

Suelos expansivos: ¿puede una bacteria salvar tu casa?

Leonardo E. García-Mesa^{1*} y Sergio A. Zamora-Castro¹

¹ Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, Universidad Veracruzana

* Dirección para correspondencia: zs25028399@estudiantes.uv.mx

Los suelos expansivos experimentan cambios volumétricos en función de su contenido de humedad, generando expansiones o contracciones. Este comportamiento ocasiona afectaciones en las construcciones de ingeniería civil, como agrietamientos, asentamientos diferenciales, colapsos estructurales, entre otros. Para contrarrestar esta problemática, existen técnicas de estabilización que permiten modificar las propiedades del suelo, cuyo objetivo es reducir su potencial expansivo y mejorar su resistencia mecánica.

El uso de cal y cemento, como agentes estabilizadores que han demostrado su eficacia en la estabilización del suelo, representa un problema ambiental debido a la generación de elevadas cantidades de dióxido de carbono durante su fabricación. En la actualidad, el incremento sostenido de las emisiones de gases de efecto invernadero ha impulsado la búsqueda de alternativas que permitan mitigar el impacto ambiental.

La literatura destaca el uso de la goma xantana como una opción sustentable e innovadora en la estabilización de suelos. La aplicación de este biopolímero se encuentra aún en evaluación, ya que los estudios previos no han logrado un consenso respecto de su efectividad. No obstante, la investigación continúa

valorando hasta qué punto las características hidrofílicas y gelificantes de la goma xantana permitirían hacer de este biopolímero una alternativa real frente al problema de los suelos expansivos.

De la roca a la arcilla: fundamentos

Para la ingeniería civil, el suelo es un conjunto de partículas minerales provenientes de la meteorización de las rocas. La meteorización es el fenómeno de descomposición de las rocas, por procesos mecánicos y químicos, en fragmentos más pequeños. Los cambios de temperatura, así como las corrientes de agua y viento, fragmentan las rocas en partículas más pequeñas pero que aún conservan su composición mineral. En cambio, durante la meteorización química, reacciones como oxidación, carbonatación e hidratación dan origen a partículas con una composición mineral distinta a la original.

Sin importar su origen, es posible clasificar los suelos con base en su tamaño predominante de partícula bajo la denominación de grava, arena, limo o arcilla. Estos dos últimos se conocen como suelos finos, ya que sus partículas tienen un diámetro menor a los 0.075 milímetros. Las arcillas son tan diminutas ($< 0.002\text{mm}$) que la influencia de la gravedad en sus partículas se considera insignificante (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2025). Por esta razón, más importante que su tamaño son las fuerzas electroquímicas que actúan sobre las partículas de arcilla, mismas que se relacionan con su estructura y composición mineral.

Los minerales de arcilla son resultado de la meteorización química de los silicatos (feldespatos, ferromagnesianos y micas) presentes en las rocas. Estos minerales tienen por lo general una estructura cristalina definida, donde los átomos se disponen en forma de láminas tetraédricas y octaédricas. En la primera de ellas, un átomo de silicio se encuentra rodeado de cuatro átomos de oxígeno, con un arreglo en forma de tetraedro. La segunda, por su parte, está formada por un átomo de aluminio cercado por seis átomos de oxígeno, adoptando la forma de un octaedro. De acuerdo con las combinaciones de estas láminas es posible clasificar los minerales de arcilla en tres principales grupos: caolinitas, illitas y esmectitas.

Las caolinitas son bloques repetitivos formados por una lámina tetraédrica y una octaédrica unidos por puentes de hidrógeno. Por su parte, el grupo de illitas son bloques de una lámina octaédrica entre dos láminas tetraédricas, unidos mediante iones de potasio. Finalmente, la familia de las esmectitas presenta la misma estructura que las illitas, pero sin los enlaces de iones de potasio.

Suelos expansivos: concepto y comportamiento

Los suelos expansivos son un tipo particular de arcilla que se caracteriza por su contenido de minerales con gran afinidad por el agua (Yang *et al.*, 2026). Concretamente, la montmorillonita, un mineral perteneciente a las esmectitas, es reconocida por su elevada sensibilidad al contacto con dicho líquido. Estos suelos se caracterizan por experimentar cambios volumétricos en respuesta a las

variaciones en su contenido de humedad. En contacto con el agua, como en las épocas de lluvia, manifiestan un comportamiento expansivo, aumentando su volumen. Por el contrario, cuando pierden agua, como en los periodos de sequía, experimentan una contracción, por lo que su volumen disminuye.

Para comprender este fenómeno es necesario conocer el concepto de sustitución isomórfica, el cual es un proceso de reemplazo de un ion por otro de tamaño similar. En la lámina tetraédrica un ion de silicio es reemplazado por un ion de aluminio, mientras que en la lámina octaédrica un ion de aluminio es sustituido por otro de magnesio. Los iones que entraron a la red cristalina tienen una carga (valencia) menor que los iones sustituidos, dando lugar a una carga negativa neta en el mineral. Para neutralizar esa carga negativa, la arcilla atrae iones positivos, generalmente de sodio o calcio, hacia su espacio interlaminar.

Las moléculas de agua son dipolares, actúan como imanes en cada extremo, por lo que, al entrar en contacto con el suelo, se hidratan los iones positivos al mismo tiempo que el agua se adhiere a las láminas. A medida que ingresa más agua, las láminas se separan tanto que comienzan a experimentar una repulsión electrostática, empujándose hacia afuera unas de otras. La separación simultánea de estas estructuras se traduce a gran escala en un incremento del volumen de suelo. Cuando el suelo se seca, los iones positivos pierden su agua de hidratación permitiendo que las láminas se aproximen de nuevo, por lo que la arcilla contrae su volumen.

Identificación de suelos expansivos

La expansividad se encuentra estrechamente relacionada con la fracción arcillosa del suelo; por tanto, resulta importante realizar estudios que permitan conocer su composición mineral. La difracción de rayos X (XRD por sus siglas en inglés) es el método más preciso para distinguir la estructura cristalina del suelo. Otras técnicas, como la microscopía electrónica de barrido, el análisis térmico diferencial y la determinación de la capacidad de intercambio catiónico resultan también útiles para caracterizar la mineralogía del suelo. Sin embargo, el grado de expansión no depende exclusivamente de la presencia de montmorillonita, sino que se trata de un proceso complejo. La estructura interna del suelo, su humedad natural, el clima y la vegetación del sitio, así como las condiciones iniciales de carga son algunos factores a considerar (Alsabhan y Hamid, 2025). En este sentido, es conveniente tomar en cuenta más parámetros que permitan valorar con mayor exactitud el potencial expansivo de un suelo. Así, se recomienda incorporar técnicas indirectas de evaluación de características como las propiedades índice, los límites de consistencia, la actividad de la arcilla, el contenido de coloides, entre otras. Con base en las características intrínsecas del suelo, estos parámetros permiten identificar de forma empírica, por medio de tablas y gráficas, su posible grado de expansión. Estos métodos no permiten cuantificar de manera exacta la expansión máxima que puede experimentar un estrato de suelo. La técnica más práctica y

precisa es el uso del consolidómetro unidimensional, ya que permite cuantificar el porcentaje y la presión de expansión.

El problema de los suelos expansivos

El suelo debajo de una edificación pierde su contacto natural con las condiciones del medio ambiente, como son lluvia, sol y aire. Sin embargo, la zona perimetral se encuentra mucho más expuesta a la infiltración y evaporación que el suelo debajo de la estructura. Lo anterior genera una distribución heterogénea de la humedad, que incrementa o disminuye el grado de saturación en el estrato de suelo (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2025). En el caso de las arcillas expansivas, esta variación da origen a movimientos diferenciales de expansión y contracción que resultan perjudiciales para la construcción superior.

Durante la expansión, el incremento de volumen transfiere una presión excesiva en contra de las cimentaciones. Este aumento de presión resulta peligroso cuando es mayor que la carga total transmitida por la propia edificación hacia los cimientos. Al no existir un contrapeso suficiente, la presión vence la inercia de la estructura, provocando un levantamiento diferencial de los elementos estructurales, favoreciendo la aparición de grietas, fisuras y colapsos.

Por otra parte, durante los periodos de secado, la pérdida de humedad induce la contracción del suelo. Esta contracción origina una pérdida de contacto del suelo con la cimentación, induciendo asentamientos diferenciales debido a una

distribución heterogénea de la humedad. Adicionalmente, este proceso genera grietas en el suelo perimetral, mismas que favorecen la infiltración de agua durante las lluvias, provocando así un ciclo de expansión-contracción.

Liu y colaboradores (2024) indican que los suelos expansivos se encuentran presentes en más de 40 países, entre ellos China, India, Estados Unidos y México. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2008), estos suelos cubren más de 335 millones de hectáreas a nivel mundial. Tan solo en Estados Unidos y China, los daños ocasionados por la presencia de suelos expansivos superan los 10 mil millones de dólares, respectivamente, cada año (Zhang y Vanapallí, 2025).

Estabilización de suelos

Es lógico pensar que para evitar los problemas asociados con la presencia de suelos expansivos sea necesario reemplazarlos por otros con mejores propiedades. No obstante, se han desarrollado técnicas que permiten mejorar las características del suelo directamente en el sitio de la obra, haciéndolo más apto para obras de ingeniería. A este proceso se le denomina estabilización de suelos, y consiste en modificar sus propiedades, físicas o químicas con el objetivo de incrementar su resistencia y reducir su expansividad.

De forma general, la estabilización se realiza mediante métodos mecánicos o químicos, según sea el grado de interacción con las partículas de suelo. En la

estabilización mecánica únicamente existe un reordenamiento físico de las partículas, sin alterar la estructura química del suelo. Por otra parte, en la estabilización química, las partículas de suelo reaccionan con diversos aditivos, principalmente cal y cemento, que modifican su estructura mediante procesos químicos.

La estabilización química suele ser más interesante para suelos arcillosos, ya que mediante reacciones puzolánicas y procesos de floculación, las partículas se agrupan y forman puentes intergranulares. Lo anterior otorga una mayor resistencia al suelo a largo plazo, además de reducir su plasticidad, permeabilidad y, en algunos casos, su potencial expansivo. Sin embargo, esto no constituye una solución universal: dependiendo de las características del suelo, el propósito de la obra y las condiciones económicas, algunos enfoques pueden resultar poco viables (Ahmad *et al.*, 2024). Asimismo, la cal y el cemento, aunque efectivos, causan un impacto al medio ambiente debido a las elevadas emisiones de dióxido de carbono durante su fabricación.

Goma xantana: ¿una alternativa?

El problema ambiental que conlleva el uso de técnicas de estabilización química ha impulsado la búsqueda de alternativas con menores emisiones de CO₂ durante su fabricación. En este sentido, el uso de biopolímeros ha emergido como una posible alternativa frente a los estabilizadores químicos tradicionales. Los biopolímeros son

compuestos orgánicos derivados de fuentes naturales de origen vegetal, animal o microbiano. Celulosa y almidón (de origen vegetal), colágeno y caseína (de origen animal), dextrano y goma xantana (de origen microbiano) son algunos ejemplos de biopolímeros.

El uso de biopolímeros es común en las industrias farmacéutica, petrolera y alimenticia, mientras que su aplicación en la ingeniería civil aún se encuentra en etapa de validación. Uno de los biopolímeros que genera expectativa en la estabilización de suelos es la goma xantana. Se trata de un polisacárido soluble en agua producido industrialmente mediante la fermentación de una fuente carbonada con la bacteria gramnegativa *Xanthomonas campestris* (Palaniraj y Jayaraman, 2011).

La goma xantana forma soluciones altamente viscosas al entrar en contacto con el agua, adquiriendo un comportamiento no newtoniano y presentando alta pseudoplasticidad, similar a un gel. Es decir, cuando se aplica una fuerza, las partículas del fluido tenderán a alinearse en la misma dirección, reduciendo su fricción y por consiguiente disminuyendo su viscosidad; cuando la fuerza cesa, recupera su viscosidad. Asimismo, en solución acuosa, la goma xantana se caracteriza por ser resistente a cambios bruscos de temperatura y a condiciones adversas de alcalinidad y acidez.

Cuando el biopolímero entra en contacto con el agua intersticial del suelo se forma un gel viscoso que permite rellenar el espacio entre poros. Las moléculas del biopolímero interactúan con las partículas de suelo mediante fuerzas electrostáticas

favoreciendo su unión; dichas fuerzas funcionan como puentes que permiten agrupar las partículas en agregados de mayor tamaño. Sin embargo, la eficacia de la goma xantana está íntimamente relacionada con la dosis que se utilice. Con una dosis baja los efectos de unión y relleno son débiles, mientras que una dosis elevada reduce el contacto natural de las partículas de suelo (Gao *et al.*, 2025).

En lo que se refiere a la sustentabilidad de la goma xantana, Kumar y colaboradores (2023) indican que por cada tonelada producida del biopolímero se emiten 1.67 toneladas de CO₂. Por su parte, la cal y el cemento generan 2.16 y 1.09 toneladas de dióxido de carbono, respectivamente, por la misma producción. No obstante, el impacto ambiental real está en función de la cantidad de biopolímero, cal o cemento que se utilice.

Lo que aún no sabemos

El uso de la goma xantana se encuentra en investigación como una posible alternativa para la estabilización de suelos expansivos y presenta importantes áreas de oportunidad. Primeramente, es difícil encontrar un consenso respecto a la dosis óptima de biopolímero, puesto que la investigación continúa evaluando su impacto en las propiedades del suelo. Es necesaria entonces una valoración integral del desempeño de la goma en las propiedades mecánicas, compresivas, expansivas y de permeabilidad.

Por otra parte, al tratarse de un compuesto de origen orgánico, existe una preocupación real respecto a la durabilidad y degradabilidad de la goma xantana. La investigación posterior debería evaluar el deterioro de las propiedades del suelo estabilizado con goma xantana a largo plazo en diferentes tiempos de curado. Además, es conveniente continuar analizando su efecto bajo condiciones adversas y similares a las de la realidad (ciclos de humedecimiento-secado, congelamiento-deshielo, entre otros escenarios).

Los estudios recientes se enfocan principalmente en suelos gruesos, mientras que la influencia de la goma xantana en suelos finos permanece poco explorada. Es necesaria una revisión cuidadosa de la efectividad del biopolímero en la reducción del potencial expansivo; esta es un área de oportunidad relevante. Finalmente, debemos destacar que la investigación en nuestro país sobre la aplicación de la goma xantana es reciente, por lo que la producción científica nacional es aún escasa.

Queda mucho por estudiar, pero cada hallazgo representa un avance hacia construcciones más seguras y sostenibles.

Referencias

Ahmad S, Shah Alam Ghazi M, Syed M and Al-Osta MA (2024). Utilization of fly ash with and without secondary additives for stabilizing expansive soils: A review. *Results in Engineering* 22:102079. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102079>.

Alsabhan AH and Hamid W. (2025). Innovative Thermal Stabilization Methods for Expansive Soils: Mechanisms, Applications, and Sustainable Solutions. *Processes* 13(3):775. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr13030775>.

IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2008). Base referencial mundial del recurso suelo 2006: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional (Informes sobre recursos mundiales de suelos No. 103). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Gao QF, Shi XK, Zeng L *et al.* (2025). Characterization of the Mechanical Behavior and Stabilization Mechanism of Soft Soil Treated with Xanthan Gum Biopolymer. *Polymers* 17(11):1532. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym17111532>.

Kumar MA, Moghal AAB, Vydehi KV and Almajed A (2023). Embodied Energy in the Production of Guar and Xanthan Biopolymers and Their Cross-Linking Effect in Enhancing the Geotechnical Properties of Cohesive Soil. *Buildings* 13(9):2304. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13092304>.

Liu Y, Zhao Y, Vanapalli SK and Mehmood M (2024). Soil-water characteristic curve of expansive soils considering cumulative damage effects of wetting and drying cycles. *Engineering Geology* 339:107642. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107642>.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2025). Recomendaciones para edificaciones emplazadas en suelos expansivos. *Gobierno de Chile*.

Palaniraj A and Jayaraman V (2011). Production, recovery and applications of xanthan gum by *Xanthomonas campestris*. *Journal of Food Engineering* 106(1):1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.035>.

Yang Z, Guo R, Ling X and Cai G (2026). Improvement and engineering application of expansive soils: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 18(6):4998–5030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2026.01.037>.

Zhang A and Vanapalli SK (2025). Predicting the compression index of expansive soils with hybrid machine learning approaches. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 162:112579. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.112579>.