



Universidad  
Señor de Sipán

# **FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**Revisión sistemática de la literatura de las  
propiedades del suelo adicionando fibras sintéticas**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE BACHILLER  
EN INGENIERÍA CIVIL**

## **Autoras**

Bellodas Perez Anggi Analuz  
ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-6813-4898>)  
Vilchez Sandoval Monica del Pilar  
ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-6028-8710>)

## **Asesor**

Dr. Muñoz Pérez Sócrates Pedro  
ORCID (<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>)

## **Línea de Investigación**

**Tecnología e innovación en desarrollo de la construcción y la  
industria en un contexto de sostenibilidad**

## **Sublínea de Investigación**

**Innovación y Tecnificación en Ciencia de los Materiales, Diseño e  
Infraestructura**

**Pimentel – Perú**

**2024**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quienes suscriben la DECLARACIÓN JURADA, somos **egresadas** del Programa de Estudios de **la escuela de Ingeniería civil** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaramos bajo juramento que somos autores del trabajo titulado:

### **Revisión sistemática de la literatura de las propiedades del suelo adicionando fibras sintéticas**

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

|                                   |               |   |
|-----------------------------------|---------------|---|
| Bellodas Perez Anggi Analuz       | DNI: 73350264 |  |
| Vilchez Sandoval Monica del Pilar | DNI: 75066462 |  |

Pimentel, 20 de enero de 2025.

# 8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

## Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **Dedicatoria**

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en este  
camino.

A mis padres, José Bellodas y Rosana Pérez,  
por su amor, apoyo y sacrificios que hicieron  
posible este logro.

A mi hermano, Yeferson Bellodas, por su  
confianza y motivación constante.

Este título como bachiller en Ingeniería Civil es  
para ustedes, con gratitud y amor.

**Bellodas Perez Anggi Analuz**

A mi querida familia, por ser mi mayor  
motivación y fortaleza en este camino.

Gracias por su amor incondicional, su paciencia  
y su fe inquebrantable en mí.

Cada logro alcanzado es un reflejo del esfuerzo  
y sacrificio que han hecho por mí.

Ustedes son el pilar que me sostiene y la razón  
para seguir adelante.

Dedico este logro a su apoyo constante y al  
amor que me inspira día a día.

Este triunfo es tan suyo como mío. ¡Gracias,  
familia!

**Vilchez Sandoval Monica del Pilar**

### **Agradecimientos**

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente de sabiduría en cada paso de este camino.

A mi casa de estudios, por brindarme el conocimiento, las herramientas y el entorno necesario para alcanzar este importante logro.

A mi compañera de tesis, por su compromiso, dedicación y esfuerzo compartido en este proyecto, que juntos hicimos realidad.

Y a todas las personas que de una u otra forma formaron parte de este proceso, gracias por su apoyo, enseñanzas y palabras de aliento que hicieron posible este sueño.

### **Bellodas Perez Anggi Analuz**

A Dios, por ser mi guía, fortaleza y fuente de inspiración durante todo este proceso.

A mis padres, Juan Vilchez Farro y Margot Sandoval Ventura, por su amor incondicional, sacrificios y constante apoyo, que hicieron posible este logro.

A mis hermanos, Ysabel y Juan Carlos, por ser mi apoyo, motivación y ejemplo en cada etapa de mi vida.

A mi compañera de tesis, por su dedicación, esfuerzo compartido y compromiso en este proyecto.

Y a mi asesor, por su guía, paciencia y valiosos consejos, que fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

Este logro es el reflejo del apoyo y la confianza de todos ustedes. ¡Gracias!

### **Vilchez Sandoval Monica del Pilar**

## Índice

|   |    |
|---|----|
| Dedicatoria.....                        | 4  |
| Agradecimientos .....                   | 5  |
| Índice de tablas.....                   | 7  |
| Resumen .....                           | 8  |
| Abstract.....                           | 9  |
| I. INTRODUCCIÓN .....                   | 10 |
| 1.1. Realidad problemática .....        | 10 |
| 1.2. Formulación del problema.....      | 10 |
| 1.3. Hipótesis .....                    | 11 |
| 1.4. Objetivos.....                     | 11 |
| 1.5. Teorías relacionadas al tema ..... | 11 |
| II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....        | 13 |
| III. RESULTADOS.....                    | 15 |
| IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....      | 20 |
| REFERENCIAS .....                       | 25 |
| ANEXOS.....                             | 32 |

## Índice de tablas

|   |    |
|---|----|
| <b>TABLA I:</b> Cantidad de artículos elegidos por bases de datos y/o palabras claves .....                                       | 13 |
| <b>TABLA II:</b> Distribución de los artículos seleccionados en relación a los años y la base de dato consultada. ....            | 14 |
| <b>TABLA III:</b> Resumen de los estudios sobre el efecto de la longitud de la fibra sintética en las propiedades mecánicas. .... | 17 |
| <b>TABLA IV:</b> Beneficios y limitaciones de los diferentes tipos de fibras sintéticas. ....                                     | 19 |

## Resumen

En los últimos años, el uso de fibras sintéticas ha cobrado relevancia en el ámbito de la ingeniería civil, especialmente en la mejora de las propiedades de los suelos. Diversos estudios han demostrado que la incorporación de estas fibras puede contribuir significativamente a optimizar las características mecánicas y físicas del suelo, reduciendo problemas como la erosión y aumentando la estabilidad.

Esta investigación se centró en una revisión bibliográfica sobre la aplicación de fibras sintéticas en la mejora del suelo. La metodología empleada consistió en la recopilación de artículos científicos a través de las bases de datos Science Direct y Scopus, seleccionando un total de 50 publicaciones relevantes para este estudio.

Los resultados obtenidos indican que la adición de fibras sintéticas mejora parámetros clave del suelo, como la resistencia al corte, la cohesión y la capacidad de carga. Además, estas fibras ofrecen una solución sostenible y económica en comparación con métodos convencionales de estabilización.

El objetivo principal fue llevar a cabo una revisión exhaustiva de la literatura para evaluar el impacto de las fibras sintéticas en la mejora de las propiedades del suelo.

En conclusión, el análisis literario permitió identificar que la aplicación de fibras sintéticas representa una alternativa efectiva para la mejora del suelo, contribuyendo no solo a aumentar su estabilidad, sino también a fomentar prácticas más sostenibles en el sector de la construcción.

**Palabras clave:** fibras sintéticas, propiedades, suelo, incorporación.

## **Abstract**

In recent years, the use of synthetic fibers has gained relevance in the field of civil engineering, especially in the improvement of soil properties. Several studies have shown that the incorporation of these fibers can contribute significantly to optimize the mechanical and physical characteristics of the soil, reducing problems such as erosion and increasing stability.

This research focused on a literature review on the application of synthetic fibers in soil improvement. The methodology employed consisted of collecting scientific articles through the Science Direct and Scopus databases, selecting a total of 50 publications relevant to this study.

The results obtained indicate that the addition of synthetic fibers improves key soil parameters such as shear strength, cohesion and bearing capacity. Furthermore, these fibers offer a sustainable and economical solution compared to conventional stabilization methods.

The main objective was to conduct a comprehensive literature review to evaluate the impact of synthetic fibers in improving soil properties.

In conclusion, the literature review identified that the application of synthetic fibers represents an effective alternative for soil improvement, contributing not only to increase soil stability, but also to promote more sustainable practices in the construction sector.

**Keywords:** synthetic fibers, properties, soil, incorporation.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los diferentes tipos de suelos se encuentran en todo el mundo, y ciertas áreas de la mayoría de los países están cubiertas por ellos, es por ello, el desarrollo en la industria de la construcción requiere la utilización extensiva de los recursos naturales y es una preocupación importante para los ambientalistas [1, 2]. Además, los ingenieros civiles enfrentan una tarea difícil al desarrollar infraestructura como edificios, carreteras y puentes en los diferentes tipos de suelo [3]. Es por ello, que existen mejoras del suelo a través de la estabilización química con cal o cemento es una de las estrategias para mejorar las cualidades del suelo que se han demostrado [4]. Según Li et al. [5], mencionan que toda construcción requiere una base sólida y estos depósitos de los tipos de suelo suelto y blando son débiles por naturaleza y requieren estabilización del suelo para soportar las superestructuras.

También, Li et al. [6], describe que las técnicas convencionales de mejora del suelo, la consolidación por vacío y la compactación dinámica son dos procedimientos comunes de mejora del suelo que utilizan varios conceptos para aplicarlos a diferentes tipos de suelo. En lugar de utilizar cimentaciones profundas, a menudo se utilizan técnicas de estabilización del suelo en los sitios de construcción debido a la disponibilidad de suelo débil para soportar estructuras, la falta de espacio disponible y consideraciones de costo [7, 8].

El presente artículo de revisión sobre la mejora del suelo con fibras sintéticas es fundamental para consolidar y difundir el conocimiento sobre esta técnica innovadora. Al analizar estudios previos, se destacan las aplicaciones, ventajas y desafíos de las fibras sintéticas en la estabilización del suelo, lo que permite identificar oportunidades para futuras investigaciones y mejoras en la construcción. Este tipo de artículo contribuye a avanzar en prácticas más sostenibles y eficientes en la ingeniería civil.

### 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de las fibras sintéticas en las propiedades del suelo?

### **1.3. Hipótesis**

La revisión sistemática de la literatura comprende que las fibras sintéticas mejora positivamente las propiedades del suelo.

### **1.4. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Realizar una revisión sistemática de la literatura de las propiedades del suelo adicionando fibras sintéticas.

#### **Objetivos específicos**

Describir el refuerzo de las propiedades del suelo con las fibras sintéticas.

Describir los tipos de fibras sintéticas y su influencia de cada una.

Determinar los factores efectivos en la selección de fibras para reforzar el suelo.

Describir las ventajas y desventajas de los distintos materiales de fibras sintéticas.

### **1.5. Teorías relacionadas al tema**

#### **Fibras sintéticas:**

Entre los diversos tipos de fibras sintéticas, las influencias de las longitudes de las fibras de polipropileno, poliéster y vidrio, entre otros en el rendimiento de los suelos reforzados tratados. Con base en los hallazgos de estudios previos, la longitud óptima de las fibras sintéticas para ser utilizadas como agente de refuerzo del suelo es de 9 mm [9, 10]. En uno de los estudios recientes, Frehaileab et al. [11], demostraron que la longitud de las fibras sintéticas tiene un efecto significativo en las propiedades de ingeniería del suelo tratadas con estas fibras.

#### **Fibras de polipropileno (PP)**

Las fibras de PP se pueden utilizar para mejorar la resistencia del suelo, prevenir la contracción y resistir el deterioro químico y biológico [12], y se generan en grandes cantidades en todo el mundo, pero en lugar de usarse para la construcción, se descartan principalmente como basura en grandes cantidades, lo que deja un gran impacto ambiental [13]. Como resultado, para garantizar la estabilidad del suelo y minimizar la contaminación en el

ecosistema, dichos desechos deben eliminarse adecuadamente [14].

### **Fibras de poliéster (PET)**

La resistencia máxima y máxima están relacionadas con el contenido de fibra cuando la fibra de poliéster se combina, además de la diferencia de las fibras rizadas, las fibras planas se pueden utilizar en tres longitudes de 3 mm, 6 mm y 12 mm. [15] .

### **Fibras de polietileno (PE)**

La eficacia de la estabilización del suelo mediante fibras de polietileno (PE) se ha explorado en un ámbito limitado. Se ha descubierto que una cantidad modesta de fibras de polietileno de alta densidad y aumenta la energía de fracturación del suelo [16]. Sin embargo, otros estudios designan a las fibras del PP que refuerzan el suelo como "Geofibra" [17].

### **Fibras de vidrio**

Xu et al. [18], analizaron el impacto del polipropileno, poliéster y fibras de vidrio en el rendimiento mecánico de suelos cementados fortificados con fibra.

### **Fibras de acero**

Las fibras de acero también se emplean para reforzar la matriz suelo-cemento [19]. Las fibras de acero promueven la estabilidad del suelo, aunque menos que otras fibras [20].

## II. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Dada la escasez de literatura técnica sobre la mecánica de fractura de suelos reforzados con fibras sintéticas, se identificó la necesidad de una revisión sistemática que permitiera determinar parámetros de fractura y procedimientos estandarizados para mejorar las condiciones óptimas de refuerzo. Para ello, se empleó una metodología de revisión sistemática con enfoque mixto, integrando análisis cuantitativo y cualitativo. Se utilizaron bases de datos reconocidas como Science Direct y Scopus, seleccionando publicaciones mediante una estrategia de búsqueda basada en palabras clave cuidadosamente elegidas a partir de estudios previos y recomendaciones de expertos.

Los criterios de selección de la literatura se basaron en tres aspectos fundamentales, se empleó en Bases de datos utilizadas: Se priorizaron aquellas de alto impacto y relevancia en la ingeniería geotécnica. Palabras clave seleccionadas: Se emplearon términos específicos como “soil and synthetic fiber”, “soil reinforcement with synthetic fibers” y “soil properties with the addition of synthetic fibers”, utilizando operadores booleanos como “AND” para optimizar la recuperación de información.

Tipo de publicaciones incluidas, se consideraron artículos indexados en revistas arbitradas, y revisiones previas que abordaran la temática desde una perspectiva científica y aplicada. Posteriormente, la información recopilada fue organizada y analizada según objetivos comunes en los estudios seleccionados, permitiendo una síntesis coherente y profunda. Este enfoque metodológico aseguró una base sólida para la discusión de hallazgos y la identificación de brechas en el conocimiento sobre el uso de fibras sintéticas en la mejora de las propiedades del suelo.

Uno de los principales hallazgos de esta revisión fue la creciente atención hacia la reutilización de residuos de demolición en los últimos cinco años. En este contexto, el uso de fibras sintéticas surge como una estrategia prometedora para optimizar el comportamiento mecánico del suelo, promoviendo soluciones sostenibles en ingeniería civil. La aplicación de este método permitió obtener un conjunto exhaustivo de referencias bibliográficas, sentando

las bases para futuras investigaciones en el campo del refuerzo de suelos con materiales sintéticos y su impacto en la estabilidad estructural y la sostenibilidad ambiental.

**TABLA I:** Cantidad de artículos elegidos por bases de datos y/o palabras claves

| Base de datos  | Palabras claves usando operadores booleanos           | Documentos encontrados | Año a realizar la búsqueda | Filtro de búsqueda (área y tipo de documento) | Documento encontrado usando lo filtro | Artículos elegidos |
|----------------|---|------------------------|----------------------------|---|---------------------------------------|--------------------|
| Science Direct | soil and synthetic fiber                              | 45733                  | 2020-2025                  | ÁREA: Engineering, DOCUMENTO: Article         | 22979                                 | 19                 |
|                | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303                  | 2020-2025                  | ÁREA: Engineering, DOCUMENTO: Article         | 18244                                 | 24                 |
| Scopus         | soil and synthetic fiber                              | 947                    | 2020-2025                  | ÁREA: Engineering, DOCUMENTO: Article         | 106                                   | 7                  |
|                |   |                        |                            |   | TOTAL                                 | 50                 |

**TABLA II:** Distribución de los artículos seleccionados en relación a los años y la base de dato consultada.

| Base de datos  | Año de publicación |      |      |      |      |      | Total |
|----------------|--------------------|------|------|------|------|------|-------|
|                | 2020               | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |       |
| Science Direct | 0                  | 3    | 5    | 8    | 22   | 5    | 43    |
| SCOPUS         | 0                  | 0    | 0    | 0    | 5    | 2    | 7     |
| TOTAL          | 0                  | 3    | 5    | 8    | 27   | 7    | 50    |

### III. RESULTADOS

La revisión de la literatura existente revela importantes lagunas en su aplicación, donde la construcción experimentó un auge, donde la mayoría de los estudios se centran en un marco temporal de mediados de siglo. Este estudio ofrece una clasificación integral y detallada de los materiales, abordando de manera efectiva las limitaciones significativas asociadas con los datos para los cuales los componentes de las fibras sintéticas no se pueden distinguir en los diferentes tipos de suelo. ¿Cuáles son los refuerzos dentro de las propiedades del suelo con las fibras sintéticas?, ¿Qué tipos de fibras sintéticas existen para la aplicación en suelos?, ¿Qué factores efectivos existen en la selección de fibras al aplicar al suelo? Y ¿Qué ventajas y desventajas poseen las fibras sintéticas en los suelos?

#### **El refuerzo de sus propiedades suelos con fibras**

Entre las alternativas para mejorar los suelos para su uso en ingeniería, se ha recurrido a la adición de fibras a las mezclas suelo-cal y suelo-cemento para mejorar aún más la durabilidad, la capacidad portante y la resistencia al corte [21].

También se ha observado que a medida que aumenta el contenido de fibras, el comportamiento frágil del suelo cementado disminuye, por lo que se desarrolla cierta ductilidad en condiciones de falla [22]. En los diferentes tipos de suelo, la incorporación de fibras ha mostrado un gran potencial como refuerzo [23]. Mahyar et al. [24], destaca que a partir de estos estudios se establece que la adición de fibras sintéticas a suelos incrementa los parámetros de resistencia al corte y a la compresión simple y reduce los cambios volumétricos.

Aunque las inclusiones de fibras aumentan la tensión desviadora a grandes deformaciones, no necesariamente aumentan la rigidez a bajas deformaciones y otro hallazgo indica que el tamaño de la fibra juega un papel importante en la resistencia de las arcillas de alta plasticidad ya que al agregar tamaños más pequeños de fibra, la resistencia a la compresión no confinada aumenta en un 84 % al suelo no reforzado [25]. Asimismo, el

proceso de compactación es importante, ya que, dependiendo de la técnica utilizada, se puede generar una orientación preferencial de las fibras en suelos [26]. Sin embargo, se encontró que las fibras incrementan la resistencia a la tracción independientemente de su distribución en el suelo [27].

### **Tipos de fibras sintéticas y su influencia de cada una**

Entre los diversos tipos de fibras sintéticas, las influencias de las longitudes de las fibras de polipropileno, poliéster y vidrio, entre otros, en el rendimiento de los suelos reforzados tratados se han examinado en toda la literatura en Tabla III, Nenglong et al. [28] demostraron que la longitud de las fibras sintéticas tiene un efecto significativo en las propiedades de ingeniería e informaron que la longitud de la fibra puede conducir a mejoras en la densidad seca, UCS y otras propiedades del suelo. Rethinam [29], también notó que cuando las fibras sintéticas eran demasiado cortas, tenían una capacidad de refuerzo limitada que conducía a una reducción significativa en el UCS de las arenas tratadas con EICP. Por otro lado, las fibras excesivamente largas pueden doblarse y restringir la transferencia de fuerzas, lo que resulta en una pérdida de resistencia y una disminución en el rendimiento general de la muestra de suelo tratada [30].

Sin embargo, la longitud óptima de las fibras puede llenar eficazmente los espacios entre los gránulos y proporcionar un efecto de anclaje entre el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y las partículas del suelo. En un estudio más reciente, Sandeep et al. [31], investigaron los efectos del suelo combinado con fibra de polipropileno en la solidificación suelo y demostraron que la longitud de la fibra influye significativamente tanto en la resistencia a la compresión como en la cantidad de deposición de carbonato.

**TABLA III:** Resumen de los estudios sobre el efecto de la longitud de la fibra sintética en las propiedades mecánicas.

| Fibra                       |      | Suelo              | Actuación   | Referencia |
|-----------------------------|------|--------------------|---|------------|
| Tipo                        | L/D  | Tipo               |   |            |
| Poliéster                   | 9/50 | Arenoso            | La incorporación de fibras de diferentes longitudes demostró un cierto grado de mejora en la resistencia del suelo.   | [8]        |
|                             | 9/25 | Arenoso /arcilloso | La resistencia se vio muy influenciada por las características y el tamaño de las fibras utilizadas.  | [32]       |
| Polipropileno               | 9/45 | Arenoso            | La inclusión de fibra de polipropileno en el proceso puede mejorar la capacidad del suelo para resistir el agrietamiento y reducir su susceptibilidad a fallas frágiles.  | [33]       |
|                             | 6/48 | Arenoso/ Arcilloso | La adición de fibras de polipropileno resultó en un aumento sustancial del 234 % en la resistencia residual máxima de la muestra  | [34]       |
| Acetato de polivinilo (PVA) | 3/20 | Expansivo          | Se incorporaron fibras de PVA en diferentes longitudes (3, 6, 9 y 12mm), tuvo un impacto más significativo en el UCS en comparación con la cantidad de fibras utilizadas, resultó en un aumento del 84 % en el UCS. | [35, 36]   |

## **Factores efectivos en la selección de fibras para reforzar el suelo**

Es necesario considerar cuidadosamente varios factores para asegurar un rendimiento óptimo y sostenibilidad al seleccionar fibras adecuadas para la estabilización del suelo [37]. Una amplia gama de factores de control impacta la selección de fibras apropiadas para ser utilizadas en suelos tratados, incluyendo tipo de suelo y propiedades, propiedades de la fibra (tipo, fuerza, longitud y diámetro), disponibilidad, durabilidad, facilidad de manejo e implementación en el campo, impacto ambiental y costo [38]. Mohammed et al. [39] La elección de fibras es crítica para lograr la mejora deseada en las propiedades de ingeniería del suelo, tales como mayor fuerza, permeabilidad reducida y resistencia mejorada a la erosión y una evaluación equilibrada de estos factores de control son necesaria para seleccionar las fibras más apropiadas para una aplicación dada, asegurando un rendimiento óptimo.

Por último, se debe tener en cuenta el impacto ambiental y el costo de las fibras. Es deseable contar con opciones de fibras sostenibles y rentables para garantizar la viabilidad a largo plazo y la adopción generalizada de la tecnología en aplicaciones de estabilización de suelos, los impactos ambientales difieren entre fibras naturales y sintéticas, además las fibras naturales pueden degradarse más rápido que las fibras sintéticas, lo que afecta la durabilidad [40]. El impacto ambiental de las fibras, incluida su biodegradabilidad, reciclabilidad y sostenibilidad general, debe evaluarse cuidadosamente para garantizar que el tratamiento se alinee con consideraciones ambientales más amplias [41]. El costo de las fibras también es una consideración práctica que puede afectar la viabilidad general y económica del enfoque de tratamiento, además equilibrar la asequibilidad y la durabilidad es crucial al considerar el costo [42].

## **Ventajas y desventajas de los distintos materiales de fibra.**

Las fibras desempeñan un papel fundamental en el refuerzo de diferentes compuestos de polímeros debido a sus características distintivas y flexibilidad, es por ellos el objetivo de

diseño de dichos aditivos es siempre lograr un equilibrio entre el costo, el rendimiento, la longevidad y las consideraciones ambientales [43]. Según Amstislavski et al. [44], menciona que las implicaciones de costo enfatizan la importancia de seleccionar el tipo de fibra más apropiado para un proyecto en función de sus requisitos específicos y las condiciones ambientales. En la Tabla IV se resume los beneficios y limitaciones de algunos de los principales materiales fibrosos utilizados comúnmente en la práctica.

**TABLA IV:** Beneficios y limitaciones de los diferentes tipos de fibras sintéticas.

| <b>Tipo de fibra</b> | <b>Beneficios</b>  | <b>Limitaciones</b>   | <b>Referencia</b> |
|----------------------|--|---|-------------------|
| Polipropileno        | Son económicas, ligeras y poseen propiedades mecánicas sólidas. Son resistentes a la humedad y a los productos químicos, y son adecuadas para distintos tipos de suelos. | Puede que no sean tan resistentes como otras fibras sintéticas y que ofrezcan menos refuerzo del suelo. | [45]              |
| PVA                  | Son sintéticas, duraderas y resistentes a la humedad y a los productos químicos.   | Pueden ser más caras que otras fibras sintéticas y no ser adecuadas para todos los tipos de suelo.      | [46]              |
| Vidrio               | Son fuertes, duraderas y resistentes a la humedad y a los productos químicos.  | Pueden ser frágiles y menos ecológicas que las fibras naturales.  | [47]              |
| Poliéster            | Son fuertes, duraderas y resistentes a la humedad y a los productos químicos.  | Pueden ser costosos y no ser ideales para todos los tipos de suelo o entornos.                          | [48, 49, 50]      |

## IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### DISCUSIÓN

#### **El refuerzo de sus propiedades suelos con fibras**

El uso de fibras como alternativa para mejorar suelos en aplicaciones de ingeniería ha demostrado ser una estrategia efectiva para optimizar propiedades mecánicas clave. Estudios recientes resaltan que la adición de fibras a mezclas de suelo-cal y suelo-cemento mejora significativamente la durabilidad, la capacidad portante y la resistencia al corte, además de reducir el comportamiento frágil del suelo cementado, promoviendo una mayor ductilidad en condiciones de falla [21].

La incorporación de fibras presenta un gran potencial como refuerzo en distintos tipos de suelos, tal como lo evidencian los hallazgos de Mahyar et al. [24]. Estos estudios concluyen que las fibras sintéticas incrementan los parámetros de resistencia al corte y resistencia a la compresión simple, además de reducir los cambios volumétricos en suelos. Sin embargo, se debe considerar que este refuerzo no necesariamente incrementa la rigidez a bajas deformaciones, lo que podría limitar su aplicación en ciertos escenarios.

Un aspecto relevante en el desempeño de suelos reforzados con fibras es el tamaño de estas. En suelos de alta plasticidad, el uso de fibras de menor tamaño incrementa hasta en un 84% la resistencia a la compresión no confinada, en comparación con suelos no reforzados [25]. Esto subraya la importancia de seleccionar tamaños de fibras adecuados según las propiedades del suelo y los objetivos del proyecto.

El proceso de compactación también juega un papel crucial, ya que influye en la orientación preferencial de las fibras, lo que puede afectar las propiedades mecánicas generales del suelo [26]. Sin embargo, los estudios destacan que, independientemente de la orientación de las fibras, estas mejoran la resistencia a la tracción, lo que refuerza su utilidad en diversas aplicaciones geotécnicas [27].

### **Tipos de fibras sintéticas y su influencia de cada una**

Los tipos de fibras sintéticas, incluyendo polipropileno, poliéster, vidrio y acetato de polivinilo (PVA), han demostrado desempeñar un papel crucial en la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos reforzados. Nenglong et al. [28] evidenciaron que la longitud de las fibras influye significativamente en propiedades como la densidad seca y la resistencia a la compresión simple (UCS, por sus siglas en inglés). Por el contrario, fibras excesivamente cortas presentan una capacidad limitada de refuerzo, lo que reduce significativamente el UCS de suelos tratados, como lo indicó Rethinam [29]. Sandeep et al. [31] investigaron la influencia de fibras de polipropileno en la solidificación de suelos y concluyeron que su longitud afecta notablemente tanto la resistencia a la compresión como la deposición de carbonato. Este hallazgo subraya la necesidad de ajustar la relación longitud/diámetro (L/D) de las fibras para optimizar los efectos en el rendimiento mecánico del suelo.

### **Factores efectivos en la selección de fibras para reforzar el suelo**

La selección de fibras para la estabilización de suelos es un proceso complejo que requiere la consideración de una amplia gama de factores interrelacionados para garantizar un rendimiento óptimo y sostenibilidad en las aplicaciones prácticas. Diversos factores de control influyen en esta elección, incluyendo las características del suelo, las propiedades de las fibras, su disponibilidad, durabilidad, facilidad de implementación, impacto ambiental y costo. Cada uno de estos elementos desempeña un papel crucial y su evaluación balanceada es fundamental para seleccionar las fibras más adecuadas para una aplicación específica [37, 38].

El tipo de suelo y sus propiedades representan el punto de partida en el proceso de selección. Suelos con diferentes composiciones químicas, mecánicas y texturales requieren fibras específicas para maximizar el rendimiento. Además, las propiedades intrínsecas de las fibras, como el tipo, la resistencia, la longitud y el diámetro, determinan cómo estas

interactúan con la matriz del suelo para mejorar sus propiedades de ingeniería. Por ejemplo, Mohammed et al. [39] subrayaron la importancia de seleccionar fibras que permitan aumentar la resistencia, reducir la permeabilidad y mejorar la resistencia a la erosión del suelo. Por lo tanto, comprender las interacciones suelo-fibra es esencial para garantizar un rendimiento óptimo y sostenible en las aplicaciones de estabilización.

En conclusión, la selección de fibras para la estabilización del suelo biomedicado debe abordarse desde una perspectiva holística que considere las propiedades del suelo, las características de las fibras, el impacto ambiental y el costo. Una evaluación integrada de estos factores permitirá identificar soluciones que sean técnicamente efectivas, económicamente viables y ambientalmente sostenibles.

#### **Ventajas y desventajas de los distintos materiales de fibra.**

Las fibras cumplen un papel esencial en el refuerzo de compuestos poliméricos, gracias a sus características distintivas, como su flexibilidad y propiedades mecánicas. El diseño de aditivos a base de fibras busca equilibrar factores como el costo, el rendimiento, la longevidad y las consideraciones ambientales. Este enfoque integral es crucial para garantizar la sostenibilidad y la eficiencia de los materiales reforzados.

Amstislavski et al. [44] destacan que el costo es un factor determinante en la selección de fibras. La elección adecuada depende de los requisitos específicos del proyecto y de las condiciones ambientales. De esta manera, el tipo de fibra seleccionado debe optimizar la relación entre su desempeño y las limitaciones presupuestarias.

## CONCLUSIONES

En los últimos años, los investigadores han estado explorando varios métodos para mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos de tierra de origen biológico para aplicaciones en ingeniería geotécnica. Al agregar fibras a estos compuestos, ha surgido una solución prometedora para abordar la fragilidad inherente de estos compuestos de tierra estabilizados biológicamente. Este enfoque tiene como objetivo aumentar la ductilidad y el rendimiento general de estos materiales, allanando el camino para su adopción más amplia en proyectos de construcción e infraestructura.

Este artículo de revisión presentó una descripción general de las últimas investigaciones sobre la aplicación del refuerzo de fibra para mejorar la eficiencia de las técnicas de tratamiento. Se evaluaron exhaustivamente los efectos del tipo, el contenido y la longitud de las fibras naturales y sintéticas en las características mecánicas de los suelos.

Además, se realizó una evaluación exhaustiva del equilibrio costo-rendimiento, junto con un examen detallado de los desafíos comunes encontrados en el uso de materiales fibrosos junto con los métodos MICP/EICP, brindando recomendaciones para estudios prospectivos.

El análisis de la literatura destaca que la combinación ideal de fibras naturales y sintéticas en suelos para lograr la máxima resistencia se encuentra típicamente dentro de los rangos de 0,5-3 % y 0,2-0,6 %, respectivamente. De manera similar, las longitudes de fibra recomendadas para fibras naturales y sintéticas se encuentran típicamente en los rangos de 9-12 mm y 9 mm, respectivamente, dependiendo del tipo de arenas huésped y la cantidad de agentes aglutinantes biológicos utilizados. Es importante señalar que aumentar el contenido/longitud de la fibra dentro de un rango específico promueve una mayor precipitación de carbonato de calcio, mejorando así las propiedades mecánicas, la deformación posterior a la falla y el coeficiente de permeabilidad de las muestras tratadas. Un mayor contenido de fibra hasta el nivel óptimo crea más área de superficie para las bacterias, lo que facilita más sitios de nucleación para la precipitación.

Según la literatura, se informa de una variedad de puntos de precio para fibras sintéticas. Si bien las fibras naturales son generalmente asequibles, las fibras sintéticas suelen ser más costosas, las fibras sintéticas como el carbono y el basalto proporcionan mejoras significativas en la resistencia, pero son considerablemente más caras y pueden no ser la opción más económica. Estas consideraciones subrayan la importancia de evaluar cuidadosamente la rentabilidad de las opciones de fibra al considerar sus propiedades de resistencia y el presupuesto del proyecto. Equilibrar las mejoras de resistencia deseadas con las limitaciones financieras de un proyecto es crucial para seleccionar el tipo de fibra óptimo para mejorar el rendimiento y la durabilidad de los materiales compuestos. El proceso de toma de decisiones debe incluir un análisis exhaustivo de los requisitos específicos del proyecto, los objetivos a largo plazo y las consideraciones presupuestarias para garantizar una selección informada y estratégica de fibras naturales o sintéticas.

## REFERENCIAS

- [1] Z. Talha , A. Mohd Asif and H. Atif , "Soil stabilization by reinforcing natural and synthetic fibers – A state of the art review," *Materialstoday: Proceedings*, 2023.
- [2] C. Hernández, E. Botero and G. Beltrán, "The study of fracture mechanics of PET fiber-reinforced soils based on flexural tests and imaging techniques," *Transportation Geotechnics*, p. 101486, 2025.
- [3] J. Amirhossein , A. Parsa , S. Mahdi, P. Meghdad , R. Payam Zanganeh, A. Mahyar and A. Hadi , "Application of natural and synthetic fibers in bio-based earthen composites: A state-of-the-art review," *Results in Engineering*, vol. 25, p. 103732, 2025.
- [4] W. Yuning , H. Xiangxin, P. Qiang , C. Xiujun , Q. Pengfei and X. Zhicheng , "Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste sisal fibers: An optimal selection and modification research," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, p. e03515, 2024.
- [5] L. Li , L. Jun and X. Zhimin , "Investigation on soil water retention characteristics and tensile strength of phyllite residual soil reinforced with polypropylene fibers," *Construction and Building Materials*, vol. 444, p. 137544, 2024.
- [6] J. Li, X. Wei , Z. Jun , S. Lihai , L. Wan , Y. Zhihua and L. Lei, "Research on the bearing capacity characteristics of hybrid polypropylene fiber reinforced cement soil for airstrip based on large-scale testing," *Construction and Building Materials*, vol. 441, p. 137481, 2024.
- [7] Y. Yijun , H. Mian, Q. Xia , X. Zhongming and O. Xie, "A study on the mechanical behaviour of mixed fiber-reinforced soil," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 20, p. e02879, 2024.
- [8] E. Kanold, W. B. Serra, M. Tosi, C. Fahey, K. Dunfield and P. M. Antunes, "Addition of polyester microplastic fibers to soil alters the diversity and abundance of arbuscular

- mycorrhizal fungi and affects plant growth and nutrition," *European Journal of Soil Biology*, vol. 122, p. 103666, 2024.
- [9] S. Tayfun , A. Noyan and V. Yasar , "Investigating the effects of stabilization carried out using fly ash and polypropylene fiber on the properties of highway clay soils," *Construction and Building Materials*, vol. 400, p. 132590, 2023.
- [10] C. Qingsheng , X. Zhilin, T. Gaoliang , N. Sanjay and W. Chaochao , "Laboratory investigation on static and dynamic properties, durability, and microscopic structure of Nano-SiO<sub>2</sub> and polypropylene fiber cemented soil under coupled seawater corrosion and cyclic loading," *Construction and Building Materials*, vol. 440, p. 137449, 2024.
- [11] G. Frehaileab Admasu, K. Naoki and Y. Hideaki , "Optimization of physical and strength performance of cellulose-based fiber additives stabilized expansive soil," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 20, p. e02851, 2024.
- [12] Z. Xidong , D. Wei , Y. Changxing , W. Zhen'ang and L. Ye , "The mitigation of liquefaction potential of sand using synthetic fibres with rough surfaces," *Construction and Building Materials*, vol. 434, p. 136717, 2024.
- [13] R. Haigh, M. Sandanayake, S. Sasi, E. Yaghoubi, P. Joseph and Z. Vrcelj, "Microstructural attributes and physiochemical behaviours of concrete incorporating various synthetic textile and cardboard fibres: A comparative review," *Journal of Building Engineering*, vol. 86, p. 108690, 2024.
- [14] X. Yu , T. Liyuan , C. Hongbo, G. Qiwen and P. Huangsong , "Experimental studies on compressive and tensile strength of cement-stabilized soil reinforced with rice husks and polypropylene fibers," *Construction and Building Materials*, vol. 344, p. 128242, 2022.
- [15] A. K. Mohammad , N. Gábor and T. Ákos , "Stabilization of collapsible soils with nanomaterials, fibers, polymers, industrial waste, and microbes: Current trends," *Construction and Building Materials*, vol. 368, no. 2023, p. 130463, 2023.
- [16] N. Mahdi Ghasemi , T. Alireza and L. Nima , "Effect of natural and synthetic fibers

- reinforcement on California bearing ratio and tensile strength of clay," *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 626-642, 2021.
- [17] Z. Zhitao , J. Enyue and F. Zhongzhi , "Study on the Tensile Properties and Application of Gravelly Soil Reinforced by Polypropylene Fiber," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 26, no. 8, pp. 3265-3274, 2022.
- [18] D. Xu, J. Yan and Q. Liu, "Behavior of discrete fiber-reinforced sandy soil in large-scale simple shear tests," *Geosynthetics International*, vol. 28, no. 6, pp. 598-608, 2021.
- [19] H. Shixin , W. Xuxiang , B. Haibo , X. Zhiwei and D. Ma, "Effect of fiber dispersion, content and aspect ratio on tensile strength of PP fiber reinforced soil," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 15, pp. 1613-1621, 2021.
- [20] T. Huiming , M. Chicheng, L. Sicheng and S. Yifei , "Experimental study on the influence of fiber characteristics on the working property of underwater flowable solidified soil: Flowability, anti-dispersion, strength and anti-scour resistance," *Ocean Engineering*, vol. 312, no. 2, p. 119230, 2024.
- [21] L. Suyuan , W. Yushu , T. Hanyuan , S. Shenkai , Z. Linzhuo , Z. Rui and H. Chunpeng , "Mechanical properties and toughening effect of rice straw fiber-reinforced soil," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, p. e03511, 2024.
- [22] A. Reis , T. Freitas , M. Carvalho and S. Machado, "Long-term behaviour of coir-fibre-reinforced soils," *Environmental Geotechnics*, vol. 11, no. 8, pp. 629-642, 2024.
- [23] S. Özge , N. Ayşe , Ç. Yasemin , D. Berrak , Ö. Azime, Ç. Gülşah , A. Samiye , R. Seema , R. Sarvesh and P. Ravi , "Areca nut husk lignocellulosic fibers: A sustainable alternative to synthetic textiles," *European Polymer Journal*, vol. 221, p. 113531, 2024.
- [24] A. Mahyar , M. Mohammad and M. Maryam , "The influence of rice fiber and nanoclay on mechanical properties and mechanisms of clayey soil stabilization," *Construction and Building Materials*, vol. 407, p. 133542, 2023.
- [25] S. Yang , S. Yuqi , F. Hao , W. Daming , L. Weihua , H. Yuxin , Z. Chen , C. Liuxia and

- S. Xiangyang , "Fiber-reinforced microbially induced carbonate precipitation (MICP) for enhancing soil stability: Mechanisms, effects, and future prospects," *Journal of Building Engineering*, vol. 94, p. 109955, 2024.
- [26] S. Mahdi , P. Meghdad , H. Iman , A. Mahyar and Z. Payam , "Effect of glass fiber (GF) on the mechanical properties and freeze-thaw (F-T) durability of lime-nanoclay (NC)-stabilized marl clayey soil," *Construction and Building Materials*, vol. 416, p. 135227, 2024.
- [27] V. Rajneesh , S. Mukul and K. Dharmendra , "A treatise on mechanical properties of natural and synthetic fibre reinforced hybrid polymer composites," *Materialstoday: Proceedings*, vol. 106, pp. 177-183, 2024.
- [28] Y. Nenglong , Z. Zhenmin , S. Constantinos , P. Prasad and B. Kali , "Effect of micro-scale fibre uncertainties on the mechanical behaviour of natural/synthetic hybrid fibre composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 188, p. 108570, 2025.
- [29] S. Rethinam , "Leather waste as a filler of synthetic fibers: a novel approach to waste recycling," *Green Materials*, 2024.
- [30] R. Vignesh and A. Abdul , "Emerging eco-friendly fiber-reinforced concrete with shaped synthetic aggregates using Taguchi grey relational analysis and utility concept," *Construction and Building Materials*, vol. 447, p. 138039, 2024.
- [31] R. Sandeep, W. Ram , R. Veerabhadra , I. Kannan and D. Trudeep , "Performance of fibre-reinforced landfill mined soil like fraction as an environment friendly fill material," *Journal of Environmental Management*, vol. 349, p. 119464, 2024.
- [32] Y. Chen, W. Xiaoting , Y. Xiaohui , S. Guilong , D. Weihao , C. Jiabao , Q. Yongqiang and H. Liebao , "Will the aging products of soil-reinforcement fibers stress plant growth and soil health?," *Chemosphere*, vol. 338, p. 139464, 2023.
- [33] F. Beyza and U. Mucteba , "Revolutionary optimization: Synthetic fiber-reinforced

geopolymer mortars with metazeolite and red mud for unmatched durability and sustainability," *Materials Today Sustainability*, vol. 29, p. 101062, 2025.

- [34] R. Ali , S. Ghorashi and M. Meysam , "Effect of freezing soil temperatures on strength parameters of clayey sand soils stabilized by poly propylene and poly vinyl alcohol fibers," *Cold Regions Science and Technology*, vol. 208, p. 103797, 2023.
- [35] T. Ganpei , Z. Runhao , F. Linhua , G. Li , Y. Zhen and B. Bo , "Enhancement of sludge dewaterability using amphoteric starch-based flocculant coupled with waste synthetic fibers," *Separation and Purification Technology*, vol. 354, no. 2, p. 128731, 2025.
- [36] S. Reehana and M. Muthukumar, "Undrained response of fibre reinforced expansive soil subjected to cyclic loading," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 173, p. 108154, 2023.
- [37] G. F. Olaolu , J. Funmilola, O.-A. Bamitale Dorcas , J. O. Oladapo, M. Bodunrin and A. Adesola Olayinka, "Evaluation of citric acid-treated natural fibres as sustainable additives for improving expansive soil performance in highway construction," *Journal of Engineering Research*, 2024.
- [38] R. Tabakouei, S. Narani, M. Abbaspour and E. Aflaki, "Coupled specimen and fiber dimensions influence measurement on the properties of fiber-reinforced soil," *Measurement*, vol. 188, p. 110556, 2022.
- [39] N. Mohammed, M. Khan and A. Kausar , "Effect of artificial and natural fibers on behavior of soil," *Materialstoday: Proceedings*, vol. 64, no. 1, pp. 481-487, 2022.
- [40] E. M. Ahlam , B. Khadija and R. Yassine , "Assessing the impact of plant fibers on swelling parameters of two varieties of expansive soil," *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, vol. 8, p. 100408, 2023.
- [41] L. Jianguo, D. Fei, Wansheng , W. Xusheng , Y. Zhilang and Z. Zhexi , "Mitigating frost heave and enhancing mechanical performance of silty clay with sisal fibre and geopolymer," *Construction and Building Materials*, vol. 447, p. 138120, 2024.

- [42] S. Deepti, Vinay, P. Prerna , G. Pooja , S. Satyawati, K. Vivek and K. Sunil , "Microplastic Fibers in Different Environmental Matrices from Synthetic Textiles: Ecotoxicological Risk, Mitigation Strategies, and Policy Perspective," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 12, no. 2, p. 112333, 2024.
- [43] L. Xian , S. Qihao , S. Wei and B. Yihai, "Structural behavior of reinforced concrete tunnel linings with synthetic fibers addition," *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 131, p. 104771, 2023.
- [44] P. Amstislavski, T. Pöhler, A. Valtonen, L. Wikström, A. Harlin, S. Salo, P. Jetsu and G. Szilvay, "Low-density, water-repellent, and thermally insulating cellulose-mycelium foams," *Cellulose*, vol. 31, no. 4, pp. 8769 - 8785, 2024.
- [45] X. Niu, H. Zhu, S. Mhatre, R. Bi, Y. Ye and O. Rojas, "Betulin Enables Multifunctional Cellulose-Based Insulative Foams with Low Environmental Impacts," *ACS Nano*, vol. 18, no. 31, pp. 20247-20257, 2024.
- [46] P. Mulye, E. Syerko, C. Binetruy and A. Leygue, "A Novel Finite Element-Based Method for Predicting the Permeability of Heterogeneous and Anisotropic Porous Microstructures," *Materials*, vol. 17, no. 12, p. 2873, 2024.
- [47] S. Mondal, T. Chakraborty, R. G. Chaudhuri, M. K. Mandal, H. Chaudhuri and S. Pal, "Nanocomposite-Modified Jute Geotextile as a Sustainable Solution for Subgrade Strength in Low-Traffic Roadways: A Performance Analysis," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 37, no. 3, p. 04024535, 2025.
- [48] A. Z. Abdulkrem, A. S. A Rashid, T. Amhadi, K. N. Mat Said, A. H. Abdul Rashid, A. Ismail and A. Dehghanbanadaki, "The Effectiveness of Nonwoven Kenaf Geotextile in Improving Load Bearing of Soft Soil," *Transportation Infrastructure Geotechnology*, vol. 12, no. 1, p. 63, 2025.
- [49] L. A. Martins, A. A. S. Correia, P. J. d. V. Oliveira and L. J. L. Lemos, "Indirect analysis of the suction effect in cyclic UCS tests of a fibre reinforced stabilized soil," *Geotecnia*,

vol. 2024, no. 162, pp. 3 - 18, 2024.

- [50] D. Marczak, K. Lejcuś, J. Grzybowska-Pietras, W. Biniś and A. Tamma, "Circular economy in action: Transforming textile waste into sustainable soil additives - Physicochemical properties and biodegradability," *Journal of Cleaner Production*, vol. 480, p. 144093, 2024.

# ANEXOS

## - BITACORA

| Revisión sistemática de la literatura de las propiedades del suelo adicionando fibras sintéticas |                |  |                        |                            |   |   |      |   |   |
|--|----------------|--|------------------------|----------------------------|---|---|------|---|---|
| N° ARTÍCULO  | BASE DE DATOS  | PALABRAS CLAVES USANDO OPERADORES BOLEANOS | DOCUMENTOS ENCONTRADOS | AÑO A REALIZAR LA BUSQUEDA | FILTRO DE BUSQUEDA (ÁREA Y TIPO DE DOCUMENTO) | DOCUMENTO ENCONTRADO USANDO EL FILTRO DE BUSQUEDA | AÑO  | TÍTULO  | LINK  |
| 1  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2023 | Soil stabilization by reinforcing natural and synthetic fibers – A state of the art review  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323015420">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323015420</a> |
| 2  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2025 | The study of fracture mechanics of PET fiber-reinforced soils based on flexural tests and imaging techniques  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391225000054">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214391225000054</a> |
| 3  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2025 | Application of natural and synthetic fibers in bio-based earthen composites: A state-of-the-art review  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024019753">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123024019753</a> |
| 4  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste sisal fibers: An optimal selection and modification research  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524006661">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524006661</a> |
| 5  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | Investigation on soil water retention characteristics and tensile strength of phyllite residual soil reinforced with polypropylene fibers   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824026862">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824026862</a> |
| 6  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | Research on the bearing capacity characteristics of hybrid polypropylene fiber reinforced cement soil for airstrip based on large-scale testing   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824026230">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824026230</a> |
| 7  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | A study on the mechanical behaviour of mixed fiber-reinforced soil  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524000305">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524000305</a> |
| 8  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | Addition of polyester microplastic fibers to soil alters the diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi and affects plant growth and nutrition   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556324000724">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1164556324000724</a> |
| 9  | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2023 | Investigating the effects of stabilization carried out using fly ash and polypropylene fiber on the properties of highway clay soils  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823023061">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823023061</a> |
| 10   | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | Laboratory investigation on static and dynamic properties, durability, and microscopic structure of Nano-SiO <sub>2</sub> and polypropylene fiber cemented soil under coupled seawater corrosion and cyclic loading | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824025911">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824025911</a> |
| 11   | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | Optimization of physical and strength performance of cellulose-based fiber additives stabilized expansive soil  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524000020">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524000020</a> |
| 12   | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | The mitigation of liquefaction potential of sand using synthetic fibres with rough surfaces   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824018580">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824018580</a> |
| 13   | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2024 | Microstructural attributes and physiochemical behaviours of concrete incorporating various synthetic textile and cardboard fibres: A comparative review   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710224002584">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710224002584</a> |
| 14   | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2022 | Experimental studies on compressive and tensile strength of cement-stabilized soil reinforced with rice husks and polypropylene fibers  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822019055">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061822019055</a> |
| 15   | Science Direct | soil and synthetic fiber                   | 45733                  | 2020-2025                  | DOCUMENTO: Article                            | 22979   | 2022 | Stabilization of collapsible soils with nanomaterials, fibers, polymers, industrial waste, and microbes: Current trends   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823001745">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823001745</a> |

|    |                |   |       |           |                    |       |      |   |   |
|----|----------------|---|-------|-----------|--------------------|-------|------|---|---|
| 16 | Science Direct | soil and synthetic fiber                              | 45733 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 22979 | 2021 | Effect of natural and synthetic fibers reinforcement on California bearing ratio and tensile strength of clay   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775521000172">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775521000172</a>                 |
| 17 | Science Direct | soil and synthetic fiber                              | 45733 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 22979 | 2022 | Study on the Tensile Properties and Application of Gravelly Soil Reinforced by Polypropylene Fiber  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226798824014879">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226798824014879</a>                 |
| 18 | Science Direct | soil and synthetic fiber                              | 45733 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 22979 | 2021 | Behavior of discrete fiber-reinforced sandy soil in large-scale simple shear tests  | <a href="https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S175176132100259">https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S175176132100259</a>   |
| 19 | Science Direct | soil and synthetic fiber                              | 45733 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 22979 | 2021 | Effect of fiber dispersion, content and aspect ratio on tensile strength of PP fiber reinforced soil  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785421009534">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785421009534</a>                 |
| 20 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Experimental study on the influence of fiber characteristics on the working property of underwater flowable solidified soil: Flowability, anti-dispersion, strength and anti-scour resistance | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002980182402568X">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002980182402568X</a>                 |
| 21 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Mechanical properties and toughening effect of rice straw fiber-reinforced soil   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524006624">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524006624</a>                 |
| 22 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Long-term behaviour of coir-fibre-reinforced soils  | <a href="https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S2051803X24000374">https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S2051803X24000374</a> |
| 23 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Areca nut husk lignocellulosic fibers: A sustainable alternative to synthetic textiles  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305724007924">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305724007924</a>                 |
| 24 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2023 | The influence of rice fiber and nanoclay on mechanical properties and mechanisms of clayey soil stabilization   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823032592">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823032592</a>                 |
| 25 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Fiber-reinforced microbially induced carbonate precipitation (MICP) for enhancing soil stability: Mechanisms, effects, and future prospects   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710224015237">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710224015237</a>                 |
| 26 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Effect of glass fiber (GF) on the mechanical properties and freeze-thaw (F-T) durability of lime-nanoclay (NC)-stabilized marl clayey soil  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824003684">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824003684</a>                 |
| 27 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | A treatise on mechanical properties of natural and synthetic fibre reinforced hybrid polymer composites   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785324002463">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785324002463</a>                 |
| 28 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2025 | Effect of micro-scale fibre uncertainties on the mechanical behaviour of natural/synthetic hybrid fibre composites  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X24005682">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X24005682</a>                 |
| 29 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Leather waste as a filler of synthetic fibers: a novel approach to waste recycling  | <a href="https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S2049123924000294">https://www.sciencedirect.com/org/science/article/abs/pii/S2049123924000294</a> |
| 30 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Emerging eco-friendly fiber-reinforced concrete with shaped synthetic aggregates using Taguchi grey relational analysis and utility concept   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824031817">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824031817</a>                 |
| 31 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2024 | Performance of fibre-reinforced landfill mined soil like fraction as an environment friendly fill material  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723022521">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723022521</a>                 |
| 32 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article | 18244 | 2023 | Will the aging products of soil-reinforcement fibers stress plant growth and soil health?   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653523017319">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653523017319</a>                 |

|    |                |   |       |           |  |       |      |   |   |
|----|----------------|---|-------|-----------|--|-------|------|---|---|
| 33 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2025 | Revolutionary optimization: Synthetic fiber-reinforced geopolymer mortars with metazeolite and red mud for unmatched durability and sustainability    | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589234724003981">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589234724003981</a>   |
| 34 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2023 | Effect of freezing soil temperatures on strength parameters of clayey sand soils stabilized by poly propylene and poly vinyl alcohol fibers           | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165232X23000277">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165232X23000277</a>   |
| 35 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2025 | Enhancement of sludge dewaterability using amphoteric starch-based flocculant coupled with waste synthetic fibers                                     | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586624024705">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586624024705</a>   |
| 36 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2023 | Undrained response of fibre reinforced expansive soil subjected to cyclic loading   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267726123003998">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0267726123003998</a>   |
| 37 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2024 | Evaluation of citric acid-treated natural fibres as sustainable additives for improving expansive soil performance in highway construction            | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187724000397">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187724000397</a>   |
| 38 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2022 | Coupled specimen and fiber dimensions influence measurement on the properties of fiber-reinforced soil  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224121014305">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224121014305</a>   |
| 39 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2022 | Effect of artificial and natural fibers on behavior of soil   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322031662">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322031662</a>   |
| 40 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2023 | Assessing the impact of plant fibers on swelling parameters of two varieties of expansive soil  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266016423001135">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266016423001135</a>   |
| 41 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2024 | Mitigating frost heave and enhancing mechanical performance of silty clay with sisal fibre and geopolymer   | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824032628">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824032628</a>   |
| 42 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2024 | Microplastic Fibers in Different Environmental Matrices from Synthetic Textiles: Ecotoxicological Risk, Mitigation Strategies, and Policy Perspective | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343724004639">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343724004639</a>   |
| 43 | Science Direct | soil properties with the addition of synthetic fibers | 33303 | 2020-2025 | DOCUMENTO: Article                                       | 18244 | 2023 | Structural behavior of reinforced concrete tunnel linings with synthetic fibers addition  | <a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779822004114">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779822004114</a>   |
| 44 | Scopus         | soil and synthetic fiber                              | 947   | 2020-2025 | ÁREA: Engineering, Materials Science, DOCUMENTO: Article | 106   | 2024 | Low-density, water-repellent, and thermally insulating cellulose-mycelium foams   | <a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85202478263&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;ot=b&amp;sdt=cl&amp;cluster=scopusabbr%2C%22ENGI%22%2C%2C%22MTE%22%2C%22RE%22">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85202478263&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;ot=b&amp;sdt=cl&amp;cluster=scopusabbr%2C%22ENGI%22%2C%2C%22MTE%22%2C%22RE%22</a> |
| 45 | Scopus         | soil and synthetic fiber                              | 947   | 2020-2025 | ÁREA: Engineering, Materials Science, DOCUMENTO: Article | 106   | 2024 | Betulin Enables Multifunctional Cellulose-Based Insulative Foams with Low Environmental Impacts   | <a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85199545209&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;ot=b&amp;sdt=cl&amp;cluster=scopusabbr%2C%22ENGI%22%2C%2C%22MTE%22%2C%22RE%22">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85199545209&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;ot=b&amp;sdt=cl&amp;cluster=scopusabbr%2C%22ENGI%22%2C%2C%22MTE%22%2C%22RE%22</a> |
| 46 | Scopus         | soil and synthetic fiber                              | 947   | 2020-2025 | ÁREA: Engineering, Materials Science, DOCUMENTO: Article | 106   | 2024 | A Novel Finite Element-Based Method for Predicting the Permeability of Heterogeneous and Anisotropic Porous Microstructures                           | <a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85197220047&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;ot=b&amp;sdt=cl&amp;cluster=scopusabbr%2C%22ENGI%22%2C%2C%22MTE%22%2C%22RE%22">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85197220047&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;ot=b&amp;sdt=cl&amp;cluster=scopusabbr%2C%22ENGI%22%2C%2C%22MTE%22%2C%22RE%22</a> |
| 47 | Scopus         | soil and synthetic fiber                              | 947   | 2020-2025 | ÁREA: Engineering, Materials Science, DOCUMENTO: Article | 106   | 2025 | Nanocomposite-Modified Jute Geotextile as a Sustainable Solution for Subgrade Strength in Low-Traffic Roadways: A Performance Analysis                | <a href="https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85213543895&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;ot=b&amp;sdt=cl&amp;cluster=scopusabbr%2C%22ENGI%22%2C%2C%22MTE%22%2C%22RE%22">https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85213543895&amp;origin=resultslist&amp;sort=plf-f&amp;src=s&amp;ot=b&amp;sdt=cl&amp;cluster=scopusabbr%2C%22ENGI%22%2C%2C%22MTE%22%2C%22RE%22</a> |

