students. *J Dent Educ*. 2019 Sep;83(9):1100–6.
21. Zhang R, Tang R, Spintzyk S, Tian Y, Xiang Y, Xu Y, et al. Three-Dimensional Printed Tooth Model with Root Canal Ledge: A Novel Educational Tool for Endodontic Training. *Dent J (Basel)*. 2023 Sep 1;11(9).
22. Dobroś K, Hajto-Bryk J, Zarzecka J. The 3D printed teeth models intended for hands-on practice in conservative dentistry. *Folia Med Cracov*. 2022;62(1):29–41.
23. Pouhaër M, Picart G, Baya D, Michelutti P, Dautel A, Pérard M, et al. Design of 3D-printed macro-models for undergraduates' preclinical practice of endodontic access cavities. *European Journal of Dental Education*. 2022 May 1;26(2):347–53.
24. Suebnukarn S, Hataidechadusadee R, Suwannasri N, Suprasert N, Rhienmora P, Haddawy P. Access cavity preparation training using haptic virtual reality and microcomputed tomography tooth models. *Int Endod J*. 2011 Nov;44(11):983–9.
25. Suh E, Karl E, Ramaswamy V, Kim-Berman H. The effectiveness of a 3D virtual tooth identification test as an assessment tool for a dental anatomy course. *European Journal of Dental Education*. 2022 May 1;26(2):232–8.

26. Hsu MH, Liu CM, Chen CJ, Yang HW, Chang YC. Virtual 3D tooth creation for personalized haptic simulation training in access cavity preparation. *J Dent Sci.* 2022 Oct 1;17(4):1850–3.
27. Kustra P, Dobroś K, Zarzecka J. Making use of three-dimensional models of teeth, manufactured by stereolithographic technology, in practical teaching of endodontics. *European Journal of Dental Education.* 2021 May 1;25(2):299–304.