

Resistencia Compresiva y Microdureza del Silicato Tricálcico Según Método de Mezcla

Compressive Strength and Microhardness of Tricalcium Silicate According to Mixing Method

Recibido: 29/05/2025

Aceptado: 26/08/2025

Rivelli M¹, Lenarduzzi A², Picca M¹

1 Universidad de Buenos Aires. Facultad de Odontología. Cátedra de Materiales Dentales. Buenos Aires, Argentina.

2 Universidad de Buenos Aires. Facultad de Odontología. Cátedra de Endodoncia. Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la resistencia compresiva y la microdureza de un silicato tricálcico comparando manipulación mecánica con manipulación manual. Se utilizó Biodentine-Septodont (a base de silicato de calcio). Se confeccionaron 10 probetas cilíndricas de silicato tricálcico de 5,5 mm de diámetro y 3 mm de alto; 5 fueron manipuladas y mezcladas manualmente y 5 de forma mecánica según indicaciones del fabricante. Las muestras se almacenaron a 37 ° C y 100% humedad relativa durante 7 días. Se registraron 3 mediciones de dureza Vickers en cada probeta con durómetro. Posteriormente se midió la resistencia compresiva con la máquina de ensayos universal Instron. Los valores obtenidos fueron analizados mediante la prueba no paramétrica de Mann-Whitney estableciendo el nivel de significación en 0,05. Tanto en resistencia compresiva como en microdureza, la comparación entre manipulación mecánica y manipulación manual no evidenció diferencias estadísticamente significativas.

Palabras clave: silicato tricálcico, mezcla mecánica, mezcla manual, resistencia compresiva, dureza.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the compressive strength and microhardness of a tricalcium silicate by comparing mechanical and manual manipulation. Biodentine-Septodont (based on calcium silicate) was used. Ten cylindrical specimens of tricalcium silicate measuring 5.5 mm in diameter and 3 mm high were prepared; 5 were manually manipulated and mixed, and 5 mechanically, according to the manufacturer's instructions. The samples were stored at 37°C and 100% relative humidity for 7 days. Three Vickers hardness measurements were recorded on each specimen using a durometer. Compressive strength was subsequently measured using an Instron universal testing machine. The values obtained were analyzed using the nonparametric Mann-Whitney test, with a significance level of 0.05. The comparison

Cita (APA)

Rivelli, M., Lenarduzzi, A., y Picca, M. (2025). Resistencia compresiva y dureza de silicato tricálcico según método de mezcla. *Revista de la Facultad de Odontología. Universidad de Buenos Aires*, 40(95), 63–68. <https://doi.org/10.62172/revfouba.n95.a270>

between mechanical and manual manipulation showed no statistically significant differences in both compressive strength and microhardness.

Key words: tricalcium silicate, mechanical mixing, manual mixing, compressive strength, hardness.

INTRODUCCIÓN

Actualmente existen numerosos cementos hidráulicos de silicato de calcio que se utilizan principalmente en endodoncia y en distintas especialidades de la odontología. Fue el agregado de trióxido mineral el primero en introducirse (Torabinejad y White, 1993). En 2009, Septodont (Saint-Maur-des-Fossés, Francia) introdujo Biodentine, un material dental optimizado a base de silicato tricálcico para ser utilizado como sustituto bioactivo de la dentina (Biodentine Septodont).

El tratamiento quirúrgico de las lesiones cariosas profundas que se acercan a la pulpa y los cambios histopatológicos relacionados en el complejo dentino-pulpar plantean un desafío importante ya que un mayor riesgo de exposición pulpar reduce la previsibilidad general y el éxito a largo plazo. Las modalidades de tratamiento deben tener como objetivo mantener la vitalidad de la pulpa mediante un enfoque mínimamente invasivo que preserve las piezas dentarias y proteger los tejidos dentales sanos al restringir la invasión microbiana. Es posible un enfoque conservador gracias al advenimiento de los materiales bioactivos.

La aplicación de materiales apropiados de recubrimiento pulpar sobre el tejido pulpar expuesto para proteger la pulpa remanente se conoce como terapia pulpar vital (TPV) (Chen et al., 2024). La terapia pulpar vital tiene como objetivo fundamental estimular la formación de dentina terciaria para mantener a la pieza dentaria como una unidad funcional. Esto significa mantener la vitalidad y función del tejido pulpar que ha sido lesionado por una lesión cariosa, protocolos operativos, causas iatrogénicas o traumatismo dental (Islam et al., 2023). Los procedimientos de TPV varían desde tratamientos más conservadores que incluyen recubrimiento pulpar indirecto y recubrimiento pulpar directo, hasta tratamientos más invasivos que incluyen pulpotomía parcial y pulpotomía completa.

El éxito de la terapia pulpar vital depende de varios factores, incluida la extensión del tejido infectado, un suministro de sangre suficiente a la pieza dentaria, un periodonto sano y la capacidad de establecer un sellado coronal apropiado (Ghoddusi et al., 2014).

La introducción de los cementos de silicato tricálcicos ha provocado un cambio de paradigma en el tratamiento conservador de la caries profunda y la TPV. Actualmente, Biodentine ha demostrado ser uno de los materiales con resultados prometedores en la TPV (Akhlaghi y Khademi, 2015).

El avío del Biodentine contiene 5 cápsulas de polvo que deben ser mezcladas con un líquido que se

presenta en monodosis en exceso en relación a la cantidad de polvo. De esta mezcla se obtiene una cantidad de material suficiente para llenar una preparación que abarque toda la extensión de una corona clínica dentaria, estando el material en contacto con el tejido pulpar hasta oclusal. Este material tiene un alto costo.

En un trabajo, Domingos Pires et al. (2021) concluyeron que no es adecuado modificar las indicaciones del fabricante para la preparación del material, dado que ello altera sus propiedades físico-químicas. Cabe señalar que, en su estudio, uno de los grupos fue preparado mezclando el polvo de Biodentine con agua de grifo, lo que afectó todas las propiedades analizadas. Uno de los factores estudiados fue determinar la liberación de iones calcio por parte del material. El trabajo mencionado puso en evidencia que el uso de diferentes métodos de mezcla (vibrador de marca Septodont, amalgamador o mezcla manual) no afectó la liberación de iones de calcio siempre que no se cambiara el líquido del avío, (cloruro de calcio y agua purificada). En el grupo donde realizaron mezcla manual del contenido completo de la cápsula con mayor cantidad del líquido del avío, observaron que la adición de más líquido del avío Biodentine aumentó significativamente la liberación de iones de calcio, pero el mezclado manual con agua del grifo la disminuyó. Este dato resulta importante de mencionar debido a que representa uno de los beneficios más relevantes de los materiales a base de silicatos tricálcicos. En numerosas situaciones clínicas, y en particular en TPV, muchas de las lesiones donde se aplica el material son pequeñas y circunscriptas. Una reducida cantidad de material a base de silicato tricálcico Biodentine es suficiente para cumplir con los objetivos terapéuticos buscados (Camilleri, 2013). Esta situación sumada al alto costo del material, hace que los odontólogos y asistentes dentales puedan verse tentados a manipular Biodentine con algunas modificaciones a las recomendaciones del fabricante en un esfuerzo por reducir el desperdicio. Tales modificaciones podrían tener un impacto en las características del material hidratado final.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la resistencia compresiva y la dureza de un silicato tricálcico (Biodentine, Septodont, Saint-Maur-des-fosses, Francia) comparando la manipulación mecánica con la manipulación y mezcla manual.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se confeccionaron 10 probetas cilíndricas de silicato tricálcico Biodentine de 5,5 mm de diámetro y 3 mm de alto (Figura 1); 5 probetas fueron mezcladas manualmente y 5 de forma mecánica. La manipulación manual incluyó el fraccionamiento del polvo completando un aro de cobre con las medidas antes mencionadas, mezclado con una/tres gotas de líquido. La mezcla se realizó con espátula metálica y loleta de vidrio, aplastando, juntando y volviendo



FIGURA 1. Probeta de Biodentine sobre la cual se realizó la prueba de dureza Vickers.

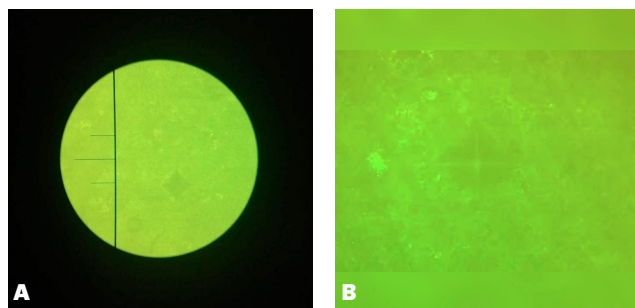


FIGURA 2. A. Pirámide cuadrangular característica de la medición de dureza Vickers. B. Pirámide cuadrangular a mayor aumento.

a aplastar, buscando promover la disolución de polvo en el líquido, realizando una mezcla concéntrica en una superficie reducida, en la búsqueda de un material con consistencia similar a la obtenida siguiendo las indicaciones del fabricante. La mezcla manual solicita mayor incorporación de líquido. Todas las probetas fueron realizadas por el mismo operador. Las probetas manipuladas de forma mecánica se realizaron siguiendo las instrucciones del fabricante.

Las muestras se almacenaron a 37° C y 100 % humedad relativa durante 7 días para su fraguado. Se registraron 3 mediciones al azar de dureza Vickers (HV) en cada probeta con durómetro (Micro-Hardness Tester Futuretech Corp FM 300) indentando con 100 g durante 20 segundos (Figura 2 A y 2 B). Posteriormente se abrieron los aros de cobre, se liberaron las muestras del material y se midió la resistencia compresiva con máquina de ensayos universal Instron (modelo 1011) a una velocidad de 1 mm/s con una celda de carga de 5 kN. Los valores obtenidos fueron expresados como media $\pm$ desviación estándar y analizados mediante la prueba no paramétrica de Mann-Whitney estableciendo el nivel de significación en 0,05.

RESULTADOS

La dureza Vickers presentó valores promedio de $129,7 \pm 19,9$ HV para la manipulación mecánica y $127,3 \pm 10,8$ HV para la manual. En cuanto a la resistencia compresiva, se obtuvieron $17,5 \pm 10,5$ MPa y $13,9 \pm 6,1$ MPa, respectivamente. Las comparaciones no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos métodos de manipulación ($p > 0,05$).

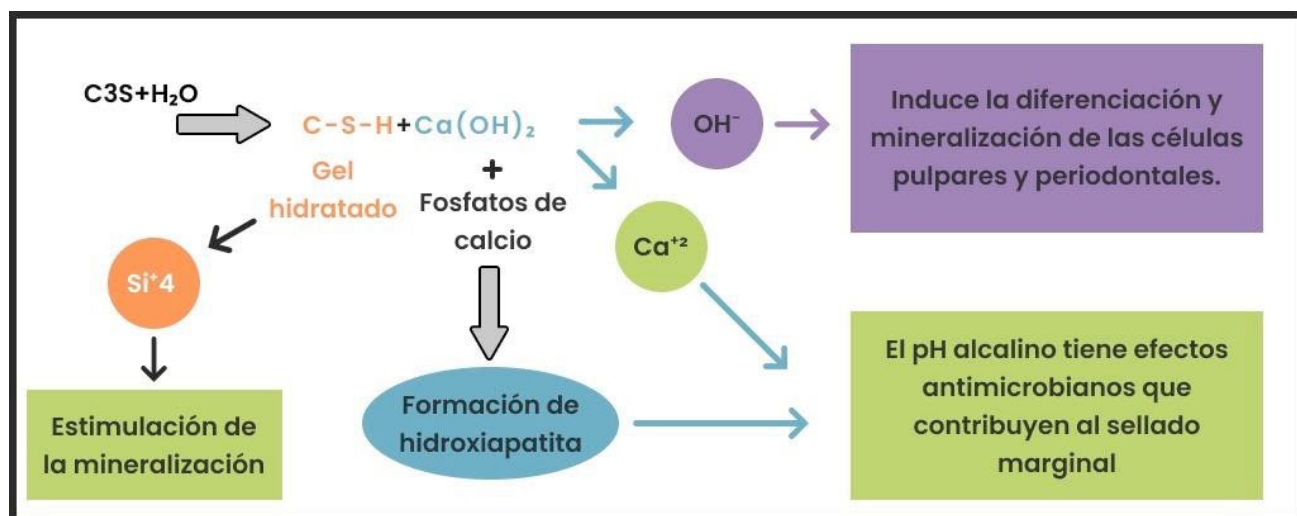


FIGURA 3. Reacción de fraguado de los materiales a base de silicatos tricalcicos. Fuente: adaptado de Arandi y Thabet, 2021, p. 3.

DISCUSIÓN

Biodentine es un material dental optimizado a base de silicato tricálcico para ser utilizado como sustituto bioactivo de la dentina (Akhlaghi y Khademi, 2015). Es de dos componentes; polvo y líquido. El polvo está compuesto principalmente por silicato tricálcico, con un porcentaje menor de carbonato de calcio y óxido de zirconio como radiopacificante. El líquido se compone principalmente de agua purificada, pero también contiene cloruro de calcio como acelerador de fraguado y un agente reductor de agua.

Las instrucciones de mezcla recomendadas por el fabricante para Biodentine incluyen colocar cinco gotas del líquido (que no corresponde a la cantidad total de líquido) en la cápsula, luego colocarla en un dispositivo de mezcla a 4000-4200 revoluciones por minuto durante treinta segundos (Biodentine Septodont). El fabricante menciona que, si la consistencia obtenida es arenosa y disgregada, se debe agregar una gota más de líquido y mezclar durante 10 segundos extra. La cápsula contiene 700 mg que al ser mezclados con el líquido forma una cierta cantidad de pasta que puede resultar excesiva para distintos tratamientos endodónticos como podría ser en algunas aplicaciones de terapia pulpar vital, donde se requiere utilizar una cantidad reducida del material. Esta situación, sumada al costo del mismo por cápsula, puede inducir a los odontólogos y asistentes dentales a realizar un esfuerzo por reducir este excedente y evitar el desperdicio, pudiendo surgir la tentación de manipular Biodentine con algunas modificaciones a las recomendaciones del fabricante.

Para este estudio, dosificamos el polvo en volumen, completando un aro de cobre individualizado especialmente de 5,5 mm de diámetro y 3 mm de altura, mezclado con la cantidad de líquido necesaria hasta lograr la consistencia de viscosidad similar a la obtenida según dosificación y mezcla indicadas por el fabricante.

Es importante conocer la reacción de endurecimiento del material y los acontecimientos que se desencadenan, ya que la ventaja de utilizar materiales a base de silicatos tricálcicos como reemplazo de la dentina, es la lixiviación del hidróxido de calcio del material fraguado (Figura 3). El hidróxido de calcio es un subproducto de la reacción de hidratación del material responsable de la mayoría de las propiedades biológicas de estos cementos. El polvo con el líquido forma un gel de hidrato de silicato e hidróxido de calcio como subproducto. El hidróxido de calcio se disocia en hidroxilos e iones de calcio, aumentando el pH y las concentraciones de calcio. El calcio liberado de los cementos de silicatos promueve su bioactividad y sus propiedades formadoras de hidroxiapatita (Bakland y Andreasen, 2012; Estrela et al., 1995). El calcio también desencadena el potencial de diferenciación de las células de la pulpa dental y facilita la mineralización que conduce a la formación de un puente de dentina sobre la superficie de la pulpa a largo plazo (Camilleri, 2011; Giraud

et al., 2019). La liberación de hidroxilos aumenta el pH de los tejidos circundantes y proporciona el efecto antimicrobiano (Bolhari et al., 2015; Zaen El-Din et al., 2019). Un entorno alcalino desencadena y promueve el proceso de reparación tisular (Çolak et al., 2016). El aumento del pH conduce a la formación de una fina capa de necrosis por coagulación entre el tejido pulpar vital y el material de recubrimiento pulpar (Chen et al., 2024). La zona necrótica protege las células pulpares subyacentes del pH alcalino del material. Luego, comienza a desarrollarse un puente dentinario reparador adyacente a la zona necrótica (Krawczyk-Stuss et al., 2019). Adicionalmente, el Biodentine libera iones de silicio en la dentina adyacente (Santander-Rengifo et al., 2023). En general, el silicio induce la proliferación de osteoblastos, promueve la mineralización y facilita la formación de puentes de dentina. Los cementos de silicatos tricálcicos tienen la capacidad de formar cristales de hidroxiapatita después del contacto con fluidos corporales que contienen fosfato (Sultana et al., 2018). La hidroxiapatita producida sella la interfaz diente/material (Kudva et al., 2022).

Una adecuada capacidad de sellado del material de recubrimiento es fundamental para el éxito del recubrimiento pulpar, ya que aísla el sitio de exposición de la microfiltración bacteriana y favorece un entorno propicio para la formación de dentina reparadora. La dureza superficial se puede utilizar como un indicador indirecto del proceso de fraguado antes descrito, siendo un parámetro principal de las propiedades mecánicas del material. La dureza Vickers del Biodentine es idéntica a la de la dentina humana sana, pero dos veces superior en comparación con otros materiales de silicato tricálcico, una característica que se logra gracias al efecto reductor de agua del polímero, que da como resultado una menor porosidad y un material estructuralmente más resistente a las fuerzas de compresión.

La mezcla manual realizada determinó que las probetas confeccionadas demandaran la utilización de mayor cantidad de líquido del avío. Los resultados de este estudio determinaron que los valores de microdureza no presentaron diferencias significativas entre el grupo preparado según las indicaciones del fabricante con mezcla mecánica y el grupo de probetas confeccionadas según mezcla manual. Es importante mencionar que estos materiales fraguan en presencia de humedad, un leve exceso del líquido del avío no indujo modificaciones en los valores de la dureza del material según los resultados obtenidos. Se espera que el cemento ideal para su uso en cualquiera de sus indicaciones tenga las propiedades físico-químicas adecuadas y resista las fuerzas de tracción y compresivas que se producen como resultado de la función del diente. El Biodentine es menos poroso gracias a la acción del agente reductor de agua presente en el líquido del avío lo que hace que el material sea más resistente a las fuerzas de compresión en relación a otros cementos de silicatos tricálcicos.

Según la información que expresa el fabricante puede estar expuesto a distintos estímulos en la cavidad bucal hasta 6 meses (Biodentine Septodont). Sufre desgaste bajo carga con el tiempo y su estética es relativamente pobre, se requiere una segunda restauración superpuesta para proporcionar resistencia mecánica, resistencia al desgaste y una estética mejorada de la restauración definitiva. Los resultados de este estudio ante la aplicación de las fuerzas compresivas sobre las probetas determinaron que no hubo diferencias significativas entre ambos grupos en relación a esta variable.

CONCLUSIÓN

Bajo las condiciones experimentales de este estudio, la manipulación mecánica y la manipulación manual del silicato tricálcico mostraron un desempeño equivalente en términos de resistencia compresiva y dureza Vickers. Estos hallazgos sugieren que ambas técnicas de mezcla pueden emplearse sin que ello implique diferencias significativas en las propiedades mecánicas evaluadas.

REFERENCIAS

- Akhlaghi, N., y Khademi, A. (2015). Outcomes of vital pulp therapy in permanent teeth with different medicaments based on review of the literature. *Dental Research Journal*, 12(5), 406–417. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.166187>
- Arandi, N. Z., y Thabet, M. (2021). Minimal intervention in Dentistry: a literature review on Biodentine as a bioactive pulp capping material. *BioMed Research International*, 2021, 5569313. <https://doi.org/10.1155/2021/5569313>
- Bakland, L. K., y Andreasen, J. O. (2012). Will mineral trioxide aggregate replace calcium hydroxide in treating pulpal and periodontal healing complications subsequent to dental trauma? A review. *Dental Traumatology*, 28(1), 25–32. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2011.01049.x>
- Bolhari, B., Ashofteh Yazdi, K., Sharifi, F., y Pirmoazen, S. (2015). Comparative scanning electron microscopic study of the marginal adaptation of four root-end filling materials in presence and absence of blood. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*, 12(3), 226–234. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC26622276>
- Camilleri J. (2011). Characterization and hydration kinetics of tricalcium silicate cement for use as a dental biomaterial. *Dental Materials*, 27(8), 836–844. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2011.04.010>
- Camilleri J. (2013). Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *Journal of Dentistry*, 41(7), 600–610. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2013.05.003>
- Chen, C. L., Chi, C. W., Lee, C. Y., Tsai, Y. L., Kasimayan, U., K P O, M., Lin, H. P., y Chiang, Y. C. (2024). Effects of surface treatments of bioactive tricalcium silicate-based restorative material on the bond strength to resin composite. *Dental Materials*, 40(1), 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.10.027>
- Çolak, H., Tokay, U., Uzgur, R., Uzgur, Z., Ercan, E., y Hamidi, M. M. (2016). The effect of different adhesives and setting times on bond strength between Biodentine and composite. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 14(2), e217–e222. <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000266>
- Domingos Pires, M., Cordeiro, J., Vasconcelos, I., Alves, M., Quaresma, S. A., Ginjeira, A., y Camilleri, J. (2021). Effect of different manipulations on the physical, chemical and microstructural characteristics of Biodentine. *Dental Materials*, 37(7), e399–e406. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.03.021>
- Estrela, C., Sydney, G. B., Bammann, L. L., y Felipe Júnior, O. (1995). Mechanism of action of calcium and hydroxyl ions of calcium hydroxide on tissue and bacteria. *Brazilian Dental Journal*, 6(2), 85–90. <http://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/16486>
- Ghoddusi, J., Forghani, M., y Parisay, I. (2014). New approaches in vital pulp therapy in permanent teeth. *Iranian Endodontic Journal*, 9(1), 15–22. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC24396371/>
- Giraud, T., Jeanneau, C., Rombouts, C., Bakhtiar, H., Laurent, P., y About, I. (2019). Pulp capping materials modulate the balance between inflammation and regeneration. *Dental Materials*, 35(1), 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.008>
- Islam, R., Islam, M. R. R., Tanaka, T., Alam, M. K., Ahmed, H. M. A., y Sano, H. (2023). Direct pulp capping procedures - Evidence and practice. *The Japanese Dental Science Review*, 59, 48–61. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2023.02.002>
- Krawczyk-Stuss, M., Nowak, J., y Bołtacz-Rzepkowska, E. (2019). Bond strength of Biodentine to a resin-based composite at various acid etching times and with different adhesive strategies. *Dental and Medical Problems*, 56(1), 39–44. <https://doi.org/10.17219/dmp/103589>
- Kudva, A., Raghunath, A., S Nair, P. M., Shetty, H. K., D'Costa, V. F., y Jayaprakash, K. (2022). Comparative evaluation of shear bond strength of a bioactive material to composite resin using three different universal bonding agents: an in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, 25(1), 54–57. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_549_21

Santander-Rengifo, F., Carreras-Presas, C. M., Aroste-Andía, R., Hernández-Huamaní, E., Gavilán-Chávez, P., Cervantes-Ganoza, L., y Cayo-Rojas, C. (2024). Microtensile bond strength and failure mode of different universal adhesives on human dentin. *International Dental Journal*, 74(6), 1239–1247. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2024.04.009>

Sultana, N., Nawal, R. R., Chaudhry, S., Sivakumar, M., y Talwar, S. (2018). Effect of acid etching on the micro-shear bond strength of resin composite-calcium silicate interface evaluated over different time intervals of bond aging. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, 21(2), 194–197. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_167_17

Torabinejad, M. y White, D. J. (1993). *Dental filling material and method of use*. U.S. Patent No. 5415547A [patente]. <https://patents.google.com/patent/US5415547A>

Zaen El-Din, A. M., Hamama, H. H., Abo El-Elaa, M. A., Grawish, M. E., Mahmoud, S. H., y Neelakantan, P. (2020). The effect of four materials on direct pulp capping: An animal study. *Australian Endodontic Journal*, 46(2), 249–256. <https://doi.org/10.1111/aej.12400>

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Dirección para correspondencia

Cátedra de Materiales Dentales
Facultad de Odontología
Universidad de Buenos Aires
Marcelo T. de Alvear 2142. Piso 3° B
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1122AA
mariana.rivelli@odontologia.uba.ar

La Revista de la Facultad de Odontología de la Universidad de Buenos Aires se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0

