

Desarrollo de un cemento geopolimérico como alternativa para aplicaciones odontológicas.

América Susana Mares García^{a,c}, Hanna Moreno Terrones^b, Erasto Armando Zaragoza Contreras^a, Ángel Gustavo Bernal Treviño^c, Miguel Alonso Orozco Alvarado^a, Alejandro Vega Ríos^a, Claudia Ivone Piñón Balderrama^d, Claudia Alejandra Hernández Escobar^{a*}.

^{a)} Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Ingeniería y Química de Materiales, Av. Miguel de Cervantes Saavedra #120, Chihuahua, Chihuahua, México. C.P.31600; ^{b)} Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Chihuahua, México; ^{c)} Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Odontología, México. ^{d)} Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación Seciht, México. claudia.hernandez@cimav.edu.mx

Resumen: Se desarrolló un cemento geopolimérico innovador como alternativa sostenible a los cementos dentales convencionales como el Biodentine® y el MTA®, empleados en la reparación de defectos dentarios. El geopolímero fue sintetizado a partir de ceniza volante derivada de cáscaras de trigo; la formulación incluyó la síntesis de un copolímero de ácido poli(acrílico-co-itacónico), evaluándose su preparación y propiedades físico-mecánicas. Los resultados indican que el cemento geopolimérico presenta propiedades fisicoquímicas y mecánicas superiores; entre ellas, microdureza mayor, radiopacidad adecuada, y un tiempo de fraguado reducido en comparación con los cementos tradicionales. Estas características sugieren que el cemento tendrá un desempeño mecánico adecuado y ventajas respecto a sostenibilidad y proceso de fabricación, posicionándolo como una opción prometedora y viable para aplicaciones odontológicas.

Introducción

Los geopolímeros son materiales inorgánicos con una amplia gama de aplicaciones, que incluyen sistemas de construcción, recubrimientos térmicos y componentes para la industria aeroespacial. Su potencial en medicina y, de forma particular, en odontología, ha despertado un creciente interés debido a sus excelentes propiedades mecánicas, como alta resistencia a la compresión y buena durabilidad, así como a su proceso de obtención relativamente sencillo, basado en la mezcla de un precursor sólido con un activador alcalino [1].

En el contexto de la endodoncia, el presente trabajo se orienta al desarrollo de un cemento geopolimérico que pueda proponerse como alternativa a los cementos de uso clínico habitual, principalmente Biodentine y el Agregado de Trióxido Mineral (MTA); ambos pertenecen a la familia de los cementos de silicato de calcio y se consideran actualmente el estándar para la reparación de defectos dentinarios y de las comunicaciones entre el sistema de conductos radiculares y el ligamento periodontal, por lo que constituyen el punto de referencia frente al cual se evalúan las características fisicoquímicas del cemento geopolimérico propuesto [2,3].

Parte experimental.

Materiales. Para la síntesis del copolímero ácido poli(acrílico-co-itacónico) se emplearon como monómeros ácido acrílico y ácido itacónico, así como persulfato de amonio como iniciador radicalario de la polimerización. Se sometieron a reacción en presencia del iniciador bajo atmósfera inerte de nitrógeno. La mezcla se mantuvo a 70–80 °C con agitación constante durante 4 h, y al término de la reacción el copolímero obtenido se aisló por separación del disolvente y se secó hasta peso constante.

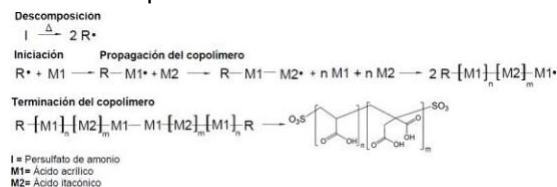


Figura 1. Esquema del mecanismo de polimerización radicalica.

Para la formulación del cemento geopolimérico se utilizó como fase sólida la ceniza volante obtenida mediante calcinación de cáscaras de trigo, junto con el copolímero ácido poli(acrílico-co-itacónico) previamente sintetizado y aditivos. Los componentes

fueron mezclados hasta obtener una pasta homogénea y la mezcla se compactó en moldes, controlando la humedad del sistema. Posteriormente, los especímenes se sometieron a un proceso de curado de 100–130 s para promover la reacción de geopolimerización y el desarrollo de las propiedades iniciales del cemento.

Instrumentación. La síntesis del copolímero se realizó con parrilla de calentamiento, agitador magnético y fuente de N₂. Para la formulación: balanzas de precisión, mezclador y prensas de compactación. Para evaluación: espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), equipo radiográfico dental, microdurómetro Vickers, medidor de pH y cronómetro.

Resultados y discusión.

Las formulaciones de cemento geopolimérico desarrolladas mostraron espectros FTIR característicos (Fig.2), en las que se muestran bandas asociadas a enlaces Si-O-Si y Al-O-Si, así como señales de grupos carboxílicos del copolímero incorporado; con ello se confirma la reacción de polimerización y la formación de la matriz híbrida orgánico-inorgánica, diferenciándose de los patrones observados para el cemento Biodentine, en el que se observa predominio de fases de silicato de calcio hidratado.

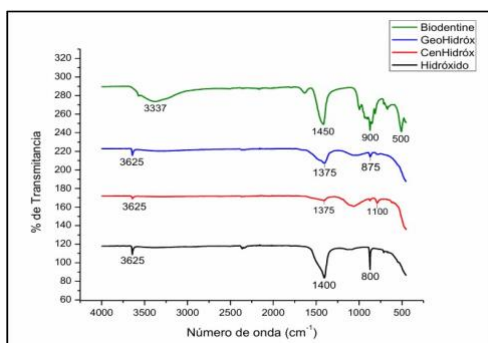


Figura 2. Espectro FTIR de las distintas formulaciones realizadas.

La radiopacidad fue evaluada mediante radiografías (Fig.3), y gráficos comparativos (Fig.4) en los que se observaron altos niveles de radiopacidad en las formulaciones de geopolímero con hidróxido de calcio (GHM) y

ceniza con hidróxido de calcio (CHM), lo que sugiere que podrían facilitar su visualización clínica en imágenes dentales, y por lo tanto un desempeño equivalente o superior al de los cementos comerciales.

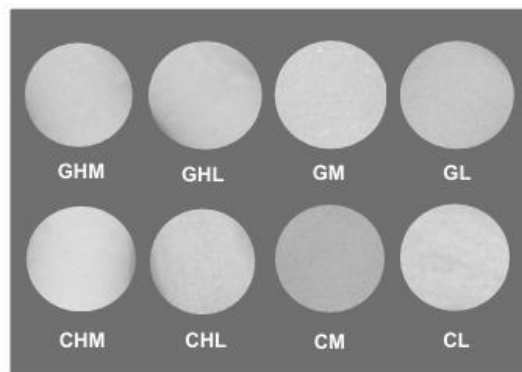


Figura 3. Radiografías de las mezclas obtenidas.

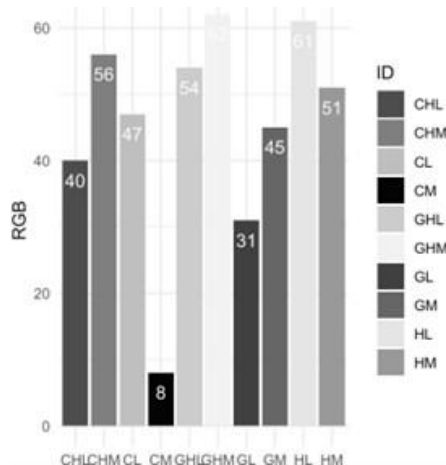


Figura 4. Representación gráfica de la radiopacidad.

En la Tabla 1 se resumen las propiedades físico-mecánicas de interés: las formulaciones geopoliméricas alcanzaron valores de microdureza (HVN) superiores a Biodentine (50.56 HVN) y MTA (39.9 HVN), con tiempos de fraguado reducidos (100-130 s) y pH inicial alcalino que se estabiliza favorablemente tras 3 h. Estos resultados sugieren que el cemento propuesto podría ser un material con mayor resistencia al desgaste, además de proporcionarle una manipulación clínica más eficiente.

Tabla 1. Propiedades físicas de las formulaciones evaluadas y los cementos comerciales.

	Bio-dentine	MTA	CenH MW	CenH UV	GeoH MW	Geo UV	CaOH ₂ MW	CaOH ₂ UV
pH Inicial	10	10.2	10	10	12.5	12.5	12	12
pH a las 3h	12	12.5	12	12	10	10	12.5	12.5
Microdureza (HVNI)	50.56	39.9	13.74	14.7	34.72	52.20	21.48	20.62
Tiempo de fraguado	720 s	900 s	100 s	540 s	130 s	420 s	100 s	420 s

CenH=ceniza con hidróxido de calcio

GeoH=geopolímero

MW=microondas

UV=lámpara UV

La microdureza elevada se atribuye a la densificación de la matriz geopolimérica promovida por el activador alcalino y el copolímero, mientras que la radiopacidad mejorada puede relacionarse con la dispersión homogénea de fases radiopacas en la ceniza volante calcinada.

En conjunto, estas propiedades fisicoquímicas indican que podría comportarse de forma equivalente o superior frente a cementos convencionales, con ventajas adicionales en sostenibilidad dado el uso de residuos agroindustriales.

Conclusiones.

El cemento geopolimérico formulado a partir de ceniza volante de cáscaras de trigo y copolímero poli(acrílico-co-itaconico) presenta propiedades fisico-mecánicas prometedoras para aplicaciones endodónticas, superando a Biodentine y MTA en microdureza y tiempo de fraguado. Su alta radiopacidad y estabilidad de pH indican que podría ser una alternativa sustentable viable. Es necesario realizar evaluaciones de biocompatibilidad *in vitro*, así como pruebas *in vivo* para su validación completa.

Agradecimientos.

A Raúl Armando Ochoa, Manuel Román Aguirre, José Eduardo García, Gabriel Piñón, a los integrantes del laboratorio de Química de Polímeros, a los organizadores del 20° Verano de Investigación Científica del CIMAV, al Instituto Tecnológico de Chihuahua y a la

Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación - Secihti.

Referencias.

Puspasari, V., Harmaji, A., Febrina, E., Alverina, C., & Siswayanti, B. (2024). Geopolymer for medical application: a review. *Physics and Chemistry of Solid State*, 25(3), 626–638.

<https://doi.org/10.15330/pcss.25.3.626-638>

Elizondo Alvarado, M. L.; López Martínez, F.; Santoy Lozano, A. MTA vs. Biodentine. **Rev. Mex. Estomatol.* 2016, 3 (2, Suplemento), 93–177.

<https://www.remexesto.com/index.php/remexesto/article/view/93/177>

Abbasi R, Nodehi A, Atai M. Synthesis of poly(acrylic-co-itaconic acid) through precipitation photopolymerization for glass-ionomer cements: Characterization and properties of the cements. *Dent Mater.* 2020 Jun;36(6):e169-e183. doi: 10.1016/j.dental.2020.03.006. Epub 2020 Apr 16. PMID: 32307121.

Rihan, M.A.M.; Alahmari, T.S.; Onchiri, R.O.; Gathimba, N.; Sabuni, B. Impact of Alkaline Concentration on the Mechanical Properties of Geopolymer Concrete Made up of Fly Ash and Sugarcane Bagasse Ash. *Sustainability* 2024, 16, 2841. <https://doi.org/10.3390/su16072841>

Nabeel, M., Abu-Seida, A.M., Elgendy, A.A. et al. Biocompatibility of mineral trioxide aggregate and biodentine as root-end filling materials: an *in vivo* study. *Sci Rep* 14, 3568 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53872-w>

Misra R, Toprani N, Bhagwat S, Vaishnav A, Dureja A, Bhosale O. Efficacy of Mineral Trioxide Aggregate Versus Biodentine as a Direct Pulp Capping Material in Carious Human Mature Permanent Teeth: A Systematic Review. *Cureus.* 2025 Jul 31;17(7):e89154. doi: 10.7759/cureus.89154. PMID: 40895997; PMCID: PMC123984