

# Materiales reciclados e inhibidores naturales para diseñar concretos más durables y sustentables

YOHANDRY DÍAZ BLANCO, ELSA CARMINA MENCHACA CAMPOS, CAROLIN IVETTE ROCABRUNO VALDÉS, ALEJANDRO FLORES NICOLÁS

El Dr. Díaz Blanco es Ingeniero Civil egresado de la Universidad Tecnológica de la Habana. Obtuvo la Maestría y el Doctorado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas en el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CI-ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Es investigador posdoctoral en el CIICAp-UAEM, donde desarrolla inhibidores verdes a partir de sargazo.

La Dra. Menchaca Campos es Química Industrial egresada de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería (FC-QeI) de la UAEM. Obtuvo la Maestría en Química en la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa y el Doctorado en Ciencias e Ingeniería de Materiales en el CIICAp-FCQeI-UAEM. Es Profesora Investigadora de Tiempo Completo Titular "C" en el CIICAp, desarrollando proyectos relacionados con el diseño y síntesis de materiales híbridos nanoestructurados.

La Dra. Rocabrano Valdés es Ingeniera Química egresada de la Universidad Tecnológica de la Habana. Obtuvo la Maestría y Doctorado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas en el CIICAp-UAEM. Ha colaborado en diferentes proyectos de investigación con el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) y el Instituto de Investigaciones en Materiales (IIM) de la UNAM. El Dr. Flores Nicolás es Arquitecto Urbanista por la Universidad Autónoma de Guerrero, con una Maestría y Doctorado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas por el CIICAp-UAEM. Trabaja en el uso de inhibidores verdes de corrosión, fibras naturales y sintéticas y materiales de carbono agregados al concreto estructural, para analizar sus propiedades mecánicas y fisicoquímicas en la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

**El concreto reforzado en la construcción moderna**  
El concreto reforzado es el material de construcción más empleado en la época moderna. Este material se emplea para generar infraestructuras sólidas y duraderas [1]. Sin embargo, uno de sus principales desafíos no está en su desempeño inicial, sino en su deterioro a lo largo del tiempo, especialmente cuando el acero de refuerzo entra en contacto con ambientes húmedos o con presencia de cloruros.

En la actualidad, la ingeniería de materiales busca mejorar tanto la durabilidad del concreto como su impacto ambiental. Esto ha impulsado el desarrollo de nuevas alternativas que no solo optimicen sus propiedades mecánicas, sino que también reduzcan la generación de resi-

duos y fomenten el aprovechamiento de materiales de desecho.

## Materiales reciclados y compuestos naturales como agregados en el concreto

En México, el uso alternativo de residuos sólidos y materiales naturales ha sido tema de interés en universidades y centros de investigación, así como en instituciones gubernamentales, con el objetivo de encontrar soluciones viables que permitan reutilizar parte de estos desechos y disminuir su impacto ambiental.

La producción y consumo constante de plásticos han contribuido a la contaminación del suelo y del agua, además de saturar la capacidad de los sistemas de disposición final [2]. En este contexto, diversas investigaciones han propuesto el uso de fibras de PET (tereftalato de polietileno) reciclado como refuerzo en el concreto, con el objetivo de desarrollar materiales compuestos más sostenibles y con mejoras en propiedades como resistencia, durabilidad y reducción de la permeabilidad.

También se han estudiado materiales de origen natural como posibles aditivos para el concreto. Entre ellos destacan el nopal y el sargazo, debido a su disponibilidad y a sus propiedades físico-químicas.

En el caso del nopal, su interés se centra en el *mucilago* presente en sus tejidos, un compuesto viscoso que puede modificarse para mejorar el comportamiento del concreto. Su incorporación en mezclas cementantes ha mostrado potencial para mejorar la durabilidad del concreto y su resistencia frente a procesos de corrosión [3].

Por otro lado, el sargazo se ha convertido en un problema ambiental relevante en las costas del Caribe mexicano y otras regiones del mundo, debido a su llegada masiva en los últimos años. Este fenómeno ha afectado ecosistemas costeros, actividades económicas y el sector turístico en estados como Quintana Roo y Yucatán [4]. Sin embargo, distintos estudios han comenzado a explorar su posible aprovechamiento dentro de materiales cementantes.

En este trabajo se revisan algunas de las alternativas que actualmente se investigan en el Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), centradas en el uso de PET reciclado proveniente de envases de bebidas, así como del nopal y el sargazo como materiales con potencial aplicación en la mejora de la durabilidad del concreto.

## Uso del PET reciclado en el concreto reforzado

El PET es un polímero termoplástico ampliamente utilizado en la industria de bebidas y alimentos, especialmente en la fabricación de botellas y envases desechables. Debido a su alto consumo, también se ha convertido en uno de los residuos plásticos más comunes en los

sistemas de gestión de desechos.

En México se generan aproximadamente 120,128 toneladas de residuos sólidos al día, de los cuales una fracción corresponde a plásticos reciclables como PET, PEAD y PEBD. En particular, el consumo nacional de envases de PET alcanza alrededor de 860,000 toneladas al año, y en 2024 se logró recuperar cerca del 64% de este material, equivalente a 578,000 toneladas [5]. Ante este panorama, distintas instituciones han impulsado investigaciones para dar nuevos usos al PET reciclado, incluyendo su aplicación en materiales de construcción.

En el CIICAp-UAEM, se han desarrollado estudios enfocados en la reutilización de botellas de PET postconsumo como refuerzo en concretos. Díaz-Blanco et al. (2020), diseñaron un material con agregados de PET. El PET fue sometido a procesos de lavado, secado y corte, con el objetivo de obtener distintas geometrías, principalmente fibras delgadas, fibras cortas y partículas (Figura 1), las cuales fueron incorporadas en mezclas cementantes en diferentes proporciones.

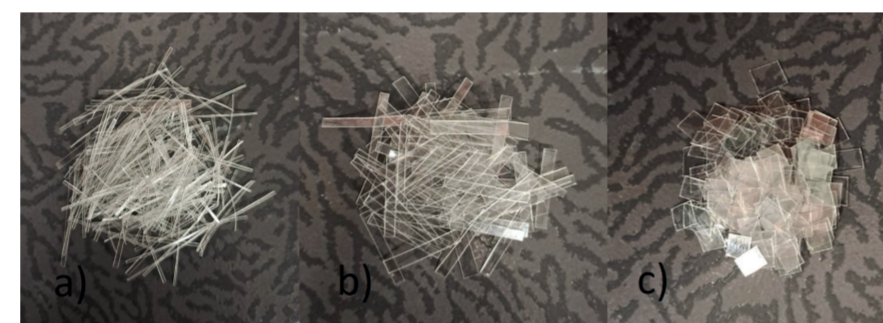


FIGURA 1. PET reciclado en distintas formas: a) fibras delgadas, b) fibras cortas y c) partículas.

Las probetas de concreto fueron expuestas a ambientes simulados de agua de mar mediante inmersión parcial, con el fin de reproducir condiciones agresivas similares a las encontradas en estructuras costeras.

Durante los ensayos se analizaron parámetros electroquímicos como la *velocidad de corrosión* y el *potencial de corrosión*, indicadores directamente relacionados con la durabilidad del material. Los autores demostraron que pequeñas cantidades de PET, alrededor del 3% como sustituto parcial de la arena, retrasaban el proceso de corrosión del acero de 150 días a 300 días, el doble del tiempo de exposición con respecto a la muestra control, especialmente cuando se emplearon partículas de PET en la mezcla [1].

Este comportamiento se atribuye a que el PET actúa como una barrera física dentro de la matriz del concreto, reduciendo la penetración de agua y agentes agresivos como los iones cloruro (Figura 2). Como resultado, se ralentiza el proceso de deterioro del acero de refuerzo, lo que abre la posibilidad de reutilizar este residuo plástico en aplicaciones dentro de la industria de la construcción. Los autores observaron diferencias significativas entre las diferentes geometrías de PET, alcanzándose valores de velocidad de corrosión ( $I_{corr}$ ) despreciables para las

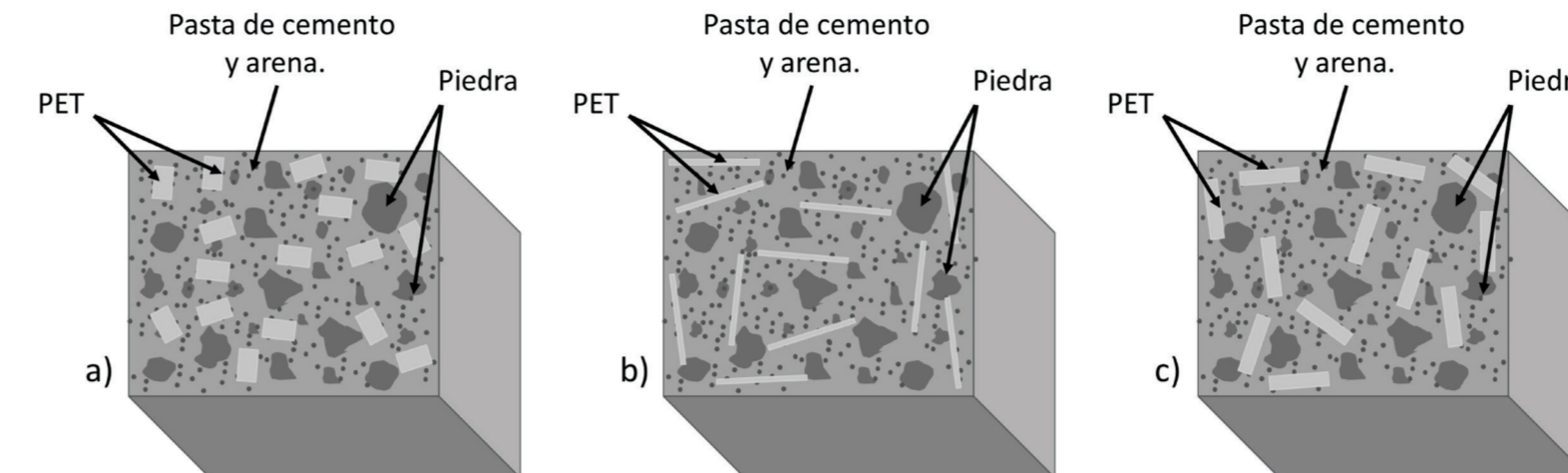


FIGURA 2. CONCRETO con agregados de PET: a) partículas rectangulares, b) fibras largas y c) fibras cortas.

muestras con partículas, valores de  $I_{corr}$  bajos para las muestras con fibras cortas y valores moderados para las muestras con fibras largas.

Estos resultados reflejan el valor de la investigación desarrollada en el CIICAp-UAEM, donde se combinan enfoques experimentales y aplicados para generar alternativas que contribuyan tanto a la mejora del desempeño de materiales

de construcción como a la mitigación de problemas ambientales asociados a los residuos plásticos.

## El mucilago de nopal como inhibidor de la corrosión

El nopal (perteneciente al género *Opuntia*), tiene una amplia distribución en México, abarcando regiones como el Altiplano, el Bajío, el Eje Neovolcánico y el valle de Tehuacán-Cuicatlán, entre otras zonas áridas y semiáridas del país. En estos ecosistemas también se encuentran especies endémicas de importancia ecológica y económica [6]. Más allá de su uso tradicional como alimento, el nopal ha despertado interés en el área de materiales de construcción debido a su contenido de *mucilago*, un biopolímero natural con propiedades viscosas que puede influir en el comportamiento del concreto fresco y endurecido. Este compuesto ha sido estudiado como aditivo natural con potencial para modificar la trabajabilidad del material y mejorar su desempeño frente a la humedad y agentes agresivos [3]. La incorporación de algunos de estos polímeros naturales (polisacáridos) como alternativa sostenible para mejorar algunas de las propiedades del concreto y su influencia en el proceso corrosivo de las estructuras de concreto es un fenómeno de reciente investigación [7]. En nuestro

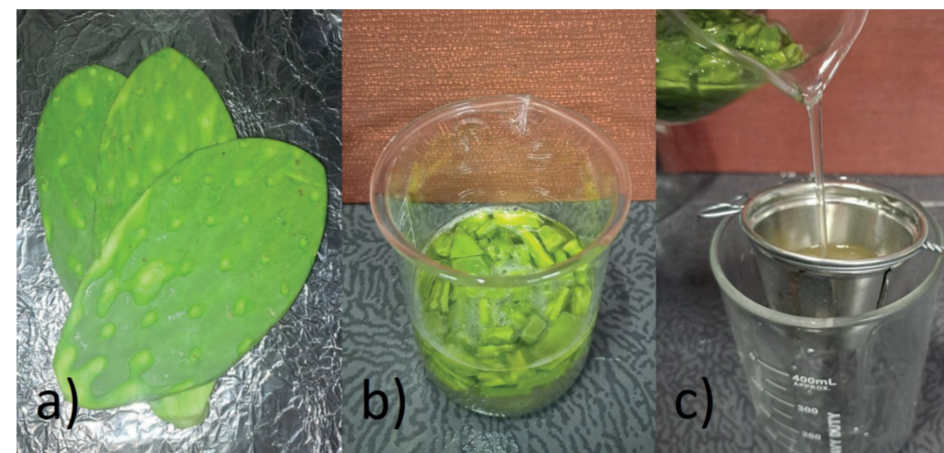


FIGURA 3. A) Hojas frescas de nopal, b) maceración en agua durante 48 horas y c) filtrado del mucilago.

estudio, obtuvimos el biopolímero a partir de hojas frescas de nopal cortadas en pequeños fragmentos y sometidas a un proceso de maceración en agua durante 48 horas, seguido de filtración para separar los sólidos (Figura 3). El mucilago obtenido fue incorporado en distintas concentraciones como sustituto parcial del agua de mezclado en la elaboración de probetas de concreto. Posteriormente, las muestras endurecidas se expusieron a soluciones de cloruro de sodio al 3% para simular condiciones similares al agua de mar.

A partir de ensayos electroquímicos, se evaluaron parámetros como el potencial de corrosión y la velocidad de corrosión, los cuales permiten estimar el grado de deterioro del acero de refuerzo. Los resultados mostraron que el mucilago de nopal puede actuar como un retardante del fraguado, lo cual puede ser útil en climas cálidos al ayudar a conservar la humedad interna del concreto por más tiempo [3]. No obstante, la resistencia a largo plazo no se ve afectada por la acción del mucilago de nopal.

Asimismo, se observó una mejora en la durabilidad del material en ambientes salinos, con una resistencia a la corrosión superior a 400 mil  $ohm \cdot cm^2$  contra 50 mil  $ohm \cdot cm^2$  para la muestra control. De las concentraciones evaluadas, se determinó que la concentración que contenía una parte de nopal y tres partes de agua (1:3) fue la que alcanzó velocidades de corrosión en el rango de despreciables. En conjunto, estos efectos contribuyen a extender la vida útil del concreto reforzado [3].

## Interacción entre el mucilago de nopal y diferentes geometrías de PET

La incorporación conjunta de mucilago de nopal y fibras y partículas de PET mostró un efecto más favorable frente a la corrosión del acero de refuerzo que cuando cada material se utilizó de manera independiente [8]. Mientras que el mucilago de nopal contribuyó a disminuir la porosidad del concreto y a conservar la humedad interna durante el proceso de fraguado, el PET actuó como una barrera física capaz de dificultar la penetración de agentes agresivos, particularmente los iones cloruro presentes en ambientes salinos. Al finalizar el periodo de exposición a la

solución salina, las probetas elaboradas con ambos materiales presentaron menores velocidades de corrosión y valores de potencial más estables en comparación con aquellas fabricadas únicamente con mucilago o únicamente con PET. Este comportamiento sugiere un efecto complementario entre ambos elementos, ya que la acción conjunta favoreció una matriz de concreto más compacta y con menor permeabilidad [8].

Estos resultados resaltan el potencial de ambos residuos como alternativa sustentable para mejorar la durabilidad del concreto en ambientes agresivos.

## El extracto de sargazo (spp.) y su efecto inhibidor de la corrosión

Las algas del género *Sargassum* se distribuyen ampliamente en regiones tropicales y templadas, donde forman parte importante de la biomasa en ecosistemas costeros [9]. Aunque existen diversas especies del género *Sargassum*, en las costas de México se han identificado a *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans* entre otras [10]. Estas algas flotan en grandes agregaciones que se desplazan principalmente en el Atlántico Norte, impulsadas por corrientes oceánicas. En determinados periodos del año, estos conglomerados llegan a las costas del Caribe mexicano, donde se acumulan en forma de arribazones de distinta magnitud [9].

En los últimos años, el sargazo ha dejado de considerarse únicamente un residuo marino para convertirse en un material de interés científico debido a su composición y disponibilidad. En este contexto, en el CIICAp-UAEM se desarrolla un proyecto (con apoyo de SECITI), orientado a su aprovechamiento como posible inhibidor de corrosión y como aditivo en materiales cementantes, con el objetivo de mejorar la durabilidad del concreto.

El sargazo fue recolectado en las costas de Yucatán y se llevó a cabo un proceso de lavado para eliminar pequeños crustáceos, arena y residuos, seguido por un secado al sol por 48 horas (Figura 4).



FIGURA 4. A) Sargazo recolectado en Yucatán, b) sargazo secado al sol por 48 horas, c) sargazo en polvo y d) extracto de sargazo.

Posteriormente, se realizó un proceso de secado en horno a 60 °C y, una vez eliminada la humedad, el material fue molido hasta obtener un polvo fino. Mediante un proceso de extracción simple con etanol se obtuvo un extracto líquido, el cual fue concentrado y utilizado como inhibidor de la corrosión del acero de refuerzo.

En esta investigación se evaluaron varillas de acero de refuerzo expuestas a un medio salino. Los resultados preliminares evidencian un efecto inhibitorio moderado del extracto de sargazo (spp.), observándose una disminución de la velocidad de corrosión conforme aumenta la concentración del extracto aplicado, y alcanzándose el mejor resultado para la concentración de 1g/l de extracto de sargazo (spp.).

Este comportamiento se asocia principalmente a la presencia de biopolímeros naturales, como *alginatos*, y otros polisacáridos característicos de las algas pardas [10]. Estos compuestos pueden adsorberse parcialmente sobre la superficie del acero y favorecer la formación de una barrera física que limita el contacto directo entre el metal y los agentes agresivos del medio.

En conclusión, el sargazo representa una alternativa sustentable y de bajo impacto ambiental para el desarrollo de inhibidores verdes de corrosión. Esta estrategia ofrece una vía potencial para la valorización del sargazo acumulado en zonas costeras, promoviendo soluciones integrales desde la perspectiva de la sostenibilidad y la economía circular.

## Conclusiones

Se determinó que la incorporación de PET, en diferentes geometrías y porcentajes, favoreció el desempeño del concreto frente a procesos de corrosión, contribuyendo a una mejora en la durabilidad del material y en la protección del acero de refuerzo. El mucilago de nopal mostró un comportamiento favorable como aditivo natural, debido a su capacidad para interactuar con los productos de hidratación del cemento, promoviendo una matriz más compacta y menos porosa. Esta modificación microestructural favoreció una mayor estabilidad de la capa protectora del acero de refuerzo y una disminución en la penetración de agentes agresivos. Por otra parte, los resultados obtenidos con extractos de Sargazo evidenciaron un efecto inhibitorio sobre la corrosión del acero de refuerzo en medios salinos. El incremento en la concentración del extracto se relacionó con menor velocidad de corrosión, lo que sugiere la participación de polímeros naturales capaces de adsorberse sobre la superficie metálica y limitar la acción de los cloruros.

En conjunto, los resultados obtenidos indican que tanto los materiales reciclados como los compuestos naturales estudiados poseen potencial para ser utilizados en el desarrollo de concretos más durables y sostenibles. No obstante, se requiere profundizar en el comportamiento a largo plazo y mecanismos de interacción físico-química, con el fin de establecer criterios técnicos que permitan su aplicación a escala real en estructuras de concreto reforzado.

## Referencias

- Díaz Blanco, Y., Menchaca Campos, E. C., Rocabrano Valdés, C. I., & Uruchurtu-Chavarín, J. (2020). Effect of Recycled PET (Polyethylene Terephthalate) on the Electrochemical Properties of Rebar in Concrete. *International Journal of Civil Engineering*, 18(5), 487–500. <https://doi.org/10.1007/s40999-019-00478-3>
- Chong, B. W., & Shi, X. (2023). Meta-analysis on PET plastic as concrete aggregate using response surface methodology and regression analysis. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43065-022-00069-y>
- Díaz-Blanco, Y., Menchaca-Campos, E., Rocabrano-Valdés, C., & Uruchurtu-Chavarín, J. (2019). Influencia de un aditivo natural (mucilago de nopal) en las propiedades electroquímicas del acero de refuerzo del concreto. *Revista ALCONPAT*, 9(3), 260–276. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i3.429>
- Redacción, El Sol de Yucatán (14 de junio de 2025). Alerta en la costa de Yucatán por arribo masivo de sargazo. <https://solyucatan.mx/alerta-en-la-costa-de-yucatan-por-arribo-masivo-de-sargazo/>
- ECOCE (2026). 3. Consulta cifras y estadísticas. [https://www.ecoce.mx/cifras\\_y\\_estadisticas](https://www.ecoce.mx/cifras_y_estadisticas)
- CONABIO, Biodiversidad Mexicana (2023). Nopales. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/nopales>
- Martínez-Barrios, E., Páramo-García, U., Suárez-Domínguez, E. J., & Pérez-Sánchez, J. F. (2025). The Effect of Nopal Mucilage Addition on the Corrosion Rate of Reinforcement Steel in Concrete. *Surfaces*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/surfaces8020026>
- Menchaca-Campos, E. C., Díaz-Blanco, Y., Rocabrano-Valdés, C. I., Tamayo-Aguilar Y., Flores-Nicolas A., & Uruchurtu-Chavarín, J. (2026). Design of a cementitious material with nopal mucilage and PET aggregates to improve the electrochemical properties of reinforced concrete. *Revista ALCONPAT*, 16(2), 202–222. <https://doi.org/10.21041/ra.v16i2.1012>
- Almeida, A. G., Yanelis, I., Guerrero, R., De La, M., & Núñez Vázquez, C. (2024). Métodos para la obtención de extractos de macroalgas y cianobacterias, evaluación de sus actividades biológicas. *Cultivos Tropicales*, 45(1). <https://cu-id.com/2050/v45n1e08>
- Desrochers, A., S-A. Cox, H.A. Oxenford and B. van Tussenbroek. 2020. Sargassum uses guide: a resource for Caribbean researchers, entrepreneurs and policy makers. CERMES Technical Report No. 97, 172 pp. <https://sargassumhub.org/sargassum-uses-guide-now-available/>

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org](http://www.acmor.org)  
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: [coord.comite.editorial.acmor@gmail.com](mailto:coord.comite.editorial.acmor@gmail.com)

