

Uso, Eficacia y Aplicaciones de los Geotextiles en Proyectos Geotécnicos: un Estado del Arte



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XIX/ Volumen 22/ Edición N.43
Enero - junio 2025
Reia4319 pp. 1-28

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

MARÍA ISABEL GUTIÉRREZ VARGAS¹

✉ JOHANNA CAROLINA RUIZ ACERO¹

1. Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Gutiérrez Vargas, M. I. y Ruiz Acero,
J. C.

Uso, Eficacia y Aplicaciones de los
Geotextiles en Proyectos Geotécnicos:
un Estado del Arte

Revista EIA, 22(43), Reia4319 pp. 1-28
<https://doi.org/10.24050/reia.v22i43.1804>

✉ *Autor de correspondencia:*

Ruiz Acero, J. C.
Magister en Ingeniería Civil
Correo electrónico:
johanna.ruiz@unimilitar.edu.co

Recibido: 12-07-2024

Aceptado: 10-12-2024

Disponible online: 01-01-2025

Resumen

El presente escrito es un artículo con el que se construye un estado del arte sobre el uso, eficacia y aplicaciones de los geotextiles en proyectos geotécnicos. Por ende, se hace una revisión bibliográfica con el objetivo de conocer el uso, eficacia y aplicaciones de los geotextiles en proyectos geotécnicos. Luego de hacer el debido proceso de búsqueda y selección, se extrajo la información de diversos trabajos académicos para establecer categorías y presentarlos en la investigación como resultados. La revisión permitió establecer las siguientes categorías: Identificación y clasificación de usos de geotextiles, desventajas en el uso de los geotextiles, eficacia de los geotextiles en la estabilización de suelos, análisis de los beneficios y limitaciones de los geotextiles, revisión de aplicaciones exitosas en geotextiles, análisis de costos y durabilidad y recomendaciones para la aplicación de geotextiles. El estudio arrojó que, a pesar de la heterogeneidad de las investigaciones en cuanto al uso, hay un consenso entre los autores en cuanto a aspectos generales de los geotextiles. Expresados con porcentajes o años, tales aspectos son: ahorro económico de 30 a 40% y reducción de emisiones de gases del efecto invernadero del 90%, durabilidad (50-100 años), resistencia en tejidos desde 15 kn/m hasta 1000 kn/m, al punzonamiento 45-450 N, elongación superior del 50%, capacidad de carga y eficiencia para mejorar y ampliar la calidad de diferentes obras civiles, como el suelo, pavimento, paredes, drenaje, columnas, entre otros.

Palabras clave: Geotextiles; geotecnia, materiales geosintéticos.

Use, effectiveness and applications of geotextiles in geotechnical projects: A state of the art.

Abstract

This document is an article that builds a state of the art on the use, effectiveness and applications of geotextiles in geotechnical projects. Finally, a bibliographic review is carried out with the objective of knowing the use, effectiveness and applications of geotextiles in geotechnical projects. After carrying out the due search and selection process, information was extracted from various academic works to establish categories and present them in the research as results. The review allowed the following categories to be established: Identification and classification of geotextile uses; disadvantages in the use of geotextiles; effectiveness of geotextiles in soil stabilization; analysis of the benefits and limitations of geotextiles; review of successful applications in geotextiles; cost and durability analysis and; Recommendations for the application of geotextiles. The study showed that, despite the heterogeneity of research in terms of use, there is a consensus among the authors regarding general aspects of geotextiles. Expressed with percentages or years, such aspects are: economic savings of 30 to 40% and reduction of greenhouse gas emissions of 90%, durability (50-100 years), resistance in fabrics from 15 kn/m to 1000 kn/m, punching force 45-450 N, elongation greater than 50%, load capacity and efficiency to improve and expand the quality of different civil works, such as floor, pavement, walls, drainage, columns, among others.

Key Words: Geotextiles; geotechnics, geosynthetic materials

1. Introducción

El campo de la ingeniería civil requiere el uso de materiales que, en su mayoría, para extraerlos y procesarlos, necesitan pasar por diferentes técnicas de tratamiento que impactan al medio ambiente. Es por esto, que actualmente los profesionales en esta área buscan nuevos materiales que garanticen viabilidad a nivel económico, técnico y de calidad.

A medida que ha pasado el tiempo, hoy en día, tomando en cuenta los objetivos del desarrollo sostenible, las organizaciones a nivel mundial, especialmente las Naciones Unidas (ONU) y sus diferentes programas, como el de Medio Ambiente (PNUMA), siempre tratan de mejorar todos los procesos a nivel industrial con el fin de reducir el impacto ambiental. Diferentes procesos en ingeniería civil y diversas investigaciones se han desarrollado en la búsqueda de mejorar las construcciones o el desarrollo de las obras, incluyendo el mejoramiento de materiales para, por ejemplo, reducir el impacto que tiene en la producción de cemento o la producción de mezclas asfálticas. En ese orden de ideas, uno de esos materiales que aporta esa reducción del impacto ambiental, son los geotextiles.

El estudio de los geotextiles en el ámbito de la ingeniería civil y geotécnica es de vital importancia para los profesionales y académicos del sector, ya que permite ampliar el conocimiento sobre estos materiales innovadores y promover su uso adecuado en la construcción de obras civiles de calidad (Rosales-Hurtado & López-Lara).

Según Ballester, Castro y Gil (2000) la utilización moderna de los geotextiles empezó en la década de 1960 aplicados a obras marítimas en los Países Bajos, con fines de mejorar el drenaje y la filtración. Desde entonces, el diseño y aplicación de geotextiles se ha ido desarrollando sobre todo en Europa y Estados Unidos, encontrándose nuevos usos para las obras civiles, como el refuerzo y separación de terrenos. Fue clave la aparición de la propia palabra geotextil en 1977 por Giroud en un Simposio Internacional en París, dejando desde entonces la costumbre de organizar conferencias y congresos para avanzar en la normativa y desarrollo tecnológico de la aplicación sobre materiales geotextiles. Actualmente, los geotextiles se están usando en muros de contención, tratamientos de muros, subdrenes, terraplenes, bolsacretos, sistemas de drenaje, protección de geomembrana, repavimentación de avenidas, túneles, presas diques, y canales.

Los materiales geotextiles se pueden usar en refuerzo de suelos, drenaje, control de erosión, entre otros, por lo que se han vuelto tan versátiles como útiles, y se han consolidado como una solución efectiva para enfrentar diversos desafíos en la construcción

de infraestructuras (Prongmanee, Noulmanee, Dulyasucharit, Horpibulsuk, & Chai, 2023). Prueba de ello, es que cada año se utilizan más de 1400 millones de metros cuadrados de geotextiles (Wu, H. et al. 2020). La incorporación de geotextiles en el diseño y construcción de obras civiles permite mejorar la estabilidad del terreno, controlar la erosión, reducir la filtración de agua, aumentar la capacidad portante del suelo y prolongar la vida útil de las estructuras. Además de otros beneficios como durabilidad de 50-100 años, dependiendo del tipo y de las propiedades de degradación en especial la temperatura, reducción de costos entre un 30 y 50% y la mitigación de las emisiones de gases del efecto invernadero en un 90% y la demanda de energía en >8%, en comparación con materiales tradicionales (Lin, Galinmoghadam, Han, Liu, & Zhang, 2021).

Por ejemplo, en suelos, cuando es internamente inestable, las filtraciones pueden ocasionar un proceso de infusión, que significa que las partículas finas se transportan por flujo de filtración y ocasiona colapso de la estructura del suelo. Es aquí donde se puede utilizar un geotextil en el suelo para permitir que el líquido del suelo pase y se descargue, así previene la pérdida de partículas de suelo y arena fina (Wu, H. et al. 2020).

En cuanto a propiedades mecánicas, los geotextiles que son usados como refuerzo (en la geotecnia es el tipo que más se usa), proporcionan módulo de extracción, resistencia a la extracción y fricción superficial (60-100%); siendo la resistencia a extracción una de las propiedades más importantes que se miden a los geotextiles.

Esta investigación, se desarrolla tomando como objetivo principal conocer el uso de los geotextiles en proyectos geotécnicos. Se plantea como objetivos específicos identificar los diferentes usos que se le dan a los geotextiles en el campo de la geotecnia, evaluar su eficacia en la estabilización de suelos, entender los beneficios y limitaciones en proyectos geotécnicos, revisar la aplicación exitosa de geotextiles en este campo de estudio e identificar costo y durabilidad de los geotextiles.

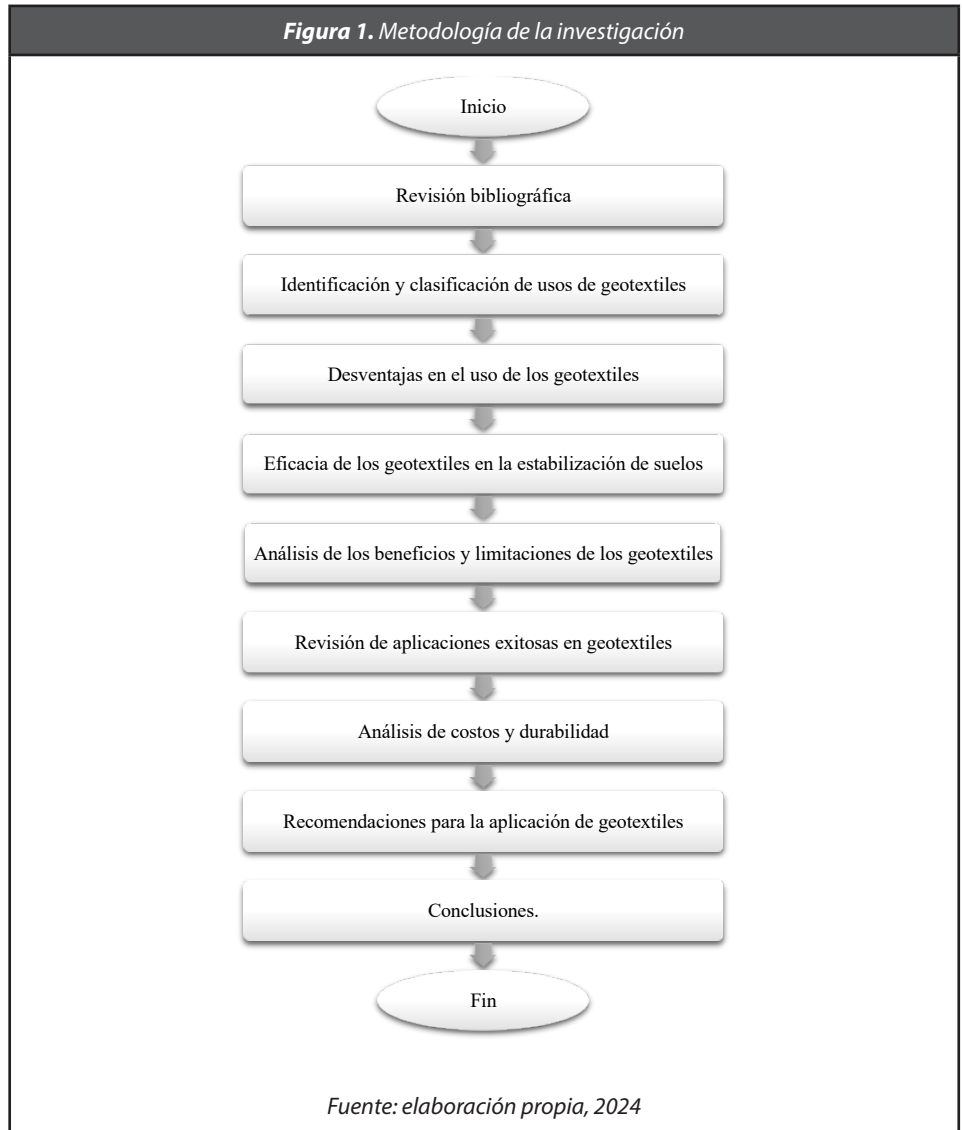
A través de esta revisión bibliográfica, se pretende aportar al avance y la difusión de las buenas prácticas en el uso de geotextiles,

fomentando la aplicación de tecnologías sostenibles y eficientes en el campo de la ingeniería civil.

2. Metodología

La metodología de esta investigación es de enfoque cualitativo que consiste en un artículo de revisión sistemática, en el cual se usaron amplios criterios de inclusión con respecto a la fecha de publicación, por lo que se comprende un periodo que va de los años 2002 a 2023, aunque se les dio prioridad a las publicaciones más recientes. También se fue flexible en el tipo de investigación, de manera tal que no solo se usaron artículos académicos sino también trabajos de grados, posters y libros tanto en inglés como en español. Finalmente, se fue flexible con respecto al lugar de publicación, aunque se dio preferencia a las investigaciones realizadas en Colombia.

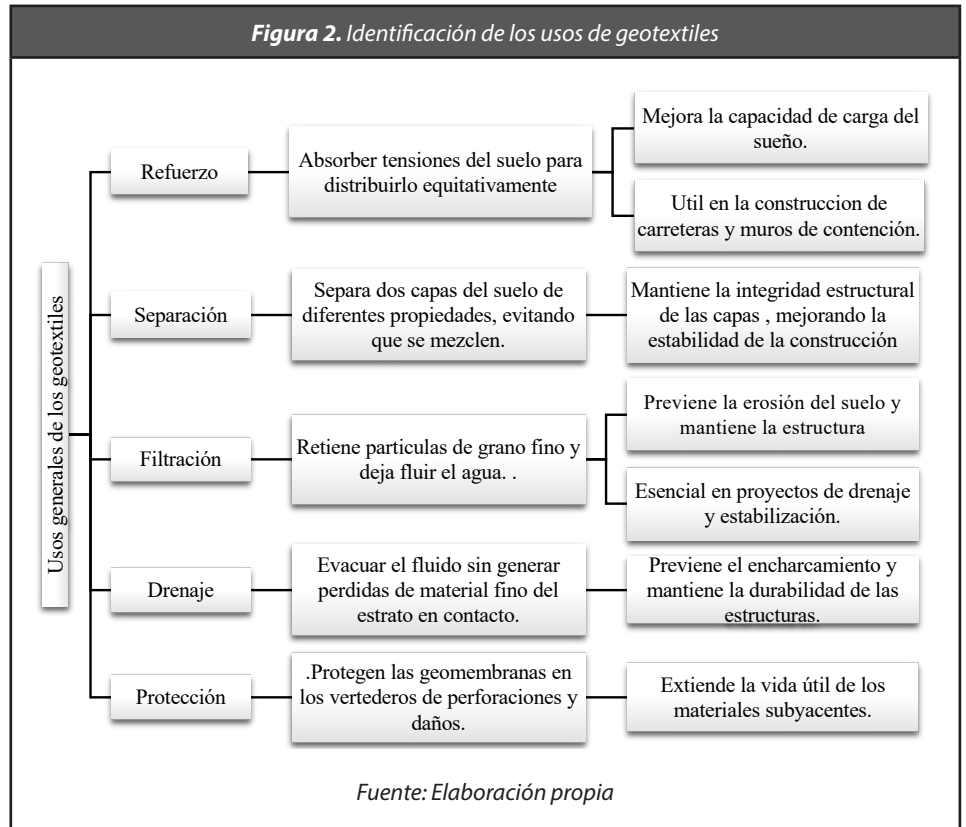
Para llevar a cabo esta investigación, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva de artículos publicados entre 2002 y 2023. Dentro de las etapas que se siguieron para construir este documento están: 1) revisión bibliográfica 2) identificación y clasificación de usos de geotextiles; 3) desventajas en el uso de los geotextiles, 4) eficacia de los geotextiles en la estabilización de suelos, 5) análisis de los beneficios y limitaciones de los geotextiles, 6) revisión de aplicaciones exitosas en geotextiles; 7) análisis de costos y durabilidad y 8) recomendaciones para la aplicación de geotextiles y 9) conclusiones.



3. Resultados

3.1. Identificación y clasificación de usos de geotextiles

Los geotextiles son un material textil sintético plano conformado por fibras poliméricas (polipropileno, poliéster o poliamidas), parecida a una tela de gran deformabilidad, utilizada para obras de ingeniería en aplicaciones geotécnicas (contacto con tierra y rocas), el cual tiene múltiples usos como los descritos a continuación:



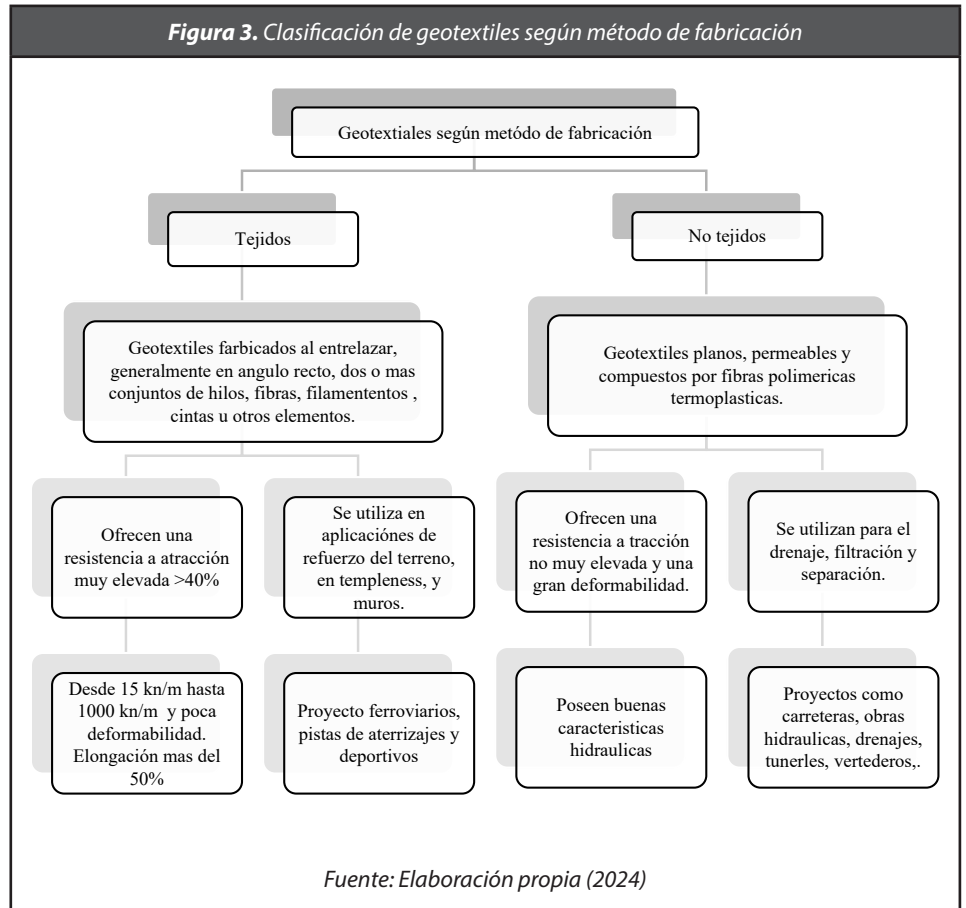
Entre los diferentes usos están los de reforzar, separar, filtrar, drenar y proteger el medio ambiente (Maity, Rana, Pandit, & Singha, 2022). En el caso del reforzamiento se empleó para absorber tensiones del suelo y distribuirlo equitativamente. La resistencia se refiere especialmente al de los suelos, para edificar, rellenos (como los rellenos sanitarios), muros, entre otros. Sobre la filtración, el geotextil (poroso) permite el paso de agua, mientras que, en el caso de separación, es porque, en la filtración, separan las partículas de suelo, arena fina, piedras pequeñas, entre otros, del agua, evitando así daños al suelo. Sobre control o prevención de erosión, se destina a obras como vías terrestres (carreteras y autopistas), y presas. En cuanto al drenaje, vinculado con la filtración, se usan los geotextiles para evitar que el suelo sea arrastrado por el agua corriente hacia el sistema de drenaje (Alfaro, 2016)..

En cuanto a la vialidad terrestre, una de las funciones principales de los geotextiles es fortalecer y mejorar el suelo de baja resistencia a la tracción de la tierra, lo que ayuda al suelo a preservar su

estructura bajo diferentes condiciones de carga. También se afirma que en general los geotextiles tienen un doble uso o función, es decir, control de resistencia y de la expansión en cuanto a la estabilización de subrasante expansivas, así como drenaje de la humedad y mejoramiento de la resistencia al corte de suelo expansivo, sobre todo en cuanto a pavimentación (Tiwari, Satyam, & Puppala, 2021).

Ahora bien, con respecto a su clasificación se pueden dividir según su método de fabricación en tejidos y no tejidos, los primeros se definen como un geotextil plano con fibras, filamentos u otros elementos organizados aleatoriamente, integrados química o mecánicamente, a través del calor o por combinación de ellos, su orientación aleatoria los establece su carácter isótropo y se caracterizan por su resistencia a tracción no elevada y una gran deformabilidad, pero poseen buenas características hidráulicas (Das, Chattaraj, & Bandyopadhyay, 2022). Por otro lado, los segundos son geotextiles fabricados al entrelazar, particularmente en ángulos rectos, dos o más conjuntos de hilos, filamentos, cintas, bridas u otros elementos y se distinguen por brindar una resistencia de tracción muy elevada y poca deformabilidad.

Este tipo de geotextiles que pueden mejorar la resistencia del suelo de subrasante (Lakshmi S. & Lakshmi S., 2023). En este caso, los geotextiles tejidos resultan 40% más resistentes que los no tejidos, pues estos últimos son más delgados y más apropiados para las filtraciones y drenajes. Otro uso del geotextil tejido es para la prevención y el control de la erosión del suelo, además de solucionar problemas ambientales (Prongmanee, Noulmanee, Dulyasucharit, Horpibulsuk, & Chai, 2023).



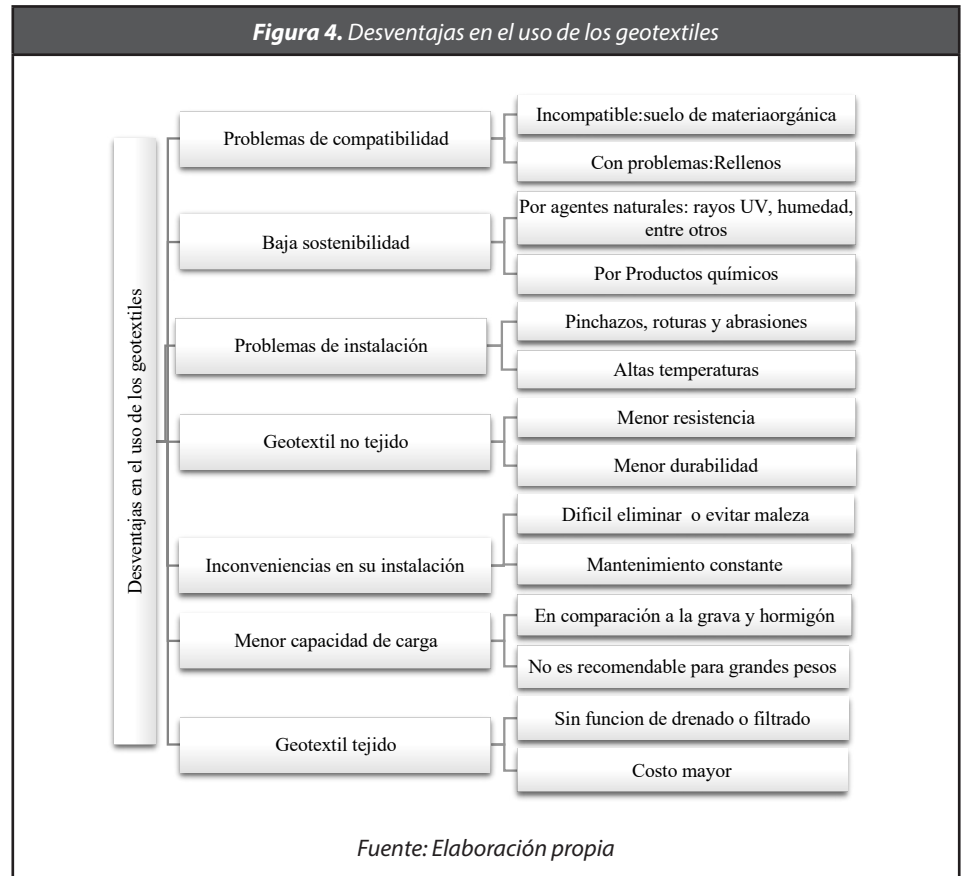
Por otro lado, los geotextiles también se pueden clasificar según la naturaleza del polímero 1) poliolefinas, 2) poliamidas y 3) poliéster, definidos como sustancias organizadas macromoleculares de grandes pesos moleculares (10.000 g/mol) y que por lo general son utilizados para este tipo de productos por su origen sintético debido a su mayor durabilidad con relación a los naturales, es decir generados químicamente por medio de sustancias de bajo peso molecular.

Existen geotextiles que pueden tener propiedades específicas para usos específicos. Por ejemplo geotextil inteligente basado en fibra óptica para monitorear asentamientos del proceso de expansión de cuevas kársticas en subrasantes de ferrocarriles de alta velocidad. (Xue, He, Zhang, & Liu, 2023). Otro ejemplo es concebido como técnica, así hay capas espaciadoras de geotextiles que mejoran las propiedades geotécnicas del suelo contaminado con petróleo (Shahnamnia, Sadeghi, Hejazi, & Abtahi, 2023).

Otro ejemplo es el geotextil de rejilla, entendido como refuerzo para mejorar la capacidad de elevación de los anclajes (Buragadda, Orekanti, M.P., Naresh, & Sravani, 2023). Un tercer ejemplo es el geotextil de mecha, con el cual se puede reducir el grosor de la capa de la base en un 50% y disminuir la profundidad de deformación en un 35%; en definitiva, estos geotextiles sirven para métodos de diseño de pavimentos (Lin, Galinmoghadam, Han, Liu, & Zhang, 2021).

Como parte de los geotextiles están los geosintéticos, empleados para diseñar presas de tierra, barreras resistentes, barreras no saturadas, taludes con revestimiento, sistemas de protección costera, cimientos, estribos de puentes, muros de contención, terraplenes y pavimentos. (Zornberg, 2012). Los geosintéticos también pueden tener, a su vez, derivaciones, siendo una de ellas la geomalla, la cual es empleada para aumentar la capacidad de carga del suelo (Das, Chattaraj, & Bandyopadhyay, 2022). Por otra parte, existen geocompuestos que pueden ser útiles para solucionar de forma efectiva y duradera el drenaje de los proyectos de infraestructura vial. (Alfaro, 2016)

3.2. Desventajas en el uso de los geotextiles



Hay algunas desventajas generales, es decir, que puede darse a todo tipo de geotextiles. Por ejemplo, la aparición de pinchazos, roturas o abrasiones en la instalación o en algún momento de su funcionamiento; también pueden ser afectados negativamente por las altas temperaturas que generan fusión y contracción (Karademir, 2011). Los geotextiles pueden ser incompatibles o tener problemas de compatibilidad con algunos suelos (como el de materia orgánica, también llamado tierra negra) o rellenos, lo que podría ocasionar degradación química o física así como una permeabilidad reducida (Prasad, Ishwarya, Jayakrishnan, Sathyan, & Muthukumar, 2023); y también pueden terminar creando una vía que sería potencial para que el agua evite la pared cuando no están conectados o sellados de manera correcta en los bordes y esquinas (Matemu, Wasman, & Jones, 2023).

Otras desventajas generales identificadas es la inconveniencia de su instalación pues, por ejemplo, la tela paisajista requiere una considerable mano de obra con precisión para evitar dejar espacios donde podría crecer la maleza. De hecho los geotextiles no eliminan del todo la maleza de manera que algunas raíces pudieran penetrar en la tela y desarrollar una estructura, especie de red, difícil de eliminar. Además de su vida útil de bajo rendimiento, su mantenimiento podría considerarse una desventaja porque tendría que hacerse de forma regular, considerando la posibilidad de reemplazo. Por otra parte, materia orgánica descompuesta se podría acumular sobre la tela, sirviendo así de terreno para que germine maleza. (Estela Horna & Salas Llatas, 2022)

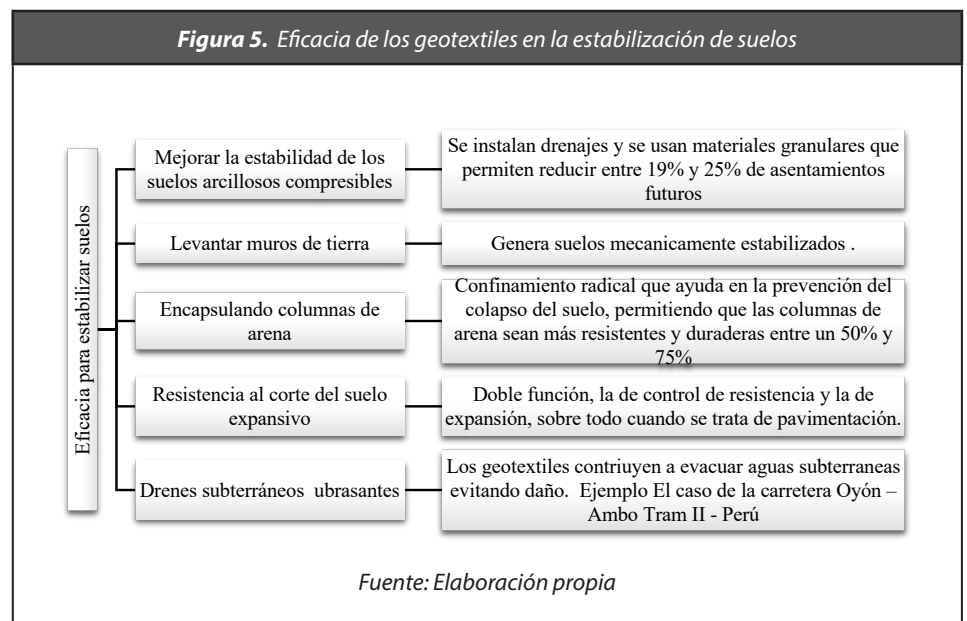
Como puede verse, hay varios criterios al momento de señalar las desventajas de los geotextiles. Algunos se preocupan por la sostenibilidad, señalando que los geotextiles son susceptibles a los rayos ultravioleta (UV), humedad y productos químicos, lo que hace que con el tiempo sus fibras terminen rompiéndose (Prasad, Ishwarya, Jayakrishnan, Sathyan, & Muthukumar, 2023). En definitiva, si no es meticuloso en la selección del geotextil, su principal desventaja radicará en su poca capacidad para soportar condiciones climáticas.

Otros estudios también hacen referencia a la limitada capacidad de carga de los geotextiles. Así, cuando se compara el geotextil con otros materiales más tradicionales como la grava y el hormigón se encuentra que su capacidad es menor, siendo la presión límite del geotextil de hasta 4000 lb/ft² (Matemu, Wasman, & Jones, 2023) (Pal & Deb, 2023). De esto se extrae una segunda referencia, es decir, si se requiere una gran capacidad de carga entonces puede que el geotextil no sea la mejor opción, o en todo caso, verificar que el geotextil puede soportar la carga del proyecto.

También se puede distinguir este punto por el tipo de geotextil. Así, está el geotextil no tejido que ofrece menor resistencia, menor durabilidad, no es posible limpiarlo, y tiende a agrietarse con facilidad en ángulos rectos, mientras que los geotextiles tejidos o hilados tienen como desventaja que carecen de la función de filtrado o drenaje plano, y su costo es mayor en comparación con el no tejido. En definitiva, ambos tipos de geotextiles serán usados de acuerdo,

a su vez, con el tipo de proyecto, aclarándose que los geotextiles son más apropiados para proyectos de ingeniería geotécnica (Das, Chattaraj, & Bandyopadhyay, 2022) A pesar de las múltiples ventajas que tienen los geotextiles, estos pueden sufrir degradación durante su instalación y a lo largo de su vida útil por contacto con agentes atmosféricos, productos químicos, altas temperaturas, abrasión, rayos ultravioleta, (Carneiro. J; Paula. A; Pinho-Lopes M, 2023).

3.3. Eficacia de los geotextiles en la estabilización de suelos



Algunas de las investigaciones estudiadas abordan este tema de la eficacia de los geotextiles en la estabilización de los suelos. Una investigación sostiene que los geotextiles sirven para mejorar la estabilidad de los suelos arcillosos compresibles, lo cual es tarea previa a la construcción. En este sentido, se instalan drenajes y se usan materiales granulares que permiten reducir entre 19% y 25% de asentamientos futuros, garantizando la seguridad del proyecto. Específicamente los drenajes prefabricados son tan eficaces como económicos lo que hace que sean una opción favorable (Mahamid, The late Edwin H, & The late Charles N, 2020)

Otro estudio sostiene que los geosintéticos pueden usarse para reforzar el suelo, lo que tiene diversos propósitos por ejemplo el levantamiento de un muro de tierra, el cual quedaría mecánicamente estabilizado gracias al material geosintético. Sin embargo, aclara el estudio que pueden haber casos de usos fallidos de geosintéticos, y expone el caso de un relleno sanitario que empleó geosintéticos para contener residuos; sin embargo, al no diseñarse correctamente el relleno, el proyecto terminó causando un desastre ecológico (Rosales-Hurtado & López-Lara).

Otro uso de geotextiles es para encapsular columnas de arena. Cuando se encapsula un geotextil se da un confinamiento radial que ayuda a prevenir el colapso de un suelo propenso a colapsar. Este suelo colapsable se caracteriza por su estructura abierta y metaestable. Cuando este tipo de suelo se satura, sus partículas se expanden haciendo que colapse, lo que puede causar asentamientos significativos, y a su vez puede provocar daños en las estructuras construidas sobre él. Dado que el geotextil sirve para separar, reforzar y proteger los materiales, particularmente en suelos colapsables, se emplea para separar las columnas de arena de dichos suelos. El geotextil brinda un confinamiento radical que ayuda en la prevención del colapso del suelo, permitiendo que las columnas de arena sean más resistentes y duraderas entre un 50% y 75% (Ayadat , 2022). En su investigación ayudó obtuvo que las pruebas de cargas realizadas muestran que las columnas de arena encapsuladas con geotextil tienen capacidad de carga y asentamiento significativamente mayores que las columnas de arena sin encapsular, lo que demuestra que es una técnica efectiva para mejorar el desempeño de las columnas de arena en suelos colapsables (Ayadat , 2022).

Una cuarta investigación expone que la geometría del refuerzo impacta positivamente en el diseño y control de la estabilidad de las estructuras del suelo reforzado. Así, la pertinencia de los geosintéticos radica no solo en sus consideraciones técnicas sino económicas. En lo técnico, de acuerdo con la investigación, se hicieron pruebas de extracción en los siguientes grupos de refuerzos geosintéticos: geogrid con variaciones en el diámetro de las barras transversales adicionales, geogrid con variaciones en el grosor, geocompuesto con variaciones en el ancho y geosintéticos ordinarios.

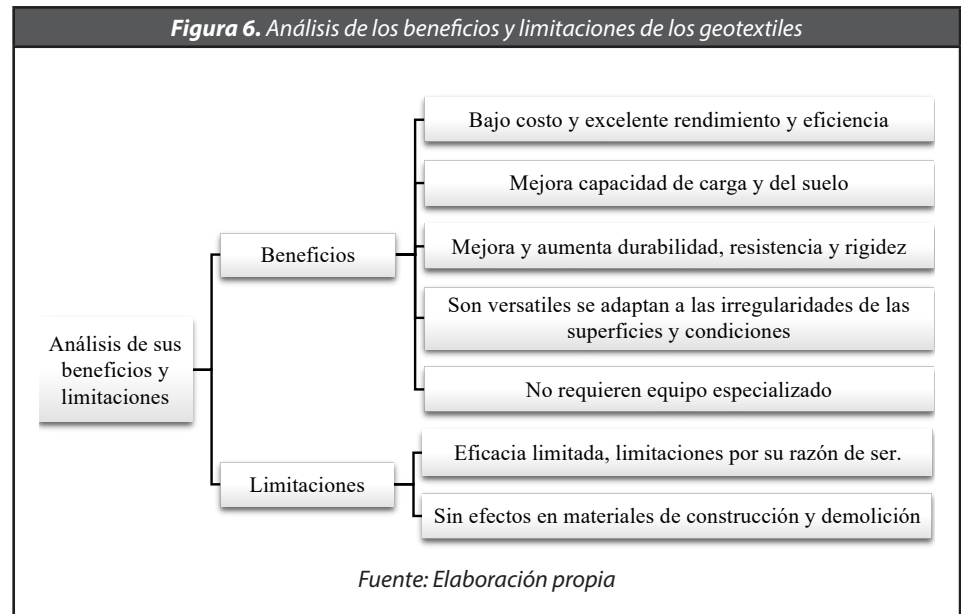
También se hicieron pruebas con arena de sílice mal graduada al 80% de densidad relativa. Estas pruebas demostraron que en refuerzos geosintéticos con la misma área superficial y diversas geometrías, el aumento en el área transversal en la parte frontal tiene un mayor impacto que en la parte posterior, debido a que la frontal tiene mayor fuerza de tracción y desplazamiento que la posterior. Además, el aumento en el área transversal frontal también aumenta el comportamiento diletante durante las pruebas de extracción. En el geocompuesto, con el aumento del ancho, la distribución de la fuerza de tracción y el desplazamiento en la parte media con ancho de cabeza son mayores que en los lados, indicando una distribución no uniforme de la fuerza de tracción en la dirección transversal. (Mirzaalimohammadi, Ghazavi, Lajevardi, & Roustaei, 2021).

Los geotextiles también pueden ser eficaces por la influencia positiva de drenes subterráneos en subrasantes, como en el caso de la carretera Oyón – Ambo tramo II. Tales drenes contribuyeron a evacuar aguas subterráneas, evitando daños en la subrasante y permitiendo la reducción de espesores en los mejoramientos para su estabilización (Cardenas Araujo, 2023). Concretamente, puede decirse que las cimentaciones flexibles reforzadas con geotextiles ofrecen una alternativa valiosa en proyectos de recuperación de tierras en zonas costeras con sedimentos blandos (Lu, y otros, 2023). También es importante destacar que el geotextil se sirve de otros materiales para ser más eficaces. Por ejemplo en casos de potenciales problemas durante socavación y estados críticos de sistema de terraplén, se pueden desencadenar fallas que pongan en peligro la estabilidad de la estructura de retención de tubos de geotextil. En estas situaciones, una fortificación adicional mediante riprap mejoraría el rendimiento y la estabilidad global del sistema de terraplén (Rahman, Imteaz, Arulrajah, Disfani, & Horpibulsuk, 2015)

Por último, un estudio demuestra que los geotextiles pueden tener una doble función, la de control de resistencia y la de expansión, con el fin de estabilizar subgrados expansivos. Con el estudio se demostró que la aplicación de geotextiles resulta ser efectiva para controlar el comportamiento de expansión, drenar la humedad y mejorar la resistencia al corte del suelo expansivo. De ahí que aplicar geotextiles es valioso para mejorar los suelos expansivos,

sobre todo cuando se trata de pavimentación (Tiwari, Satyam, & Puppala, 2021)

3.4. Análisis de los beneficios y limitaciones de los geotextiles



Además de la estabilización del suelo, entre los beneficios de los geotextiles en general se destaca su bajo costo, rendimiento o eficiencia, y porque brinda mejoras y aumento en durabilidad, resistencia y rigidez, como se expone en los trabajos de Buragadda, Orekanti, M.P., Naresh, y Sravani (2023) y Hakimelahi, Bayat, Ajalloeian y Nadi (2023), entre otros. Particularmente sobre la resistencia suele destacarse su capacidad de carga (Matemu, Wasman, & Jones, 2023) (Das, Chattaraj, & Bandyopadhyay, 2022), pero también hay otras utilidades como la resistencia del suelo subrasante (Mejora de la resistencia del suelo reforzándolo con geotextiles)

Ahora bien, los beneficios dependerán también de sus aplicaciones específicas así como el tipo de geotextil. Por ejemplo, se valora de los geotextiles su capacidad de drenaje, por ejemplo, por sus propiedades porosas (Lin & Zhang, 2018), y porque separan, refuerzan y protegen otros materiales (Ayadat, 2022). Otro beneficio

más específico es que ayuda a disminuir la reacción del pavimento flexible (Romero & Villena, 2023). Otro beneficio muy específico es el de geotextil de mecha que permite reducir el grosor de la capa base en un 50% según una guía de diseño estándar de EE. UU. y disminuir la profundidad de deformación en un 35% según una guía de diseño de pavimentos estándar (Lin, Galinmoghadam, Han, Liu, & Zhang, 2021). Particularmente sobre los geosintéticos, se reconoce entre beneficios que mejorar las propiedades mecánicas del suelo, reduce la erosión, contiene fluidos, separa materiales y cuida el ambiente (Rosales-Hurtado & López-Lara)

Entre las limitaciones se encuentra que los geotextiles pueden tener una eficacia limitada, sobre todo si no son instalados adecuadamente. Por ejemplo, cuando se utiliza en función de drenaje capilar, gracias sus propiedades porosas, en el diseño vial, puede reducirse su eficacia si se instala con arrugas o si no abarca por completo el suelo (Lin & Zhang, 2018). Los geotextiles naturales pueden tener más bondades que los sintéticos, pero también algunas limitaciones, porque los naturales se deterioran más rápido debido a la biodegradación. De tal manera que hay que mejorar las limitaciones de los geotextiles naturales en término de durabilidad o vida útil (Prasad, Ishwarya, Jayakrishnan, Sathyan, & Muthukumar, 2023).

Por supuesto, el uso de los geotextiles dará razón de sus limitaciones. Por ejemplo, por un lado, los geotextiles naturales suelen ser rápidamente biodegradables porque están destinados a funciones específicas, como evitar la erosión del suelo hasta que la vegetación pueda salir nuevamente (Prasad, Ishwarya, Jayakrishnan, Sathyan, & Muthukumar, 2023). En otro estudio se demostró que la capa de geotextil no tuvo ningún efecto significativo en la permeabilidad de los materiales de construcción y demolición (Rahman, Imteaz, Arulrajah, Disfani, & Horpibulsuk, 2015)

3.5.Revisión de aplicaciones exitosas en geotextiles

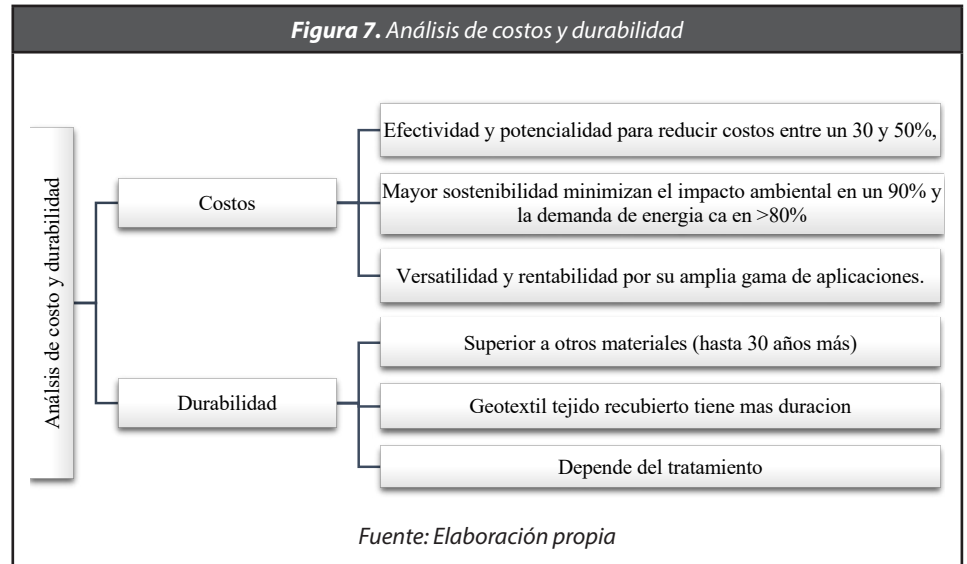
Uno de las aplicaciones de los geotextiles de reconocido éxito es empleando geosintéticos para reforzar el suelo de un muro de tierra mecánicamente estabilizado (Rosales-Hurtado & López-Lara). En este

sentido, los autores exponen un caso llevado a cabo en el Golfo de México, zona caracterizada por fuertes tormentas en gran cantidad y energía, lo que contribuye a que se erosione la línea costera, lo que a su vez pone en peligro la estructura de la costa. Hace más de 40 años Petroleros Mexicanos habían construido allí el puerto de Dos Bocas para alojar oleoductos, pero con los años, el oleaje fue quitándole arena a dicho puerto, por lo que los oleoductos quedaban al borde del colapso ya que no contaban con una cimentación.

Para compensar la pérdida se emplearon tubos de geotextil, con lo que se logró estabilizar la línea costera. Agregan los referidos autores que las playas de Yucatán han sufrido un sostenido proceso de erosión en las últimas décadas, generando una pérdida de un metro por año; por lo que en el 2004 se instaló en una de sus playas un tubo de geotextil de polipropileno tejido a lo largo de sus 4 kilómetros.

Esta medida contribuyó con la reducción de la energía de las olas, actuando como rompeolas; así, detrás del geotextil se crea una zona donde la baja energía de las olas permite que se sedimente la arena, restaurando la parte dañada por la erosión. Por otra parte, también se han considerado las capas espaciadoras de geotextiles como una técnica efectiva para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo contaminado con petróleo (Shahnammia, Sadeghi, Hejazi, & Abtahi, 2023)

3.6. Análisis de costos y durabilidad

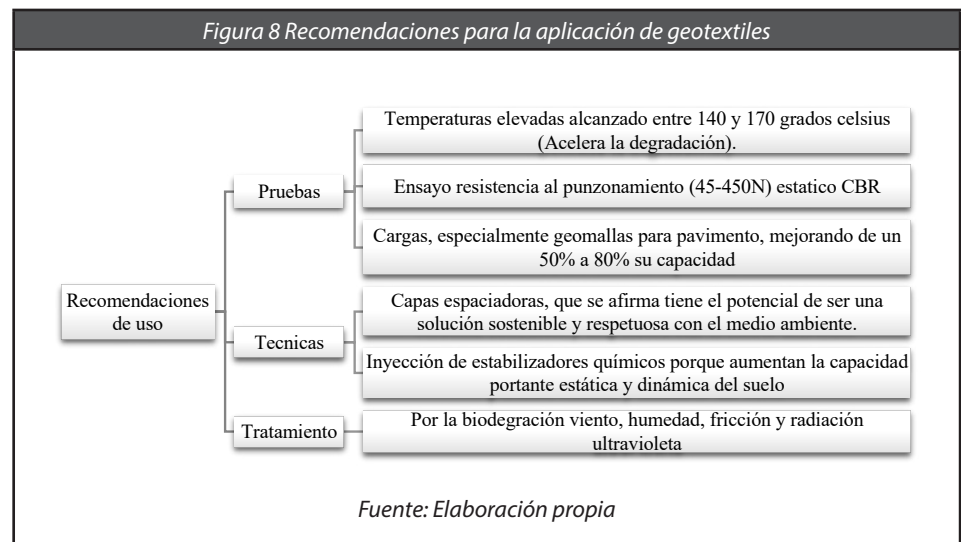


Quando se piensa en el costo de los geotextiles se puede asociar en relación con su efectividad en el campo de la ingeniería civil así como por sus potencialidades para reducir tales costos (Rosales-Hurtado & López-Lara). Así, los costos pueden reducirse entre un 30 y 50%, mientras que su efectividad por los valores anteriores (durabilidad, resistencia, carga entre otros); otra relación es la de versatilidad y rentabilidad de la que los geotextiles es fuerte (Dewberry, 2019). Una tercera relación es de tipo inversamente proporcional, por lo que se sostiene que los geotextiles brindan mayor sostenibilidad a menor costo; por ejemplo, las geomallas en asfalto muestran entre un 25% y 30% más resistencia que el asfalto no reforzado (Prasad, Ishwarya, Jayakrishnan, Sathyan, & Muthukumar, 2023). A los geosintéticos se les reconoce beneficios tanto en términos de eficiencia como de costos (Dewberry, 2019). Un aporte más concreto es el de las geomembranas HDPE, especialmente en rellenos sanitarios y estanques de líquidos residuales, que no solo tienen un costo de producción reducido sino alta resistencia química y mecánica y bajo coeficiente de permeabilidad (Pérez Parra, 2023)

Asimismo, hay algunos comentarios sobre la durabilidad de los geotextiles. Así, se encuentra que los materiales geotextiles

son superiores a otros materiales en la construcción de presas, asegurándose una vida útil prolongada, es decir, mayor de 30 años (Rodríguez, 2023). Pero también se reconoce que la vida útil se prolongará y extenderá siempre que se le dé debido tratamiento (Prasad, Ishwarya, Jayakrishnan, Sathyan, & Muthukumar, 2023). También se halló que los geotextiles WH recubiertos con NR tienen una durabilidad considerablemente mayor contra ciclos de mojado/seco en comparación con las muestras de geotextil WH sin recubrimiento (Prongmanee, Noulmanee, Dulyasucharit, Horpibulsuk, & Chai, 2023)

3.7. Recomendaciones para la aplicación de geotextiles



Las recomendaciones se concentran en pruebas y técnicas. Aunque también pueden mencionarse el tratamiento, como una categoría de recomendación por sí sola, por ejemplo el tratamiento para rendir la durabilidad o vida útil de los geotextiles, particularmente los naturales que son más sensibles a biodegradación por viento, humedad, fricción y radiación ultravioleta (Prasad, Ishwarya, Jayakrishnan, Sathyan, & Muthukumar, 2023). Con respecto a pruebas, se pueden mencionar, Con temperaturas elevadas, alcanzado a soportar temperaturas entre 140 y 170 grados Celsius (Buragadda, Orekanti, M.P, Naresh, & Sravani, 2023); con

cargas, especialmente geomallas para pavimento, mejorando de un 50% a 80% su capacidad (Ayadat, 2022), de CBR, que debe alcanzar al menos 70% para mejorar la subrasante (Lakshmi S. & Lakshmi S., 2023). En cuanto a técnica hay que considerar sus potencialidades. Una de ellas es la de capas espaciadoras, que se afirma tiene el potencial de ser una solución sostenible y respetuosa con el medio ambiente para la purificación y el control del suelo contaminado con petróleo (Shahnammia, Sadeghi, Hejazi, & Abtahi, 2023). Otra se refiere al uso de geocompuestos como solución efectiva y duradera para el drenaje en proyectos de infraestructura vial, por lo que se recomienda aplicarlos tanto en capas de filtro convencionales como en diversas situaciones, subrayando la importancia de su uso en la mitigación de problemas de permeabilidad y escasez de agregados. (Alfaro, 2016). Una última recomendación es la inyección de estabilizadores químicos porque aumentan la capacidad portante estática y dinámica del suelo (Hinojosa, 2023)

4. Conclusiones

De la revisión a las investigaciones estudiadas se puede concluir que los geotextiles tienen más defensores que detractores. De hecho, todas las investigaciones daban un aporte positivo al uso de los geotextiles y ninguna investigación sugirió lo contrario. Las investigaciones además fueron objetivas, esto es, sin sobredimensionar los beneficios de los geotextiles; más bien en algunos casos se hacía hincapié en sus desventajas y limitaciones. Cada investigación tiene sus particularidades, si bien en el punto 3 de esta investigación se establecieron algunas categorías, hay muchas singularidades que llevaría mucho espacio describir, siquiera mencionar, pero que pueden condensarse en la relación de causa y efecto, es decir, de una forma de geotextil (como tubo, geomalla, geosintéticos, entre otros) y los efectos que ocasiona en, por ejemplo, arenas calcáreas. Aunque también se estudió la capacidad del geotextil por sí solo, por ejemplo, su resistencia al daño por cargas cíclicas y estáticas cuando se impregna con emulsión asfáltica, soportando pruebas de 5 a 500 kPa en 200 ciclos de frecuencia de 1 Hz.

A pesar de la gran diversidad de formas como se puede abordar el tema de los geotextiles, la importancia de la investigación radica precisamente en que permite conocer múltiples facetas de estos materiales y sobre todo su pertinencia en la ingeniería civil, concretamente en proyectos geotécnicos. Esto implica conocer a qué pruebas se puede o debe someter para comprobar sus capacidades, qué medidas deben tomarse para implementarlo, sus límites, entre otros aspectos, aunque, como ya se ha dicho, cada investigación y cada trabajo en práctica será diferente y tendrá sus particularidades, pero al menos permite tener una especie de manual para saber qué se puede emular y qué no.

Sobre los resultados vale decir que se establecieron siete categorías sobre los geotextiles. En la identificación y clasificación de sus usos se habló por un lado de usos en general, y por otra parte de uso según el tipo de geotextil, señalándose que la división más general de los geotextiles es entre no tejidos y tejidos, estos últimos ofreciendo según los estudios analizados una resistencia promedio de atracción elevada >40% desde 15 Kn/m hasta 1000 Kn/m, poca deformabilidad y una elongación más del 50%.

La segunda categoría se refirió a las desventajas de su uso, identificándose incompatibilidad o problemas de compatibilidad; posibilidad de crear problemas potenciales; inconvenientes en su instalación, por ejemplo, degradación; exigencia de un mantenimiento frecuente; aunque puede alcanzar 100 años, tiene menor vida útil que otros materiales (mucho más baja aún si se trata de geotextiles naturales); baja sostenibilidad susceptible a humedad, rayos UV, productos químicos; y menor capacidad de carga.

La tercera categoría establecida fue su eficacia para estabilizar suelos, identificándose que los geotextiles pueden hacerlo mediante el uso de drenajes y materiales granulares; encapsulando columnas de arena; para levantamiento de muro de tierra (cuando son geosintéticos); para mayor tracción y desplazamiento (cuando son geosintéticos), para ayudar a drenes subterráneos en subrasantes, para controlar el comportamiento de expansión, drenar la humedad y mejorar la resistencia al corte del suelo expansivo.

La cuarta categoría tiene que ver con el análisis de los beneficios y limitaciones de los geotextiles. Entre los beneficios se puede contar bajo costo, rendimiento, eficiencia sostenibilidad porque disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero en un 90% y la demanda de energía en >80% y brinda mejoras y aumento en durabilidad, resistencia y rigidez; resistencia capacidad de carga y mejora del suelo; aplicaciones específicas en relación con el tipo de geotextil, y entre las limitaciones se puede hacer mención a su eficacia limitada; limitaciones por su naturaleza; y no efecto en materiales de construcción y demolición.

La quinta categoría fue la revisión de aplicaciones exitosas, de las que se puede mencionar que los geosintéticos refuerzan el suelo de un muro de tierra mecánicamente estabilizado, y que las capas espaciadoras de geotextiles son una técnica efectiva para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo contaminado con petróleo.

La sexta categoría fue sobre su análisis de costo y duración. Sobre los costos hay tres asociaciones: asociado con su efectividad y su potencial en sí mismo para reducir los costos. Relación versatilidad y rentabilidad; y mayor sostenibilidad a menor costo. Sobre la durabilidad se argumenta que tienen superioridad de duración con respecto a otros materiales. La duración va a depender del tratamiento. Geotextil tejido recubierto tiene mayor durabilidad. La séptima y última categoría es sobre las recomendaciones de uso de las que se puede establecer categorías en cuanto a pruebas (con temperaturas elevadas, con cargas, de CBR); en cuanto a técnicas (por sus potencialidades y éxitos); y en cuanto a tratamiento (como cuando el geotextil es sensible a biodegradación)

Referencias

- Alfaro, R. (2016). *Aplicación de geocompuestos para el drenaje de obras de infraestructura vial y afines*. En I Congreso de Geotecnia y Pavimentos.
- Arce Inga, M. (2023). *Construcción de dique de tierra en la qocha ismu para el afianzamiento hidrico – distrito de Baños – provincia Lauricocha – departamento Huanuco*. Perú.
- Ayadat, T. (2022). Geotechnical Performance of Encapsulated and Stabilized Stone Columns in a Collapsible Soil. *International Journal of Geomechanics*, 22(6). DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002265.
- Aydilek, A. H., Oguz, S. H., & Edil, T. B. (2002). Constriction size of geotextile filters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131(1). DOI: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:1(28).
- Ballester, F., Castro, D., & Gil, F. (2000). Definición, función y clasificación de los geotextiles. *Arte y Cemento*, 122-130.
- Banović, I., Radnić, J., Grgić, N., & Buzov, A. (2023). Performance of geotechnical seismic isolation using stone pebble - geogrid layer: Experimental investigation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. DOI: 10.1016/j.soildyn.2023.107636.
- Buragadda, V., Orekanti, E. R., M.P., K., Naresh, B., & Sravani, E. (2023). *Effect of Modified Geotextile Reinforcement on Improvement of Anchor Uplift Capacity: An Experimental Study* (Vol. 53). DOI: 10.1007/s11249-022-01603-3.
- Cardenas Araujo, A. (2023). *Influencia del drenaje subterráneo en la subrasante de la carretera Oyón – Ambo, Tramo II*. Perú: Trabajo de Grado.
- Das, K., Chattaraj, S., & Bandyopadhyay, K. (2022). *Review on the Application of Geosynthetic for Ground Improvement* (Singapore: Springer Nature Singapore ed.). En Indian Geotechnical Conference.
- Dewberry. (2019). *Land Development Handbook. 4th ed.* New York: McGraw-Hill Education. Obtenido de <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260440751/toc-chapter/chapter7/section/section6>
- Diab, R. A., & Kashi Ghandi, T. (2023). *Geotechnical Challenges Associated with the Design of the REM Project in Montreal*. En Geo-Congress 2023.
- Estela Horna, C. M., & Salas Llatas, J. M. (2022). *Propuesta de diseño de un sistema de subdrenaje con geodrenes planar y circular para reducir el paso de humedad en la estructura del pavimento de la Av. Prolongación Defensores del Morro en el tramo de los Pantanos de Villa*. Lima.
- Fleury, M. P., Lima, M. A., Santos, E. C., Lopes, M. L., & da Silva, J. L. (2023). *Geotextile resistance to cyclic and static loading damage when impregnated with asphalt emulsion* (Vol. 363). Construction and Building Materials. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.130704.

- Fox, P. J. (2022). Analytical solutions for Internal stability of a geosynthetic-reinforced soil retaining wall at the limit state. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 148(10). Obtenido de [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002844](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002844). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002844.
- Hakimelahi, N., Bayat, M., Ajalloeian, R., & Nadi, B. (2023). Effect of woven geotextile reinforcement on mechanical behavior of calcareous sands. *Case Studies in Construction Materials*, 18(e02014). DOI: 10.1016/j.cscm.2023.e02014.
- Hinojosa, L. (2023). *Soluciones geotécnicas aplicadas a suelos potencialmente licuables para mejorar el comportamiento mecánico en cimentaciones superficiales*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Joy, S., Jayasree, P. K., Balan, K., & Jiniraj, R. B. (2023). Development and evaluation of physical and engineering properties of needle-punched coir latex composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(12). Obtenido de <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JMCEE7.MTENG-16052>. DOI: 10.1061/JMCEE7.MTENG-16052.
- Karademir, T. (2011). *Elevated temperature effects on interface shear behavior* (Vol. 73).
- Khosrojerdi, M., Qiu, T., Xiao, M., & Nicks, J. (2020). Effects of backfill constitutive behavior and soil-geotextile interface properties on deformations of geosynthetic-reinforced soil piers under static axial loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(9). Obtenido de <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29GT.1943-5606.0002313>. DOI: 10.1061/%28ASCE%29GT.1943-5606.0002313.
- Kim, H.-J., Won, M.-S., & Jamin, J. C. (2014). Finite-element analysis on the stability of geotextile tube-reinforced embankments under scouring. *International Journal of Geomechanics*, 15(2). DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000397.
- Lakshmi S., M., & Lakshmi S., V. (2023). Soil strength improvement by reinforcing soil with geotextiles. *Materials Today: Proceedings*. DOI: 10.1016/j.matpr.2023.04.257.
- Lin, C., & Zhang, X. (2018). Laboratory Drainage Performance of a New Geotextile with Wicking Fabric. *Journal of Materials in Civil Engineering*. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002460.
- Lin, C., Galinmoghadam, J., Han, J., Liu, J., & Zhang, X. (2021). Quantifying and Incorporating the benefits of Wicking geotextile into pavement design. *American Society of Civil Engineers*, 147(3). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002413.
- Lu, X., Luo, Y., Ming, H., Zhou, M., Zhang, X., & Liu, D. (2023). Stability of Nonuniform Large Geotextile-Reinforced Cofferdam under Seepage and Excavation Effects. *23(2)*. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002509.

- Mahamid, M., The late Edwin H, G., & The late Charles N, G. (2020). *Structural Engineering Handbook, 5th Edition*. New York: McGraw Hill. Obtenido de <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260115987>
- Maity, S., Rana, S., Pandit, P., & Singha, K. (2022). *Advanced Knitting Technology*. Woodhead Publishing.
- Majidi, A., & Yazdi, M. (2023). Physical modeling of the effect of using scaled geosynthetic reinforcements on bearing capacity and settlement of strip footing. *International Journal of Geomechanics*, 23(7). Obtenido de <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/IJGNAL.GMENG-8141>. DOI: 10.1061/IJGNAL.GMENG-8141.
- Matemu, C. H., Wasman, S. J., & Jones, L. (2023). *Axial Load Tests of Geosynthetic Reinforced Soil (GRS) Piers Constructed with Florida Limestone Aggregate and Woven Geotextile*. En Geo-Congress 2023.
- Mirzaalimohammadi, A., Ghazavi, M., Lajevardi, S. H., & Roustaei, M. (2021). Experimental investigation on pullout behavior of geosynthetics with varying dimension. *International Journal of Geomechanics*, 21(6). Obtenido de [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0002051](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002051)
- Morsy, A. M., Zornberg, J. G., Dov, L., Christopher, B. R., Han, J., & Tanyu, B. F. (2020). Experimental evaluation of the interaction among neighboring reinforcements in geosynthetic-reinforced soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(10). Obtenido de [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002365](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002365)
- Pal, S., & Deb, K. (2023). Filtration capability of geotextile encasement to minimize the clogging of stone column during consolidation. *International Journal of Geomechanics*, 23(6). DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002560.
- Pérez Parra, D. (2023). *La durabilidad de las geomembranas HDPE y su aplicación en proyectos en Colombia y Brasil*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/52566>
- Prasad, V. V., Ishwarya, M. V., Jayakrishnan, P., Sathyan, D., & Muthukumar, S. (2023). *Applications of natural geotextile in geotechnical engineering*.
- Prongmanee, N., Noulmanee, A., Dulyasucharit, R., Horpibulsuk, S., & Chai, J.-C. (2023). Durability against wetting and drying cycles and installation damage of water hyacinth geotextiles coated with natural rubber latex. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(11). DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004357
- Rahman, M. A., Imteaz, M. A., Arulrajah, A., Disfani, M. M., & Horpibulsuk, S. (2015). Engineering and Environmental Assessment of Recycled Construction and Demolition Materials Used with Geotextile for Permeable Pavements. *Journal of Environmental Engineering*, 141(9). DOI: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000975.

- Rodríguez, D. (2023). *Propuesta de diseño del Embalse Ángel I Microcuenca San Idelfonso para controlar las inundaciones por el Fenómeno El Niño, Trujillo*. Trujillo : Universidad César Vallejo .
- Romero, S., & Villena, E. (2023). *Diseño de pavimento flexible adicionando geomalla como refuerzo para minimizar el agrietamiento por cargas dinámicas en calle Mercadillo- Paracas 2022*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Rosales-Hurtado, D., & López-Lara, T. (s.f.). Geosintéticos y su uso en la ingeniería mexicana.
- Rowe, R. K. (2020). Protecting the environment with geosynthetics: 53rd Karl Terzaghi lecture. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 146(9). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002316.
- Sack, R. L., Sprague, J., & Kuhn, J. (2023). *Geotextile Filter Design Using Pore Size Distribution*. En Geo-Congress 2023 .
- Saride, S., Baadiga, R., Balunaini, U., & Madhira, M. R. (2022). Modulus improvement factor-based design coefficients for geogrid-and geocell-reinforced bases. *Journal of Transportation Engineering*, 148(3). DOI: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0001103.
- Shahnammia, A., Sadeghi, M. M., Hejazi, S. M., & Abtahi, S. M. (2023). *Investigation the effect of geotextiles on the absorption of oil contamination and soil geotechnical properties* (Vol. 53). DOI: 10.1007/s11440-022-01577-8.
- Sudarsanan, N., Arulrajah, A., Karpurapu, R., & Amrithalingam, V. (2020). Fatigue performance of geosynthetic-reinforced asphalt concrete beams. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(8). Obtenido de [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003267](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003267)
- Suravi, P., & Kousik, D. (2023). Filtration Capability of Geotextile Encasement to Minimize the Clogging of Stone Column During Consolidation. *International Journal of Geomechanics*. DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002560.
- Tiwari, N., Satyam, N., & Puppala, A. J. (2021). Effect of synthetic geotextile on stabilization of expansive subgrades: experimental study. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(10). DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003764.
- Wang, X., Zhou, X., Zhou, M., & Tian, Y. (2020). Behavior of large geotextile mat cofferdam with a new arrangement of geotextile reinforcement stiffness lying on soft sediments. *International Journal of Geomechanics*, 20(8). DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001782.
- Xiao, C.-z., Cui, F.-l., Ding, L.-q., Wang, F., & Tian, W.-L. (2022). Temperature distributions in geogrid-reinforced soil retaining walls subjected to seasonal freeze–thaw cycles. *International Journal of Geomechanics*, 22(12). DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0002427
- Xue, Y., He, J., Zhang, D., & Liu, W. (2023). *Development of OF based intelligent geotextile and its case study in high-speed railway subgrade* (Vol. 214). DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104979.

- Yang, K., Yalaw, W. M., & Nguyen, M. D. (2015). Behavior of geotextile-reinforced clay with a coarse material sandwich technique under unconsolidated-undrained triaxial compression. *International Journal of Geomechanics*, 16(3). DOI: 10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000623.
- Yáñez-Godoy, H., & Elachachi, S. (2023). *Spatial Structure Characterization of the Soil Surrounding Buried Water Transmission Mains by Using a Sensor-Enabled Geotextile* (Vol. 14). DOI: 10.3390/s22010114.
- Zhang, H., Sun, H.-l., Liu, S.-j., Chu, J., Shi, L., Geng, X.-y., Cai, Y.-q. (2023). Large-strain consolidation of sludge in multiple-drainage geotextile tubes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 149(6). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002921.
- Zhang, H., Wang, W.-j., Liu, S.-j., Chu, J., Sun, H.-l., Geng, X.-y., & Cai, Y.-q. (2022). Consolidation of Sludge Dewatered in Geotextile Tubes under Combined Fill and Vacuum Preloading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 148(6). DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002398.
- Zornberg, J. G. (2012). Ingenuity in Geotechnical Design Using Geosynthetics. *En Geotechnical Engineering State of the Art and Practice: Keynote Lectures from GeoCongress 2012*, (págs. 398-419).