

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE HÁBITAT E INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD

POSGRADO DE GEOTECNIA APLICADA

TRABAJO DE TITULACIÓN: REVISIÓN HISTÓRICA Y ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DEL USO DE FIBRAS EN GEOTECNIA

AUTORA: SOPHIA VERENICE CARRERA AGUILAR

DIRECTOR: ING. JORGE DAVID ALBUJA SANCHEZ M.Sc. PHd.

QUITO DMQ, 2026

Dedicatoria.

Sobre todo, dedico este trabajo a Dios, quien es mi fuerza espiritual en cada momento y cuando pensé que no podría continuar, quien iluminó mi camino a través de todas las dudas, quien me recordó, incluso en silencio, que todo tiene un propósito.

A mis padres, Alba y Ulpiano, nuestra familia de cuatro con Dollyta. Por su amor infinito hacia mí, por cada sacrificio y esfuerzo (algo que ahora he aprendido y entendido con mi corazón). Por ser mi oasis, mi incentivo, mi razón para nunca rendirme. Y esto no es solo una gloria de mi propia creación.

De una forma muy dulce, a mi querido Ing. Tomás E porque, para mí, él es un ángel y me infunde confianza, pero ni siquiera lo sabe. Hemos sido el apoyo uno del otro este último año. Este logro también es suyo, Ing. Tomás.

Y también... a mí mismo, ya que decidí retomar el estudio después de un descanso prologando, no me rendí, aunque dudé paso a paso. Me lo dedico porque aprendí que dentro de mí estaban la tenacidad, la voluntad y el coraje que me permitieron lograr esto.

A Dollyta y Toby.

A Max, nuestro querido poliperro Max.

Agradecimiento.

Gracias a Dios, por concederme fuerza y paciencia en cada fase de este camino. Por la fortaleza en días de incertidumbre, de llanto y en momentos en que solo la fe sostenía mis pasos.

A mis padres... Alba y Ulpiano. Gracias por ser mi hogar en un tiempo en que todo parecía tambalearse. Por su amor absoluto, por sus palabras, por su apoyo silencioso, por cada gesto que me sostuvo sin que yo lo notara. Esta victoria es la forma más genuina con la que me es posible retribuir todo lo recibido por ustedes.

A mi querido Ing. Tomás... Mi amado maestro, mi escuela de vida. Gracias por ser esa chispa que reavivó mi búsqueda escolar. Por motivarme cuando no sabía a dónde ir. Gracias por transmitirme confianza y valor. Y por este último año, en donde se ha convertido en parte de mi familia y ocupa un espacio único en mi corazón. Sin usted no habría podido culminar este proceso.

A Erick... Llegaste como compañero de estudio, pero te convertiste en mi equipo y te quedaste… Gracias por tu presencia constante, por las horas de estudio, por tu manera de sostenerme incluso en mis días más difíciles y por no soltarme en ningún momento.

Gracias a Dollyta y Toby por acompañarme en las noches de estudio, y lograr que mi mente se disipe.

Resumen.

Este estudio elabora una revisión histórica y un análisis bibliométrico de la aplicación de fibras en la ingeniería geotécnica y su desarrollo, la evolución actual del conocimiento, las tendencias de investigación y las principales lagunas. Se aplicaron indicadores bibliométricos de productividad investigadora, citación, contenido y enfoque metodológico a 100 documentos científicos indexados en bases de datos especializadas como base del estudio. Historia pasada Desde la perspectiva histórica, el uso de fibras en suelos es antiguo: inicialmente se basaba en suelos reforzados, que todavía se utilizan en la ingeniería contemporánea hoy en día. En la actualidad, se observa que el uso de fibras naturales y fibras recicladas basadas en criterios de sostenibilidad es el cambio, sin reemplazar las fibras sintéticas (todavía son técnicamente necesarias debido a su durabilidad). El análisis bibliométrico es indicativo de una investigación enfocada en suelos finos y aplicaciones en geotecnia vial y tiene una naturaleza altamente experimental a nivel de laboratorio. Sin embargo, todavía sufren de las lagunas de falta de validación en campo, ausencia de estándares de diseño, estudios de durabilidad a largo plazo y pocos estudios empíricos de suelos gruesos. Conclusiones del análisis, la aplicación de fibras en geotecnia debe considerarse con un alto grado de potencial técnico y ambiental, pero aún necesita ser reforzada en áreas de investigación basada en campo, estandarización de criterios y la transferencia de la información a la práctica profesional.

Palabras clave: Fibras en geotecnia, Bibliometría geotécnica, Mejoramiento de suelos.

Abstract.

This study provides a historical review and a bibliometric analysis of the application of fibers in geotechnical engineering, including its development, the current state of knowledge, research trends, and major gaps. Bibliometric indicators of research productivity, citations, content, and methodological approach were applied to 100 scientific documents indexed in specialized databases as the basis for the study. Historical Background From a historical perspective, the use of fibers in soils dates back a long time: initially, it was based on reinforced soils, which are still used in contemporary engineering today. Currently, the use of natural fibers and recycled fibers based on sustainability criteria is emerging as a trend, without replacing synthetic fibers (which are still technically necessary due to their durability). The bibliometric analysis indicates research focused on fine soils and applications in road geotechnics, and it is highly experimental in nature at the laboratory level. However, there are still gaps in the research, including a lack of field validation, the absence of design standards, a shortage of long-term durability studies, and few empirical studies on coarse soils. Conclusions: Based on this analysis, the use of fibers in geotechnical engineering should be viewed as having significant technical and environmental potential, but it still needs to be strengthened in areas such as field-based research, standardization of criteria, and the transfer of information into professional practice.

Keywords: Fibers in Geotechnical Engineering, Geotechnical Bibliometric, Soil Improvement

Índice general de contenidos

Índice general de contenidos **1**
Lista de tablas **4**
Lista de figuras **4**
Lista de Anexos **4**
CAPÍTULO I **5**
1. Generalidades **5**
1.1. Introducción 5
1.2. Antecedentes 6
1.3. Planteamiento del problema 8
1.4. Formulación del problema 8
1.5. Justificación 9
1.6. Objetivos 9
1.6.1. Objetivo General 9
1.6.2. Objetivos Específicos 9
1.7. Hipótesis 10
1.7.1. Variable independiente 10
1.7.2. Variables Dependientes 10
CAPÍTULO II **11**
2. Marco Teórico **11**
2.1. Marco Conceptual 11
2.1.1. Fibras 11
2.1.1.1. Fibras naturales 12
2.1.1.2. Fibras sintéticas 12
2.1.1.3. Fibras residuales o recicladas 13
2.1.2. Mejoramiento de suelo 13

2.1.3. Interfaz suelo-fibra 14
2.1.4. Relación de aspecto 15
2.1.5. Contenido de fibra 15
2.1.6. Longitud de fibra 16
2.1.7. Propiedades mecánicas del suelo 16
2.1.8. Bibliometría 17
2.1.8.1. Leyes bibliométricas 18
A. Ley de la productividad de autores 18
B. Ley de dispersión de la bibliografía científica 19
C. Ley de crecimiento exponencial 19
2.1.8.2. Indicadores bibliométricos 20
CAPÍTULO III 22
3. Marco Metodológico 22
3.1. Metodología de la investigación 22
3.1.1. Herramientas 23
3.2. Procedimiento metodológico 23
3.2.1. Fase 1: Definición del problema y delimitación del alcance 23
3.2.2. Fase 2: Estrategia de búsqueda y recolección de información 24
A. "suelo reforzado con fibras" 24
B. "fibras naturales en ingeniería geotécnica" 24
C. "estabilización del suelo con fibras sintéticas" 24
D. "mejora del suelo con fibras recicladas" 24
3.2.3. Fase 3: Criterios de inclusión y exclusión 24
A. Criterios de inclusión: 24
B. Criterios de exclusión: 25
3.2.4. Fase 4: Organización y clasificación de la información 25
3.2.5. Fase 5: Análisis bibliométrico 25
3.2.6. Fase 6: Síntesis e interpretación histórica 26

3.2.7. Instrumento de recopilación de datos 26
3.2.7.1. Estructura del instrumento 27
3.2.7.2. Aplicación del instrumento 27
CAPÍTULO IV 30
4. Análisis de Resultados 30
4.1. Tendencia temporal de la producción científica 30
4.2. Distribución por tipo de documento 31
4.3. Revistas científicas más relevantes 32
4.4. Autores más productivos 34
4.5. Distribución geográfica de la investigación 34
4.6. Análisis de citas 36
4.7. Tipos de fibras más estudiados 37
4.8. Tipos de suelos más investigados 39
4.9. Aplicaciones geotécnicas del refuerzo con fibras 40
4.10. Análisis integrado: fibra – suelo – aplicación 42
4.10.1. Combinaciones más estudiadas en la literatura 43
4.10.1.1. Fibras naturales: 43
4.10.1.2. Fibras sintéticas 44
4.10.1.3. Fibras recicladas 44
4.10.2. Interacción mecánica suelo–fibra 44
4.10.3. Síntesis del comportamiento integrado 45
4.11. Identificación de vacíos de investigación 45
4.11.1. Durabilidad y comportamiento a largo plazo 45
4.11.2. Ausencia de normativas y estándares de diseño 46
4.11.3. Escalamiento técnico y validación in situ 46
4.11.4. Brecha en la diversidad de materiales y suelos 46

4.11.5. Modelado predictivo y acoplamiento ambiental 46
4.11.6. Síntesis y proyección de la investigación 47
CAPÍTULO V 48
5. Conclusiones y Recomendaciones 48
5.1. Conclusiones 48
5.2. Recomendaciones 49
6. REFERENCIAS Y ANEXOS 50
6.1. Referencias 50
6.2. Anexos 63

Lista de tablas

Tabla 1. Indicadores bibliométricos 20
Tabla 2. Instrumento de recopilación de datos 29

Lista de figuras

Figura 1 Fibras en contexto Geotécnico 11
Figura 2 Aplicación de Research Rabbit Plus 28
Figura 3 Tendencia Temporal de la producción científica 30
Figura 4 Distribución por tipo de documento 31
Figura 5 Revistas científicas más relevantes 33
Figura 6 Distribución geográfica de la investigación 35
Figura 7 Citación científica de la investigación 36
Figura 8 Tipos de fibras más estudiadas 38
Figura 9 Tipos de suelos más estudiados 39
Figura 10 Aplicaciones geotécnicas 41

Lista de Anexos

Anexo A. Resumen de recopilación de datos 63

CAPÍTULO I

1. Generalidades

1.1.Introducción

El suelo se divide principalmente en cuatro partículas básicas: grava, arena, limo y arcilla. La resistencia a la tracción y al esfuerzo cortante de este material puede ser limitada y su rendimiento varía ampliamente bajo diferentes tipos de factores de carga ambiental, especialmente al cambiar de suelo seco a suelo húmedo (Hejazi et al., 2012). La expansión urbana y las actividades industriales han resultado en construcciones sobre suelos cada vez peores. Esos suelos débiles, cuando están en la superficie, pueden ser fácilmente reemplazados, pero en profundidad esa opción es costosa e impráctica. Como resultado, se requieren enfoques de estabilización más económicos y eficientes (Yazici & Keskin, 2021). El refuerzo del suelo es la práctica de colocar materiales en el suelo para mejorar su funcionamiento. La estabilización basada en fibras de este tipo es una práctica común y se clasifica en natural, sintética y residual según su origen. Las fibras naturales se consideran más duraderas, más rentables y respetuosas con el medio ambiente, mientras que las fibras sintéticas buscan personalizar sus propiedades y adaptarse adecuadamente a las condiciones ambientales variables; las fibras residuales permiten fortalecer y estabilizar el suelo circundante mientras reducen el impacto de su disposición final (Alqawasmeh et al., 2023).

Desde la experimentación antigua basada en raíces y materiales vegetales observados, pasando por el uso de polímeros sintéticos como parte de la ingeniería geotécnica, hasta la popularidad de los polímeros sintéticos en el siglo XX, y un renovado interés en alternativas sostenibles en la última década (Hejazi et al., 2012), las fibras se aplican a la ingeniería geotécnica de maneras que se basan en una narrativa histórica de crecimiento, descubrimiento y experimentación. Pero, contrariamente al reciente número de estudios experimentales, aunque la información sobre su desarrollo es abundante, no es muy uniforme en cuanto a criterios para contenidos óptimos, relación de aspecto, durabilidad, rendimiento en el trabajo, actividad en el mundo real, y faltan validaciones a gran escala. La ausencia de esta sistematización ha dificultado la identificación de líneas bien definidas de tendencias técnicas, señalar las áreas de vacíos de conocimiento para el desarrollo y probar la relevancia práctica del refuerzo con fibras en diversos tipos de suelos (Maher et al., 1994). En este sentido, es importante idear una revisión histórica y

un análisis bibliométrico que ayude a organizar, comparar y describir cómo se ha desarrollado hasta la fecha el uso de fibras en geotecnia, qué materiales han dominado cada fase, qué tendencias están emergiendo, o los vacíos que necesitan ser llenados y qué vacíos existen. Este método no solo se trata de proporcionar toda la investigación disponible sobre el estado actual del arte, sino también de establecer evidencia científica suficiente para el desarrollo de futuras investigaciones y la adopción de soluciones de refuerzo sostenibles y técnicamente justificadas para el proceso geotécnico (Ferreira et al., 2021).

1.2.Antecedentes

El refuerzo del suelo con fibras tiene sus raíces en el comportamiento, y las raíces son componentes de tracción que se encuentran al azar a través de la matriz del suelo y mejoran la resistencia y estabilidad del suelo. Muchas civilizaciones antiguas aprovecharon este fenómeno, tejiendo fibras naturales en sus sistemas de construcción mucho antes de que hubiera una comprensión científica de los medios de refuerzo. Esto incluye la aplicación de ramas en partes de la Gran Muralla China, esteras tejidas en los zigurats de Babilonia, paja o crin de caballo en el adobe del Antiguo Egipto, alfombras vegetales para el refuerzo de refugios domésticos en China y Japón. Este es el primer paso hacia un método y es hoy en día el desarrollo más interesante en la ingeniería geotécnica (Yazici & Keskin, 2021).

El desarrollo de la tecnología moderna de refuerzo con fibras se refinó en la segunda mitad del siglo XX, lo que cristalizó los mecanismos mecánicos de mejora del suelo, donde se estableció que al agregar elementos de tracción se podía aumentar mucho la resistencia al corte de los suelos. A lo largo de los años, miles de estructuras de todo el mundo se han construido con estas técnicas, especialmente durante las décadas de 1970 y 1990, a medida que surgieron fibras sintéticas industriales controlables como el polipropileno, el nylon y el polietileno. Las investigaciones básicas consideraron el comportamiento, la interacción entre la fibra del suelo, la fricción y el anclaje, así como el comportamiento de corte directo y triaxial, proporcionando así la base para la realización de procedimientos de refuerzo aleatorio (Gray et al., 1983).

En los últimos diez años, la tendencia del refuerzo del suelo se ha orientado significativamente hacia alternativas sostenibles ante las preocupaciones ambientales sobre el uso de materiales sintéticos y aprovechando los recursos locales. Las fibras naturales en este momento,

como el coco, el sisal, el bambú, la palma, el kenaf, fueron adoptadas, proporcionando fácil disponibilidad de fibra sostenible con fibra natural, biodegradabilidad controlada y capacidad para promover la cohesión aparente y la ductilidad en la fibra granular y el grano fino del suelo. Pero todavía son de bajo costo, fácilmente biodegradables en comparación con las fibras diseñadas. Mientras tanto, la recuperación de fibras recicladas de desechos industriales y urbanos, como PET, caucho triturado, textiles y polímeros recuperados, surgió como una opción técnica y ecológicamente sólida, proporcionando refuerzo del suelo y reduciendo la acumulación de desechos en vertederos (Ayininuola & Oladotun, 2016).

Por ejemplo, estos estudios demostraron que las fibras naturales y recicladas alteraron notablemente la resistencia al corte del suelo, la rigidez inicial y la estabilidad volumétrica, confirmando que ambos materiales de fibra son alternativas potenciales en la ingeniería geotécnica contemporánea (Tiwari et al., 2021).

En la última etapa, los estudios académicos sobre el refuerzo con fibras han proliferado y se han dividido en muchas sub corrientes de investigación, incluyendo suelos, longitudes de fibra, relaciones de aspecto, mejor contenido y condición ambiental. Esta expansión está generando un vasto pero disperso cuerpo de conocimiento, con una metodología experimental heterogénea que dificulta la comparación directa entre estudios. La deficiencia de diferentes revisiones ha sido la identificación de varios problemas importantes relacionados con la durabilidad a largo plazo, los mecanismos de degradación, la interacción bajo ciclos ambientales y la validación limitada de estos resultados en estudios de campo o en condiciones a escala real. Las circunstancias que rodean este escenario han impulsado técnicas bibliométricas para trazar la evolución del campo, detectar las principales tendencias, evaluar las implicaciones científicas de los materiales investigados y visualizar campos emergentes (Ferreira et al., 2021). Con la integración de la sostenibilidad, la innovación y una creciente urgencia de tener una visión comprensiva de la literatura disponible, las revisiones histórico-bibliométricas que se desarrollan en esta tesis constituyen instrumentos importantes para dirigir futuras investigaciones y desarrollar criterios técnicos más sólidos para la aplicación de fibras en la mejora del suelo (Wang et al., 2022).

1.3.Planteamiento del problema

Durante las últimas décadas, el interés en mejorar las propiedades mecánicas del suelo mediante la adición de fibras naturales, sintéticas o residuales de una variedad de sectores ha crecido notablemente. Diversos trabajos han informado que esta técnica mejora la resistencia al corte, la capacidad de carga y la estabilidad de la deformación en diferentes tipos de suelo, facilitando así su uso para subrasantes de carreteras, rellenos estructurales, suelos expansivos y diversas otras aplicaciones geotécnicas. Sin embargo, a pesar de este avance, el conocimiento recibido hasta ahora se ha difundido de manera fragmentada y sin una línea de desarrollo establecida. Ningún estudio previo ha detallado sistemáticamente la evolución histórica del refuerzo con fibras en geotecnia, ni ha identificado sistemáticamente los tipos de fibras, metodologías, propiedades analizadas o aplicaciones que ilustren su desarrollo (Cheng et al., 2021; Nadaf et al., 2025; Wang et al., 2022).

Sin una sistematización general para el uso de fibras en geotecnia, la capacidad para determinar qué desarrollos han sido bien cubiertos, cuáles son las nuevas líneas de investigación y cuáles son los problemas aún abiertos es débil. Esta ausencia obstruye las capacidades de los investigadores y profesionales para tomar una dirección completa en el trabajo, evaluar la sostenibilidad de los materiales empleados o comparar alternativas de fibras con enfoques de estabilización tradicionales. La producción científica de investigaciones en esta área ha aumentado bastante en tiempos recientes, pero aún no se ha realizado un análisis histórico y bibliométrico diseñado para ordenar la evolución de los datos, delinear tendencias dominantes y señalar las lagunas (Alqawasmeh et al., 2023; Alsayadi et al., 2024; Ferreira et al., 2021; Silveira et al., 2020; Suriani et al., 2021).

1.4.Formulación del problema

¿De qué manera ha evolucionado, a lo largo del tiempo, la investigación sobre el refuerzo de suelos con fibras naturales, sintéticas y recicladas, y cuáles son las tendencias, aplicaciones y vacíos científicos que se identifican mediante un análisis histórico y bibliométrico del estado del arte?

1.5.Justificación

La mejora de los suelos con la ayuda de fibras naturales, sintéticas o recicladas es un método efectivo para mejorar la resistencia al corte, la capacidad de carga y el comportamiento de deformación del suelo. No obstante, independientemente del alcance de los estudios, la información disponible está dispersa, es variada y no existe un artículo integral que cubra el desarrollo histórico, los fundamentos mecánicos y las aplicaciones geotécnicas del refuerzo con fibras. La ausencia de sistematización dificulta la correcta estimación del rendimiento del refuerzo con fibras y la comparación con enfoques de estabilización estandarizados, y obstaculiza la explotación de alternativas sostenibles utilizando diferentes materiales.

La necesidad de aprender más sobre el trasfondo histórico y científico de estos temas es particularmente importante dado el creciente interés en técnicas de bajo impacto ambiental y la utilización de materiales reciclados además del uso doméstico de recursos naturales. Se ha utilizado un análisis histórico y bibliométrico para identificar tendencias, consolidar el conocimiento existente, identificar brechas de investigación (por ejemplo, estudios sobre durabilidad no se realizan a escala práctica) y establecer un esquema conciso del estado del campo. Los hallazgos serán beneficiosos para investigadores, así como para ingenieros, ya que representan un plan estructurado y completo para tomar decisiones, mejorar las fibras como una opción ecológica e informar proyectos futuros localmente, así como estratégicamente en proyectos regionales.

1.6.Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Analizar la evolución histórica y las tendencias científicas del uso de fibras en geotecnia mediante una revisión sistemática y un análisis bibliométrico de la literatura especializada, con el fin de identificar avances, vacíos de conocimiento y oportunidades de aplicación.

1.6.2. Objetivos Específicos

A. Identificar los principales tipos de fibras utilizadas en aplicaciones geotécnicas.

B. Identificar las propiedades del suelo que se han mejorado a través de la incorporación de fibras.

C. Caracterizar la evolución temporal de la investigación sobre suelos reforzados con fibras, identificando periodos de mayor desarrollo, hitos relevantes y cambios en las líneas de estudio.

D. Examinar las áreas temáticas más estudiadas y aquellas que presentan menor desarrollo, con base en la información contenida en la literatura indexada.

1.7.Hipótesis

La elaboración de una sistematización histórica y un análisis bibliométrico del uso de fibras en geotecnia permitirá revelar tendencias, patrones de evolución y vacíos de conocimiento que no son evidentes en la literatura actual debido a la dispersión y falta de organización de la información científica disponible.

1.7.1. Variable independiente

Aplicación de una sistematización histórica y un análisis bibliométrico del uso de fibras en geotecnia.

1.7.2. Variables Dependientes

- Tendencias temporales de la investigación sobre fibras en geotecnia.
- Tipos de fibras estudiadas y su evolución histórica.
- Metodologías experimentales y enfoques analíticos predominantes.
- Aplicaciones geotécnicas más frecuentes.
- Vacíos científicos y líneas emergentes de investigación.
- Distribución geográfica e institucional de la producción científica.
- Áreas de concentración del conocimiento.

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

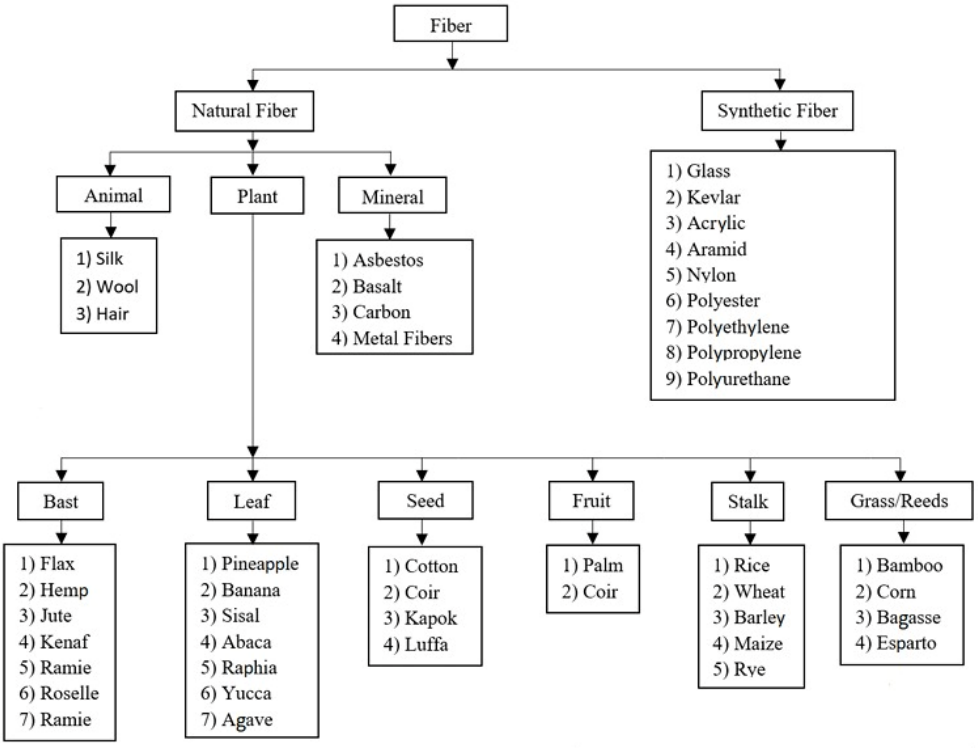
2.1.Marco Conceptual

2.1.1. Fibras

La fibra se refiere a una característica similar a un hilo: un filamento continuo y delgado con sus raíces en el hilo. Las fibras, en contraste, son el agregado de estos filamentos, que pueden organizarse juntos o tejerse como un lazo que puede formar hilos, cuerdas o filamentos más gruesos. Estos materiales a menudo se utilizan como un componente en sistemas compuestos o compactados en la estructura de hojas para producir productos como fieltro o papel (Suriani et al., 2021).

Figura 1

Fibras en contexto Geotécnico



Nota: El gráfico corresponde a un mentefacto obtenido de: (Yazici & Keskín, 2021) donde clasifica y nos brinda ejemplos de las fibras que se ocupan en geotecnia.

2.1.1.1. Fibras naturales

Las fibras naturales son materiales de base biológica como animales o plantas con estructuras filamentosas de base biológica, compuestas principalmente de polímeros orgánicos como celulosa, hemicelulosa y lignina en el caso de las fibras vegetales, lo que les confiere propiedades mecánicas potenciales necesarias para su aplicación en compuestos y más recientemente en procesos geotécnicos. La atención recientemente creciente a estas fibras está vinculada a la creación de eco-compuestos que se sabe que poseen propiedades como alta resistencia específica, bajo peso, rigidez, bajo costo y disponibilidad y son ecológicamente amigables, y se han establecido como un tema para la ingeniería de suelos (Hejazi et al., 2012).

Pero las propiedades mecánicas aplicadas en fibras naturales en términos de refuerzo en suelos dependen de una serie de parámetros intrínsecos y extrínsecos. Estos incluyen la parte extraída de la planta, la edad de la planta, el aislamiento o procedimiento de separación, y el método de prueba, la longitud de la fibra, las condiciones del suelo, el clima, la duración de la cosecha, el tipo de estructura higroscópica, y las condiciones de secado y almacenamiento, entre otros. Tradicionalmente, estas fibras se han utilizado ampliamente en países en desarrollo, especialmente en compuestos de cemento y en bloques de tierra debido a su disponibilidad y bajo costo, lo que ha llevado a su potencial empleo como tecnología para modificar las características mecánicas de los suelos reforzados (Yazici & Keskin, 2021).

2.1.1.2. Fibras sintéticas

El uso de fibras sintéticas está muy extendido en materiales de refuerzo por sus propiedades de alta resistencia a la tracción, rigidez, resistencia a la corrosión y no tóxicas. A diferencia de las fibras naturales, estas se diseñan con selección y control completos de su longitud, forma y corte para acomodar tanto fibras continuas como discontinuas según lo requiera la aplicación y durarán mucho más tiempo (Taha et al., 2020).

Las fibras de polipropileno (PP), poliéster (PET) y polietileno (PE) son los materiales más utilizados en la industria geotécnica, debido al buen rendimiento mecánico que estas fibras son preferidas para su uso en el refuerzo del suelo. Como resultado, estas fibras tienen efectos ambientales adversos debido a su origen petroquímico y baja biodegradabilidad, lo que es un obstáculo para sus contrapartes naturales. En la literatura especializada se identifican diferentes

tipos de fibras sintéticas con diferentes propiedades y comportamientos, que impactan su uso en sectores geotécnicos, como el principal tema de investigación (Alqawasmeh et al., 2023).

2.1.1.3. Fibras residuales o recicladas

Las fibras residuales o recicladas son materiales fibrosos reutilizados de desechos de plantas de procesamiento, subproductos de procesos industriales o de plantas de procesamiento (pre-consumo) o también son desechos reciclados que en lugar de ser desechados se utilizan para reforzar la mezcla de suelo/fibra. Este tipo de material tiene un doble mérito; por un lado, mejora el comportamiento mecánico del suelo al aumentar la resistencia al corte y la capacidad de deformación, y por otro, reduce el volumen de desechos que van a vertederos o al proceso final de eliminación. La heterogeneidad por composición, longitud y geometría necesita una caracterización bien definida antes de su uso, pero el potencial está a la vista del valor técnico y ambiental de estas tecnologías en la mejora no tradicional de suelos, técnica y ambientalmente apropiada (Consoli et al., 2002).

Una variedad de materiales reciclados puede emplearse en geotecnia como agentes de estabilización del suelo, como subproductos en forma de materiales de desecho industrial como cenizas de plantas de energía térmica, escorias de industrias de producción de acero, agregados reutilizados, polímeros (como tereftalato de polietileno; PET) e incluso concreto triturado. Dado que cada uno de estos insumos tiene propiedades específicas, cada insumo de suelo puede utilizarse para mejorar la resistencia, compacidad o rendimiento general del suelo según las especificaciones del proyecto. En contraste, los plásticos son contaminantes ambientales como el PET no biodegradable porque, cuando se agotan en vertederos, lixivian cualquier aditivo o componente químico bajo condiciones ambientales ácidas, lo que causa sus efectos nocivos hacia el medio ambiente (Khalid & Alshawmar, 2024).

2.1.2. Mejoramiento de suelo

En la naturaleza, el suelo tiene una capacidad satisfactoria para absorber tensiones de compresión que pueden soportar muchas fuerzas verticales, pero no puede ser muy bueno para lidiar con tensiones de tracción. Esta deficiencia puede remediarse en la ingeniería geotécnica a través de varios métodos de mejora, ninguno más que el refuerzo del suelo. Este enfoque implica introducir tales materiales en una matriz de suelo que no tiene una fuerte resistencia a la tracción

o para mejorar atributos como la resistencia, rigidez o capacidad de deformación. Todos estos materiales y formas juntos en suelo reforzado, sus propiedades superan a las del suelo original (Mishaal & Aldaood, 2023).

La mejora del suelo a través del refuerzo implica la adición de materiales adicionales para endurecer el suelo, modificar sus propiedades estructurales y perfeccionar sus propiedades mecánicas. Cuando se utilizan fibras para realizar este proceso, se clasifican en uno de tres grupos principales según su origen: naturales, sintéticas y aquellas obtenidas de desechos o subproductos. Cada una ofrece características específicas que afectan el comportamiento del suelo reforzado y, por lo tanto, es esencial elegir el tipo correcto de fibra para cumplir con el rendimiento deseado en aplicaciones geotécnicas (Alqawasmeh et al., 2023).

Las fibras naturales (coco o palma) añadidas al suelo mejoran la cohesión aparente del suelo y su ductilidad. Las fibras sintéticas (como el polipropileno) han ganado aceptación ya que poseen una forma controlable, son duraderas y tienen buen rendimiento contra el medio ambiente. Por último, pero no menos importante, las fibras recicladas, en particular los plásticos incluyendo PET, juegan un papel en el fortalecimiento mecánico y minimizan el impacto ambiental de su eliminación. Esto resulta en el refuerzo de fibras como un método versátil y efectivo de mejora del suelo no tradicional (Consoli et al., 2002).

2.1.3. Interfaz suelo-fibra

La interfaz suelo-fibra es el punto de contacto que sirve como el límite directo entre las partículas del suelo y el material fibroso que proporciona el medio de refuerzo, y representa el modo principal por el cual se controla la eficiencia del suelo reforzado. Aquí es donde se establecen interacciones en forma de fricción, adhesión y resistencia al deslizamiento que hacen que la interacción suelo-fibra ayude en la matriz para ayudar al material a conducir las tensiones y restringir las deformaciones, lo que da lugar a un fenómeno de fortalecimiento y elasticidad. La eficiencia de esta interfaz en sí misma está relacionada con otras propiedades, incluyendo la forma y el estado de la superficie de la fibra, la longitud efectiva de la fibra, el tipo de suelo, su densidad y el contenido de humedad. Una interfaz favorable para la transferencia de tensiones permite que el suelo movilice la resistencia de la fibra en su máxima extensión, mientras que una mala interacción llevará a un beneficio disminuido del refuerzo. Se informa en varios estudios que el

refuerzo tiene la máxima contribución cuando la matriz mixta de fibra y suelo es suficiente y el suelo posee una fricción y anclaje mejorados. El conocimiento sobre esta interfaz es la base para predecir el comportamiento del suelo reforzado en términos de respuesta y también para optimizar su diseño en aplicaciones geotécnicas (Yetimoglu & Salbas, 2003).

2.1.4. Relación de aspecto

El aspecto de relación es un parámetro geométrico importante en el comportamiento de las fibras para aplicaciones de mejora del suelo, y es la relación entre la longitud de la fibra y su diámetro efectivo. El valor de este valor se utiliza a su vez para determinar el potencial de la fibra para entrelazarse interactivamente a la estructura del suelo, y movilizar la resistencia a través de mecanismos de fricción o mecánicos. Porque las relaciones de aspecto más altas aumentan la resistencia al deslizamiento al aumentar la superficie de contacto, así como para el confinamiento interno del material compuesto. Valores excesivamente altos pueden perjudicar la distribución homogénea de las fibras, causar áreas de aglomeración por las cuales el refuerzo no se distribuye uniformemente, reduciendo así el refuerzo uniforme. El efecto de la relación de aspecto se puede ver especialmente en la resistencia al corte y la ductilidad del suelo de refuerzo de material porque sus resistencias al corte y ductilidad están directamente influenciadas por la relación de aspecto y se ha encontrado que hay una distribución óptima que maximiza la transferencia de tensiones y la trabajabilidad de la combinación bajo óptimo. Por lo tanto, la selección adecuada de este parámetro es crucial para lograr buenas propiedades mecánicas con fines geotécnicos (Consoli et al., 2002).

2.1.5. Contenido de fibra

Es uno de los determinantes del rendimiento para el suelo reforzado, ya que afecta directamente la resistencia al corte, la rigidez, la ductilidad y la estabilidad. El refuerzo efectivo depende de la mezcla exacta de fibra de varios tipos, longitud de fibra y porcentaje, y todos estos dictan la interacción matriz-fibra, los mecanismos de anclaje, la distribución de tensiones y la capacidad de la muestra para disipar energía durante la deformación. Un contenido demasiado bajo bloquea la movilización de tensiones en la interfaz suelo-fibra y reduce el efecto de refuerzo, aunque una proporción excesiva puede resultar en aglomeración de fibras que inhibe la compactación, causa heterogeneidades y reduce la posible densidad seca. Estos efectos pueden

impactar negativamente la respuesta geotécnica de la mezcla compuesta, así como la trabajabilidad del material (Consoli et al., 2002; Gray et al., 1983; Maher et al., 1994).

2.1.6. Longitud de fibra

La longitud de la fibra es una variable determinante importante en la matriz del suelo, que determina directamente el refuerzo dado al suelo y cuánto se estira la fibra. Un tamaño de fibra más grande implica una mayor superficie de contacto en la que pueden prevalecer la fricción y el anclaje mecánico, permitiendo que las tensiones penetren en la fibra y las partículas en el suelo. Sin embargo, un aumento en la longitud no ocurre indefinidamente, y una longitud de fibra larga causa su agrupamiento, menor compactación y homogeneidad del compuesto (Liu et al., 2025; Yu et al., 2025).

Para las fibras naturales, como las fibras de coco y yute, la longitud afecta no solo el comportamiento mecánico sino también las propiedades del suelo reforzado encontraron que las longitudes medias generan curvas de tensión-deformación más estables, con mayor resistencia post-pico y menor fragilidad en caso de falla. Para las fibras recicladas (por ejemplo, PET triturado), la longitud afecta la forma irregular de los fragmentos, ya que las longitudes más largas pueden llevar a un entrelazado y disipación de energía, pero cuando se estiran en exceso, ocurre una reducción de la compactación del material (Alsayadi et al., 2024).

Además, en general, la longitud de la fibra determina el rendimiento del compuesto de fibra de suelo al determinar la resistencia, fricción, adhesión y transferencia de tensiones que la fibra puede movilizar. Su elección adecuada asegurará que pueda usarse de manera consistente con un refuerzo óptimo del suelo con un refuerzo eficiente y uniforme que sea consistente con las propiedades intrínsecas de la estructura del suelo que necesita ser mejorada para un buen rendimiento (Festugato et al., 2017).

2.1.7. Propiedades mecánicas del suelo

Las propiedades mecánicas del suelo son las propiedades del suelo que determinan su comportamiento bajo cargas, deformaciones y condiciones ambientales. La resistencia al corte, la capacidad de carga, la rigidez, la deformabilidad y la ductilidad son algunos de los aspectos más relevantes para optimizar a través de fibras, porque contribuyen a la estabilidad y el rendimiento

del suelo en aplicaciones geotécnicas. La resistencia al corte, caracterizada por la cohesión y el ángulo de fricción interna, influye en la resistencia del suelo a las tensiones tangenciales, mientras que la rigidez y la deformabilidad determinan la escala y la transición del asentamiento bajo carga (Alqawasmeh et al., 2023; Rahman et al., 2022; Yadav & Bag, 2023).

La respuesta tensión-deformación, frecuentemente representada por pruebas de compresión no confinada (UCS), pruebas triaxiales y de corte directo, facilita la evaluación de la respuesta del suelo desde el inicio de la carga hasta la falla. En suelos con poca resistencia al refuerzo, y que generalmente tienen suelos cohesivos de baja consistencia o suelos granulares sueltos, la respuesta puede ser frágil, resultando en una fractura frágil después de la resistencia máxima. Es bien sabido que después de la inserción de fibras, este comportamiento se altera mediante la generación de curvas más estables, mejorando la resistencia post-pico y la capacidad de disipación de energía (Iravanian & Haider, 2020; Kara, 2025; A. Singh & Sugandhi, 2024; H. P. Singh, 2013).

2.1.8. Bibliometría

La bibliometría se refiere al estudio de datos de conjuntos de datos indexados (incluidas bases de datos), con respecto a la creación de mapas científicos. Estas herramientas ayudan a identificar qué temas son más prominentes y están en expansión y por quién y qué autores, revistas o instituciones son responsables de la producción científica. Investigaciones recientes en geotecnia han indicado que estos métodos revelan tanto la evolución de la estabilización del suelo como la evolución de nuevos materiales, así como transformaciones en la práctica profesional e investigativa (Ferreira et al., 2021; Kara, 2025; Wang et al., 2022).

La bibliometría es un enfoque metodológico que busca analizar la producción científica utilizando indicadores medibles y la cantidad publicada de publicaciones y el uso e influencia del material publicado en la comunidad académica. Este análisis se basa en los aspectos matemáticos y estadísticos que describen cómo se desarrolla, difunde y consume la comunicación científica, así como cómo estos procesos influyen en la evolución de varios dominios del conocimiento. Entonces, en este sentido, la bibliometría es una herramienta estadística que puede distinguir tendencias en la investigación, patrones de productividad e impacto de la ciencia, que han sido

mejorados por sitios web especializados como Scopus y Web of Science que son globalmente visibles, editorialmente rigurosos y continuamente actualizados (Edita Solano López, 2009).

La bibliometría se desarrolló inextricablemente vinculada a la bibliografía ya que su tarea principal consiste en identificar y ordenar fuentes documentales y evolucionó desde la noción de una "bibliografía estadística", propuesta por Hulme en 1923 para medir la producción científica. Se desarrolló como un campo independiente dividido en dos categorías principales a lo largo del tiempo: una fue la bibliometría descriptiva (que analiza la producción científica cuantitativamente basada en criterios temáticos, geográficos o de tipo de documento) y la segunda fue la bibliometría evaluativa (que aplica herramientas estadísticas y computacionales avanzadas para la evaluación del impacto y relevancia de la producción científica) (Kahlke et al., 2026b).

Basado en los diferentes enfoques analíticos, la bibliometría podría categorizarse en estudios para generalizar y modelar, como estudios enfocados en teoría y modelado, así como estudios que involucran investigación aplicada y análisis social/descriptivo, así como estudios de interdisciplinariedad. De manera similar, estos estudios también pueden categorizarse por las fuentes de información, por ejemplo, bibliografías, resúmenes, servicios de indexación o evaluaciones de citas. La metodología bibliométrica se extiende a la mayoría de los campos del conocimiento, pero aún no se ha utilizado ampliamente. Sin embargo, tiene una serie de aplicaciones y características, a saber, la selección y validación de trabajos, el estudio de tendencias temáticas en la literatura, el examen histórico del avance académico, el estudio de las dinámicas sociológicas en la ciencia y la identificación de autores, instituciones y países con la mayor productividad académica en el período (Ninkov et al., 2022a).

2.1.8.1. Leyes bibliométricas

A. Ley de la productividad de autores

La ley descrita anteriormente establece una relación cuantitativa entre las variables y los autores que trabajan en un campo de estudio dentro de un período dado. Sin embargo, esta distribución de probabilidad discreta no logra representar con precisión la realidad, ya que la publicación tiende más hacia un conjunto reducido de autores altamente productivos. Esta ley fue propuesta originalmente por Lotka en 1926 bajo el nombre de la ley del cuadrado inverso, por lo tanto, la Ley de Lotka (Zhang et al., 2025).

B. Ley de dispersión de la bibliografía científica

la ley fue ideada por el investigador Bradford en 1930, dio su nombre a la ley de origen. A Bradford le tomó un tiempo llegar a la conclusión de que, aunque la investigación sobre el mismo tema es extensa, la mayoría de los artículos están en unas pocas revistas situadas en lugares difíciles de alcanzar para la mayoría de los lectores. En la práctica, cuando miramos la literatura especializada, sin embargo, el campo suele estar cubierto por un pequeño número de revistas conocidas como el núcleo. Un número similar de artículos a este núcleo necesita ser recopilado de un número sustancialmente mayor de revistas, un proceso similar se replica exponencialmente (Zhang et al., 2025).

C. Ley de crecimiento exponencial

Después de realizar varios estudios, el ritmo de producción de información científica exhibe un crecimiento, con una tendencia hacia el crecimiento exponencial, con estimaciones de aceleración de datos exponenciales que indican que la cantidad de información disponible en el mundo se duplica cada 10 a 15 años. Pero este no es el caso, cada disciplina tiene su propia evolución.

- Precursores.
- Crecimiento exponencial.
- Crecimiento lineal.
- Colapso del campo científico.

Además, este comportamiento se puede ver no solo en la literatura, sino también en el interés de los investigadores de un tipo particular, que luego sube y luego baja con el tiempo. Price concluyó a partir de estas observaciones que la ciencia es esencialmente contemporánea, aunque advirtió que el crecimiento exponencial no puede mantenerse por un tiempo infinito. En consecuencia, sugirió que la trayectoria de la producción científica es similar a una curva logística, donde un aumento repentino en la producción científica es seguido por una disminución en la producción más tarde (Liu et al., 2025).

2.1.8.2. Indicadores bibliométricos

Los indicadores bibliométricos, es decir, las características bibliográficas, pueden generarse como resultados estadísticos de publicaciones científicas y se utilizan para cuantificar la producción académica cuando entra en una colección. La validez, como recomienda (Kahlke et al., 2026b), requiere criterios específicos que incluyen la capacidad de usar más de un factor, analizarlos críticamente, siempre la conexión por ello a su fuente, y abstenerse de una lectura intuitiva. Además, la complejidad de cada indicador difiere en diferentes campos y, en consecuencia, su uso debe adaptarse al tipo de estudio, ya que un solo indicador no puede llegar a una conclusión definitiva.

Para este fin, al decidir sobre un indicador bibliométrico apropiado, debe estar presente una investigación previa que destaque la efectividad de este indicador. Son diversos, y como tal pueden agruparse en dos grandes categorías: indicadores cuantitativos e indicadores de impacto; o, siguiendo una clasificación comúnmente utilizada, indicadores personales, de productividad, de contenido, de metodología y de citación. Las categorías anteriores se han utilizado sistemáticamente en la investigación bibliométrica, demostrando su idoneidad para cuantificar la calidad y el significado de la literatura científica (Kahlke et al., 2026b). Como se muestra a continuación, presentamos los indicadores bibliométricos.

Tabla 1.

Indicadores bibliométricos

Categoría	Descripción	Subindicadores / Elementos clave
Indicadores personales	Analizan características cualitativas relacionadas directamente con los autores de la producción científica. Permiten identificar el perfil del grupo investigador y su distribución demográfica e institucional.	Edad, género, nacionalidad, afiliación institucional, país de procedencia.
Indicadores de productividad	Evalúan la cantidad de producción científica generada por autores o grupos de investigación. Permiten medir la	Índice de productividad personal (número de publicaciones por autor); índice de colaboración (trabajos con coautoría); índice de multiautoría

Categoría	Descripción	Subindicadores / Elementos clave
	intensidad y continuidad de la actividad investigadora.	(tendencia a investigación colectiva); índice de transitoriedad (porcentaje de autores con una sola publicación); media de autores por artículo; media de artículos por autor.
Indicadores de contenido	Analizan las temáticas predominantes dentro de un campo científico y su evolución en el tiempo. Permiten identificar tendencias y áreas emergentes.	Análisis de palabras clave; descriptores; clasificación temática estandarizada; uso de tesauros científicos.
Indicadores de metodología	Examina la evolución de los métodos y técnicas empleadas en la investigación científica dentro de un área determinada. Permite observar cambios en enfoques, diseños experimentales y herramientas utilizadas.	Tipo de metodología empleada; técnicas estadísticas; métodos experimentales; adaptación a nuevas líneas de investigación.
Indicadores de citación	Evalúan el impacto, vigencia y relevancia de la producción científica a través del análisis de citas recibidas.	Índice de obsolescencia (vida útil de la literatura); factor de impacto; índice de inmediatez; índice de aislamiento; índice de autocitación; coeficiente general de citación.

Nota: El gráfico corresponde a una explicación de los indicadores bibliométricos – Obtenido de: (Kahlke et al., 2026a; Ninkov et al., 2022b; van Eck & Waltman, 2010)

CAPÍTULO III

3. Marco Metodológico

3.1.Metodología de la investigación

Este estudio se sitúa en una investigación no experimental, adoptando un enfoque descriptivo-analítico mediante la revisión documental con el uso de técnicas de análisis bibliométrico e histórico. Como menciona (Ferreira et al., 2021), este es un tipo de investigación que permite integrar en gran medida los estudios cuantitativos directos de matemáticas y estadísticas para exponer patrones, tendencias y estructura del conocimiento de un área científica específica.

El análisis se relaciona con la producción científica y las fibras naturales, sintéticas y recicladas para mejoras del suelo en ingeniería geotécnica. La investigación puede desarrollarse bajo un enfoque transversal y analiza la evolución y características de la producción científica durante un período específico, que es la naturaleza del estudio definido por el crecimiento y consolidación de los temas estudiados (Edita Solano López, 2009).

Para llevar a cabo esto, se revisaron artículos científicos a través de revistas científicas publicadas en repositorios digitales internacionales como Scopus y Web of Science, priorizados por su cobertura global, rigor editorial y disponibilidad de indicadores bibliométricos rigurosos. Hay un aumento sustancial de la investigación sobre métodos de refuerzo del suelo con fibras y se tomó en cuenta documentos publicados hasta la fecha de publicación de este documento para recuperar información actualizada y representativa sobre el estado del arte.

Los datos se recopilarán y analizarán utilizando técnicas bibliométricas que proporcionan una evaluación cuantitativa de la producción científica y su alcance en la academia. Algunos de los indicadores bajo estudio son: el contenido del campo, autores, el año de publicación, el país de origen de los estudios, la institución científica más destacada, los temas examinados (geotécnicos), el número de citas por artículo y la relevancia de las publicaciones analizadas. Estos indicadores proporcionan descripciones ricas sobre el progreso científico en el refuerzo con fibras y las tendencias geográficas en el tiempo. La evaluación del impacto científico implica medir el tipo de conocimiento producido, incluso si no puede medirse directamente (Kahlke et al., 2026b).

Es por esta razón que el análisis bibliométrico es una herramienta para evaluar la contribución de los autores, la distribución de sus investigaciones, la significancia de sus resultados y la distribución de los trabajos en el desarrollo científico del campo geotécnico. Luego, después de ser recopilados, los datos necesarios son examinados e interpretados y es una de las etapas principales de este tipo de estudio, permitiendo la identificación de tendencias de investigación, consolidación de la línea temática y el desarrollo diferenciado del conocimiento científico en regiones y en períodos.

3.1.1. Herramientas

Para facilitar la construcción del análisis bibliométrico e histórico, los autores utilizaron herramientas digitales que son propicias para la recopilación, organización y visualización de datos científicos. Las bases de datos Scopus, Web of Science y ScienceDirect se utilizaron como principales fuentes de datos, elegidas por su reputación internacional, alta calidad de indexación y características bibliométricas de los artículos (es decir, número de citas, índice h, redes de coautoría, indicadores clave) (Donthu et al., 2021).

Se utilizó Microsoft Excel para gestionar y limpiar los datos, lo que permite la construcción de matrices de análisis, categorización de artículos según los criterios especificados (año, tipo de fibra, aplicación geotécnica, país, métodos experimentales, etc.) y construcción de tablas de estadísticas descriptivas. Mediante el uso de estas herramientas, se mantuvo la trazabilidad de los datos, la reproducibilidad analítica y la representación neutral del progreso científico del tema investigado.

3.2.Procedimiento metodológico

La metodología se secuenció, basada en distintos procesos paso a paso que permitieron el mapeo del flujo de trabajo de la investigación desde la recopilación de datos hasta la interpretación de resultados.

3.2.1. Fase 1: Definición del problema y delimitación del alcance

El enfoque del proyecto fue proporcionar un análisis histórico y bibliométrico del uso de fibras naturales, sintéticas y recicladas para la mejora del suelo en ingeniería geotécnica. El período

de la encuesta comprendió publicaciones realizadas hasta el día en que se publicó esta tesis, con el fin de documentar los avances recientes en el desarrollo del campo y su consolidación como disciplina científica. Fue posible encontrar algunas referencias de diferentes trabajos, para entender las limitaciones de investigación específicas del campo en esta área y analizar métodos de estudio.

3.2.2. Fase 2: Estrategia de búsqueda y recolección de información

Se desarrolló una estrategia de búsqueda que consistía en una serie de palabras clave en inglés que abordaban el tema, tales como:

A. "suelo reforzado con fibras"

B. "fibras naturales en ingeniería geotécnica"

C. "estabilización del suelo con fibras sintéticas"

D. "mejora del suelo con fibras recicladas"

La búsqueda se realizó en Scopus, Web of Science y ScienceDirect con filtros por año de publicación, tipo de documento (artículos científicos y revisiones) y área temática en ingeniería y ciencias ambientales.

3.2.3. Fase 3: Criterios de inclusión y exclusión

A. Criterios de inclusión:

Criterios de Inclusión: Solo se consideraron para inclusión y reconocimiento los artículos indexados en las bases de datos Scopus, Web of Science o ScienceDirect, ya que la ciencia se considera de mayor orden y alta calidad académica. De manera similar, se incluyó investigaciones que trataban directamente con el soporte o estabilización del suelo utilizando fibras naturales, sintéticas o recicladas. Para revisar esta información, se restringió el período de publicación a la fecha de publicación de la investigación. Además, se requería que los documentos tuvieran un resumen y las palabras clave para clasificar y reconocer bibliográficamente.

B. Criterios de exclusión:

Se excluyeron los artículos que estaban duplicados en ambas bases de datos, evitando una sobreestimación de los resultados. Las investigaciones sobre hormigón armado u otros materiales compuestos no directamente relacionados con el área geotécnica tampoco fueron incluidas, porque no apoyaban el enfoque del estudio. Finalmente, se excluyeron documentos que no eran de ingeniería geotécnica o mejora del suelo con fibras relacionadas de alguna manera, garantizando así la consistencia del análisis de la literatura que se analizó.

3.2.4. Fase 4: Organización y clasificación de la información

Los artículos seleccionados se sistematizaron en una matriz de datos definida por las siguientes variables en Excel:

A. Año de publicación

B. País de origen

C. Autores principales

D. Tipo de fibra estudiada

E. Tipo de suelo

F. Aplicación reportada

G. Número de citas

En esta fase, se preparó la base de datos lista para un análisis estadístico y bibliométrico posterior.

3.2.5. Fase 5: Análisis bibliométrico

Se realiza un análisis cuantitativo de la producción científica siguiendo:

A. Tendencias de publicaciones por año

B. Distribución geográfica

C. Autores e instituciones más productivos

D. Áreas temáticas predominantes

E. Número de citas por artículo

3.2.6. Fase 6: Síntesis e interpretación histórica

Finalmente, se construyó una interpretación histórica de los datos recopilados a través de una discusión del proceso histórico de los cambios en las aplicaciones de fibras en geotecnia, modificaciones de los materiales primarios, movimiento en sostenibilidad y deficiencias científicas que incluyen la ausencia de durabilidad a largo plazo y validación a escala real.

3.2.7. Instrumento de recopilación de datos

Se desarrolló un instrumento digital de recolección de datos para la recopilación, organización y sistematización de la información y se proporcionó un modelo de organización de datos con el uso de hojas de cálculo en Microsoft Excel. Este instrumento facilitó el registro estructurado de artículos científicos seleccionados de las bases de datos Scopus, ScienceDirect y Web of Science, manteniendo la trazabilidad y consistencia en el proceso de análisis.

Basado en variables bibliométricas y técnicas definidas anteriormente en los objetivos de esta investigación, la matriz de recolección se estructuró para responder de cerca al objetivo mencionado anteriormente. De esta manera, además de encontrar características genéricas de la producción científica como autores, año de publicación, país e impacto de la investigación, el instrumento también identificó características específicas relacionadas con el contenido técnicamente relacionado de los estudios con respecto a la fibra utilizada, tipo de suelo bajo análisis y las aplicaciones geotécnicas cubiertas.

El instrumento se construyó de acuerdo con la estructura de preguntas guía por variable, lo que fue útil para estandarizar la recolección de datos y minimizar el sesgo del investigador cuando se registraron los datos. La matriz tiene filas correspondientes a artículos científicos y columnas correspondientes a variables de análisis, permitiendo aplicar enfoques estadísticos, generar datos y gráficos para interpretar resultados.

Además, la matriz se configuró con criterios de validación de datos, como listas desplegables para variables categóricas, para prevenir errores durante la clasificación de tipos de datos. Proporciona más información sobre cómo se realizan los estudios bibliométricos para

ayudar a mejorar la calidad del análisis bibliométrico, así como la fiabilidad de los resultados obtenidos.

3.2.7.1. Estructura del instrumento

Cada fila de la matriz representa un artículo científico y cada columna representa una variable de análisis previamente definida. Las variables bibliométricas se organizaron en dos categorías basadas en su enfoque en el análisis orientado a la producción científica de sus datos, y variables técnicas basadas en el contenido geotécnico de los estudios. Estas incluyeron las variables bibliométricas: autor, base de datos, año de publicación, tipo de documento (si aplica), revista, país, institución y cantidad de citas.

Las variables técnicas toman en cuenta el tipo de fibra, suelo y aplicabilidad geotécnica, ya que la investigación se centró en las consideraciones de ingeniería con mayor profundidad. El instrumento además incluye una columna de observaciones para capturar los puntos útiles relacionados con los hallazgos o limitaciones en cada estudio. La estructura de la matriz se complementó utilizando listas desplegables para variables categóricas, para estandarizar la información y suprimir errores en el registro.

3.2.7.2. Aplicación del instrumento

El instrumento se aplicó secuencialmente mediante el método de selección de artículos descrito en la metodología. Después de buscar los documentos apropiados en bases de datos indexadas, así como en la herramienta Research Rabbit, se examinaron el título, resumen y si era necesario los textos completos de los artículos.

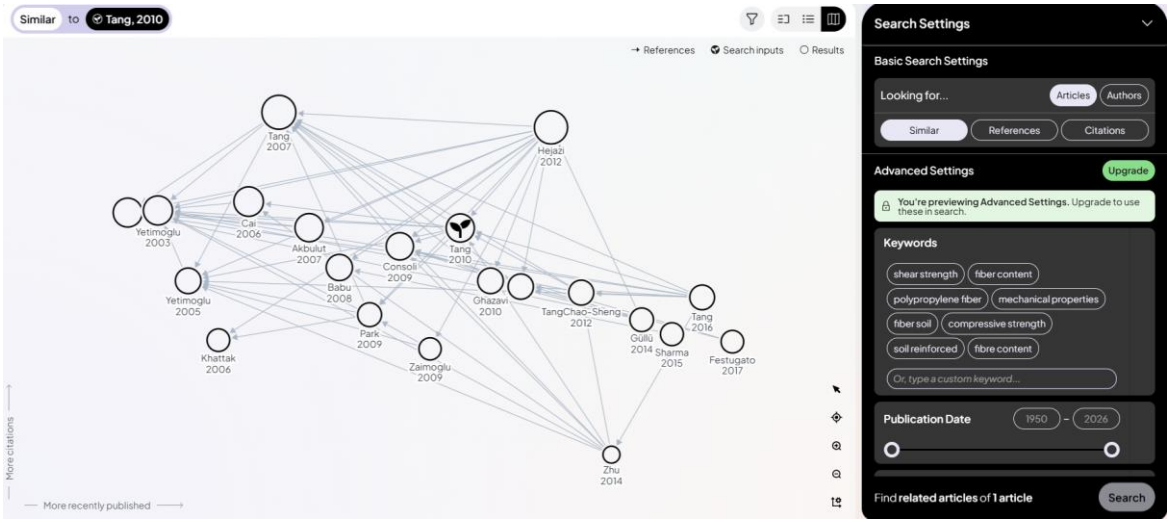
Luego, los datos acompañantes se ingresaron en la matriz de recolección, respondiendo las preguntas principales para cada una de las variables. Esto permitió una extracción consistente de datos y mantuvo los análisis alineados. Para probar la capacidad del instrumento, se realizó una prueba piloto en la submuestra de artículos, para que pudiera ajustarse según la categoría, variables y estructura de la matriz para su implementación final en los documentos seleccionados en su totalidad.

Por último, la información recopilada se utilizó para el análisis bibliométrico y técnico, y se realizó la creación de tablas, gráficos e interpretaciones para conclusiones de investigación

basadas en evidencia. El instrumento está vinculado con el procedimiento de desarrollo y una instancia real.

Figura 2

Aplicación de Research Rabbit Plus



Nota: El gráfico corresponde a un mapa generado en Research Rabbit donde representa la literatura relacionada con el documento semilla Tang 2010 – Interfacial Shear Strength of Fiber Reinforced Soil.

La Figura 2 ilustra la implementación de la herramienta de inteligencia artificial Research Rabbit, la cual fue fundamental en la fase de recolección de información para expandir la red de conocimiento más allá de las búsquedas bibliográficas convencionales. Esta herramienta permitió realizar un análisis automatizado de citación y cocitación, tomando como base documentos estratégicos denominados 'semilla', entre los cuales destaca el trabajo de Tang (2010), titulado *'Interfacial shear strength of fiber reinforced soil'.*

A través de la visualización dinámica de estas redes, se logró identificar literatura “corriente arriba”, que abarca los trabajos seminales e influencias teóricas que cimentaron las bases de la geotecnia moderna con fibras. De igual manera, se descubrió literatura “corriente abajo”, correspondiente a las derivaciones, aplicaciones recientes y nuevas tendencias que han surgido a partir de los estudios base. Este enfoque metodológico permitió localizar artículos críticos que no aparecían en las consultas tradicionales por palabras clave, garantizando una revisión exhaustiva de la literatura y revelando vínculos técnicos que fortalecen la sistematización histórica y bibliométrica de esta investigación."

Tabla 2.

Instrumento de recopilación de datos

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	N° citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
Código único consecutivo correspondiente a cada documento.	Título completo del documento.	Autor principal o 'et al.' si son varios.	Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Springer, ISSN, ASCE.	Año de publicación	Artículo, Revisión, Nota o Conferencia.	Nombre de la revista de publicación.	País del autor principal.	Institución del autor principal.	Número de citas del artículo.	Natural, sintética a reciclada (especificar tipo).	Tipo de suelo (SUCS si es posible: Arcilla, Limo, Arena, Grava o Turba).	Subrasante, taludes, pavimentos, rellenos.

Nota: El gráfico corresponde al instrumento de recopilación de datos y la explicación de cada parámetro que lo compone – Elaborado por Carrera 2026

En el marco de la presente investigación se analizaron un total de 100 artículos científicos, publicados hasta la publicación de este documento, los cuales fueron obtenidos de bases de datos indexadas de alto impacto, específicamente Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Springer, ISSN, ASCE. Todos los documentos seleccionados abordan el uso de fibras: naturales, sintéticas y recicladas, en el mejoramiento de suelos, considerando aplicaciones geotécnicas como: Subrasante, taludes, pavimentos, rellenos.

Los resultados reportados en la literatura evidencian, en su mayoría, efectos favorables del uso de fibras como refuerzo discreto en matrices de suelo, especialmente en suelos finos y suelos con comportamiento expansivo. No obstante, se identifican variaciones en la calidad metodológica y en la consistencia de los resultados entre los distintos estudios. Mientras que algunos trabajos presentan una caracterización detallada del suelo y de las fibras, junto con un control experimental riguroso y análisis técnico robusto, otros muestran limitaciones en la descripción metodológica, ausencia de parámetros clave o falta de evaluación de aspectos relevantes como la durabilidad, condiciones ambientales y comportamiento a largo plazo, lo que restringe la extrapolación de sus resultados.

Con el propósito de garantizar un análisis sistemático, objetivo y reproducible, todos los artículos fueron procesados mediante el instrumento de recopilación de datos descrito en el Capítulo III, el cual permitió organizar la información en función de variables bibliométricas y técnicas. A partir de este instrumento, se construyó una base de datos estructurada que sirvió como insumo para el análisis de tendencias, identificación de patrones de investigación y evaluación del enfoque técnico de los estudios. En las secciones siguientes se presentan los resultados derivados de este proceso, sustentados en la información sistematizada y analizada bajo criterios metodológicos definidos.

CAPÍTULO IV

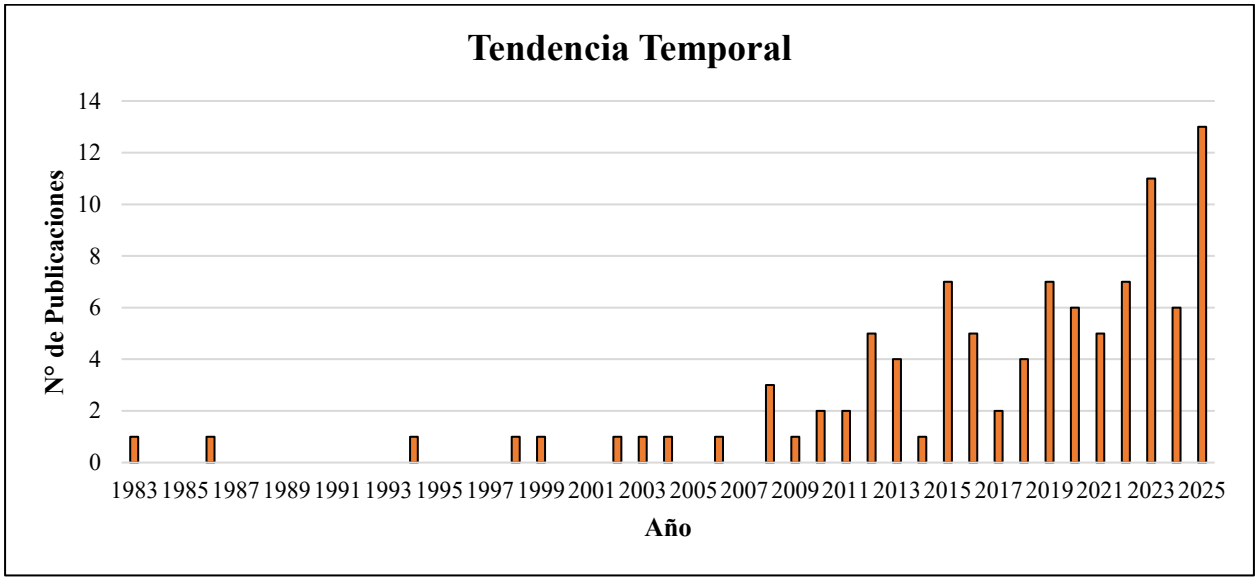
4. Análisis de Resultados

4.1. Tendencia temporal de la producción científica

Para analizar la tendencia de desarrollo de la producción científica de fibras en geotecnia, se realizó un análisis temporal de estos documentos, teniendo en cuenta el período anual de publicación entre 1983 y 2025. La frecuencia de publicaciones ha sido el principal enfoque de este estudio. Tal análisis ayuda a mapear tendencias de crecimiento, etapas de construcción del conocimiento y momentos de interés en la investigación en el área. Las frecuencias anuales de publicaciones se midieron según la base de datos construida con resultados mostrados en la Figura 3.

Figura 3

Tendencia Temporal de la producción científica



Nota: El gráfico corresponde a un diagrama de barras mediante el cual se observa la distribución temporal de literatura relevante a las fibras en geotecnia desde el año 1983 hasta el 2025 – Elaborado por Carrera, 2026.

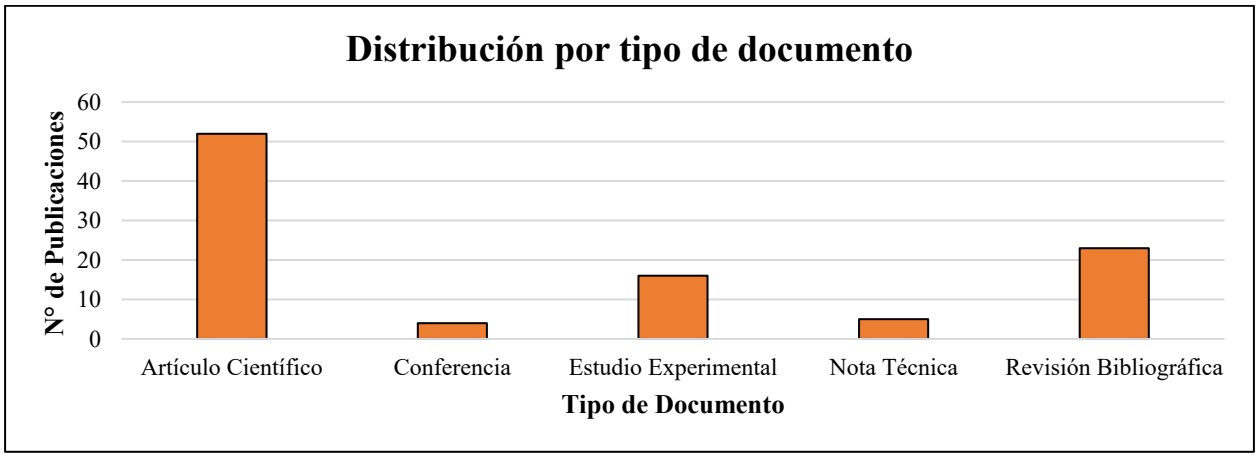
Los resultados indican una evolución claramente diferente en tres etapas. Desde 1983 hasta aproximadamente 2007, la primera fase de producción científica se limita a uno o ningún artículo por año, indicando un interés temprano en las aplicaciones de fibras en suelos. Luego, hasta 2008, las publicaciones aumentaron constantemente, indicando una fase de crecimiento consistente que se acumula desde 2012. Por último, la última etapa de producción científica (2015 a 2025) es la más pronunciada con el valor más alto con 11 y 13 publicaciones en 2023 y 2025, respectivamente. A medida que esta línea de investigación aumenta, está claro que la aplicación de fibras en geotecnia ha pasado de ser un tema marginal a algo con potencial para una investigación seria que se está desarrollando debido al enfoque en una solución de sostenibilidad mayor con métodos de mejora del suelo más eficientes.

4.2.Distribución por tipo de documento

La naturaleza de la producción científica analizada se clasificó por tipo utilizando categorías como artículos científicos, revisiones de literatura, estudios experimentales, notas técnicas, así como publicaciones en conferencias. A través de este análisis, se pueden distinguir las áreas de investigación dominantes del uso de fibras en geotecnia y el grado de madurez y desarrollo del conocimiento. El resultado de la base de datos establecida se informa en la Figura 4.

Figura 4

Distribución por tipo de documento



Nota: El gráfico corresponde a un diagrama de barras mediante el cual se observa la distribución por tipo de documento relevante para el estudio – Elaborado por Carrera, 2026.

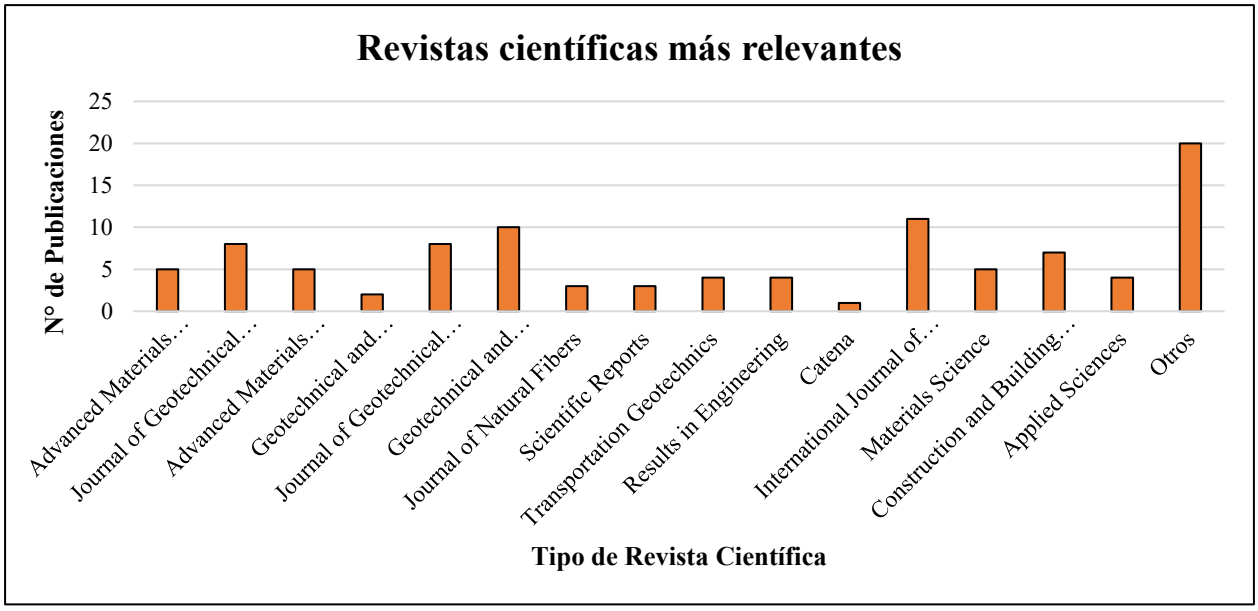
Los hallazgos indican que los artículos científicos están fuertemente representados en la muestra, y se publican en total 52 artículos científicos, representando más del 50% de la muestra analizada. Esta tendencia parece hacernos creer en una investigación muy científica centrada en aportar nuevos conocimientos a partir de estudios experimentales y pruebas aplicadas. En segundo lugar, las revisiones de literatura (23 documentos) son indicadores significativos de un interés creciente en sintetizar y recopilar información indicativa de un grado científico moderado. Por otro lado, algunos estudios experimentales (16 publicaciones) confirman que el área es práctica en gran medida y que una parte significativa de la investigación se lleva a cabo para validar las propiedades mecánicas del suelo reforzado con fibras. Mientras que las publicaciones en conferencias (4) y las notas técnicas (5) parecen ser menos comunes, lo que puede indicar una metodología más sistemática y consolidación de la formalidad y rigor del campo, la difusión del conocimiento aparece más a menudo a través de revistas indexadas. Más recientemente, esta distribución muestra que la investigación en términos de fibras en geotecnia ha comenzado a convertirse en una línea activa de investigación en desarrollo que permite la experimentación y el refinamiento teórico continuo, lo que parece enfatizar la experimentación y el desarrollo teórico en este campo para avanzar en el pasado.

4.3.Revistas científicas más relevantes

Los principales espacios para la difusión científica en la aplicación geotécnica de fibras se localizaron investigando los artículos de revistas considerados hasta el presente en este trabajo. Este estudio permite la identificación de las fuentes más importantes de creación y difusión del conocimiento y la evaluación de la intensidad/dispersión de la producción científica en revistas especializadas. El número de publicaciones por revista también se contó según la base de datos formulada y los datos se muestran en la Figura 5.

Figura 5

Revistas científicas más relevantes



Nota: El gráfico corresponde a un diagrama de barras mediante el cual se observa las revistas científicas con mayor número de publicaciones – Elaborado por Carrera, 2026.

Los resultados muestran una distribución relativamente dispersa de las publicaciones, aunque con cierta concentración en revistas específicas. Destaca el International “Journal of Current Engineering and Technology” con 11 publicaciones, seguido por el “Journal of Geotechnical Engineering” con 8 y la revista “Construction and Building Materials” con 7, evidenciando que la investigación en este campo se encuentra fuertemente vinculada tanto a la ingeniería geotécnica como a la ciencia de materiales. Asimismo, revistas como Advanced Materials Research y Materials Science presentan una participación relevante con 5 publicaciones cada una, lo que refuerza el carácter interdisciplinario del tema. Por otro lado, la categoría “Otros”, que agrupa 33 publicaciones distribuidas en diversas revistas con una sola contribución cada una, refleja una alta dispersión del conocimiento, indicando que el estudio de fibras en suelos no se encuentra completamente centralizado en un conjunto reducido de “Journals” especializados. En conjunto, estos resultados sugieren que, si bien existen revistas de referencia, el campo aún mantiene una naturaleza abierta y transversal, con presencia en múltiples líneas de investigación relacionadas con la sostenibilidad, la ingeniería civil y los materiales.

4.4.Autores más productivos

Un desglose de los autores en los 100 trabajos científicos estudiados con esta tesis indica una gran brecha en la producción académica para el uso de fibra en geotecnia. Se identificó una rica variedad de investigadores de diversas regiones y contextos académicos, sin un grupo claramente dominante que concentrara una cantidad significativa de publicaciones. Mientras que autores recurrentes como:

- Amin Chegenizadeh
- Hamid Nikraz
- Sayyed Mahdi Hejazi
- Nilo Cesar Consoli

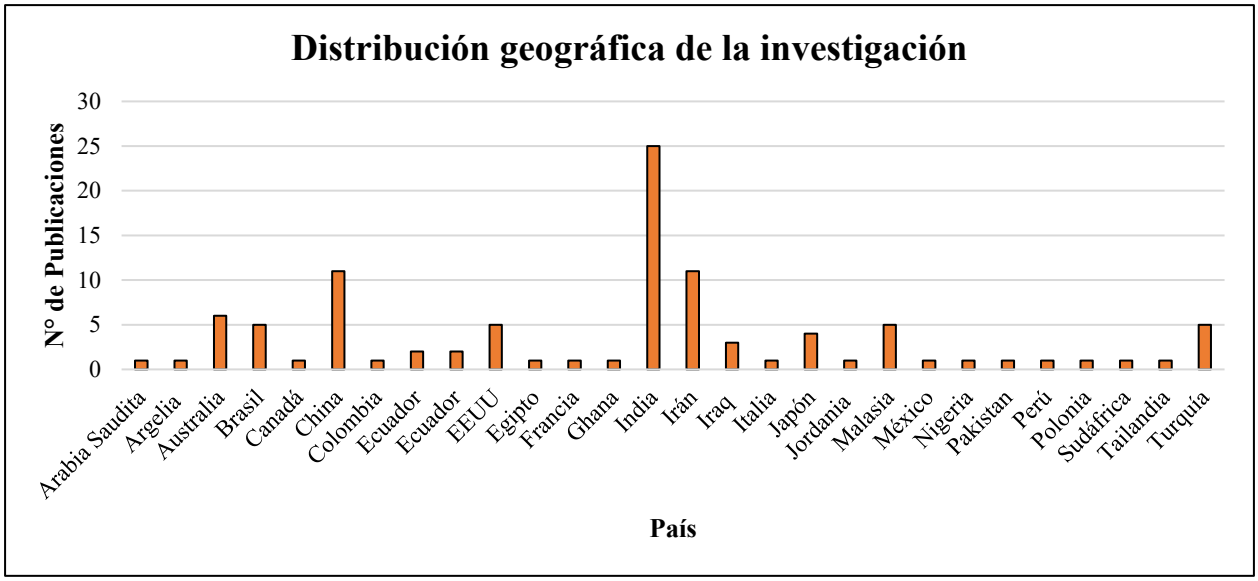
Han estado involucrados en múltiples estudios, la mayoría de ellos están involucrados en una publicación, lo que indica una baja concentración de autores en el campo. Esto indica que la investigación sobre fibras en suelos reforzados no ha terminado en ninguna etapa aún, con diversos actores (ingeniería geotécnica, ciencia de materiales, sostenibilidad, etc.) participando. Hasta cierto punto, la diversidad de autores y enfoques se ha identificado como una fortaleza del campo, lo que promueve la innovación en su uso y la exploración de nuevas aplicaciones, sin embargo, hay una creciente necesidad de ciencia y comunicación (es decir, articulación) necesaria para consolidar criterios metodológicos y delinear claramente las direcciones de investigación.

4.5.Distribución geográfica de la investigación

Con el objetivo de analizar la distribución geográfica de la producción científica en el campo del uso de fibras en geotecnia, se identificó el país de afiliación del autor principal en cada uno de los documentos revisados. Este análisis permite reconocer las regiones que lideran el desarrollo de esta línea de investigación, así como comprender la relación entre el contexto geográfico y los enfoques de solución planteados. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 6.

Figura 6

Distribución geográfica de la investigación



Nota: El gráfico corresponde a un diagrama de barras mediante el cual se observa los países que tienen un mayor número de publicaciones – Elaborado por Carrera, 2026.

Los hallazgos demuestran el dominio general de los países asiáticos en la producción científica sobre el uso de fibras en geotecnia, donde India obtuvo 25 publicaciones en total, seguida de China e Irán con 11 publicaciones cada uno. Este liderazgo se atribuye a una serie de factores, incluida la alta disponibilidad de fibras naturales y suelos desafiantes, particularmente áreas expansivas y de baja capacidad de carga como arcillas y limos para diseñar infraestructura económica.

De manera similar, Turquía, Malasia, Estados Unidos y Brasil tienen un estado de participación moderada, lo que indica un interés creciente en el tema desde perspectivas tanto aplicadas como de sostenibilidad. La producción científica en América Latina, por otro lado, es limitada, donde países como Ecuador, Colombia, Perú y México contribuyeron exclusivamente con la mayoría de las publicaciones en el dominio literario a pesar de la evidente brecha regional en el desarrollo de este dominio particular.

A nivel continental, Asia puede establecer efectivamente su posición de liderazgo en el conocimiento en esta área, concentrando la mayoría de los estudios y publicaciones examinados allí, al menos a una ligera distancia, y Europa y América después. Por lo tanto, esta distribución

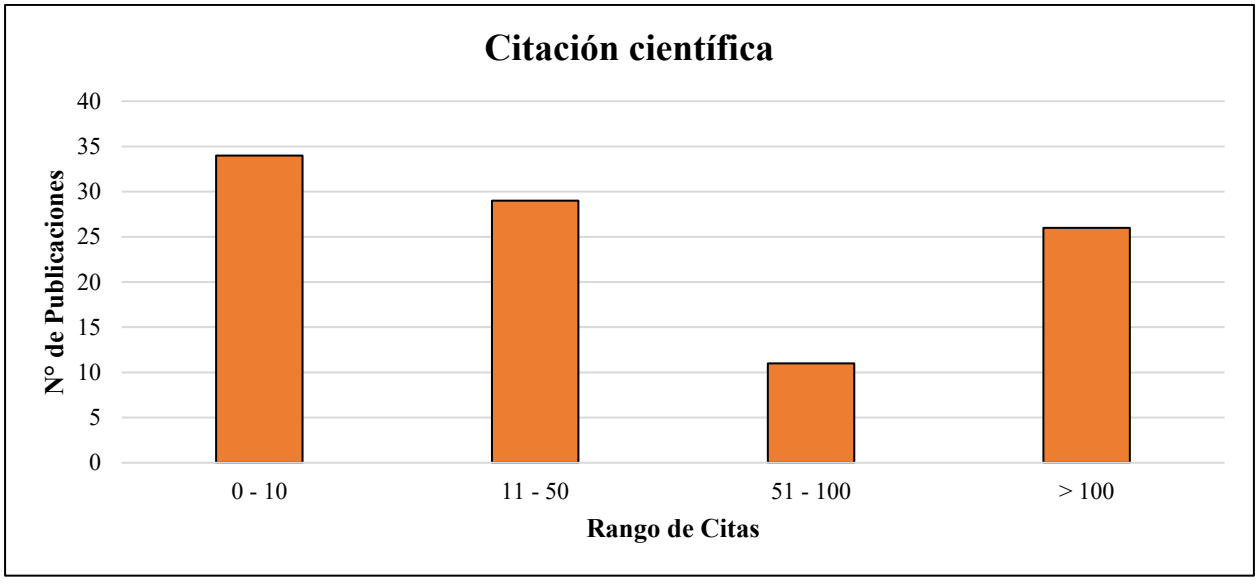
demuestra que el desarrollo de fibras en geotecnia está en gran medida influenciado por los contextos en los que los requisitos técnicos y los materiales naturales se vuelven disponibles, y se consolida como un enfoque potencial en las áreas en desarrollo. En general, estos hallazgos demuestran que la investigación contribuye a una respuesta no solo contra la investigación sino también a condiciones, geográficas, económicas y ecológicas, reflejando la naturaleza aplicada del estudio y el hecho del potencial de la investigación para ser sostenible.

4.6.Análisis de citas

Se realizó un análisis de citas de los documentos en la base de datos para evaluar el impacto y la relevancia de la producción científica analizada. Para este propósito, los artículos se agruparon según la cantidad de citas recibidas, formando categorías para identificar investigaciones de alto impacto, así como aquellas con menos exposición dentro de la comunidad científica. Esto ayuda a determinar el grado de consolidación del conocimiento en la aplicación de fibras en geotecnia. Los resultados se presentan en la Figura 7.

Figura 7

Citación científica de la investigación



Nota: El gráfico corresponde a un diagrama de barras mediante el cual se observa los rangos de citas que tienen un mayor número de publicaciones – Elaborado por Carrera, 2026.

Como resultado, en términos de citas (en el índice), los resultados revelan una distribución heterogénea en el número de citas y apoyan el hecho de que el impacto es variable en toda la producción científica examinada en el estudio. El número de publicaciones en el rango de 0 a 10 citas es de 34, representando la frecuencia relativamente alta o baja de la mayoría de las obras más recientes. Además, 29 documentos están entre 11 y 50 entradas, indicando un nivel intermedio de reconocimiento académico. Por otro lado, 11 publicaciones tienen entre 51 y 100 citas y un gran grupo de 26 artículos superan las 100 citas, sugiriendo la presencia de investigaciones altamente influyentes que contribuyeron significativamente al desarrollo del área.

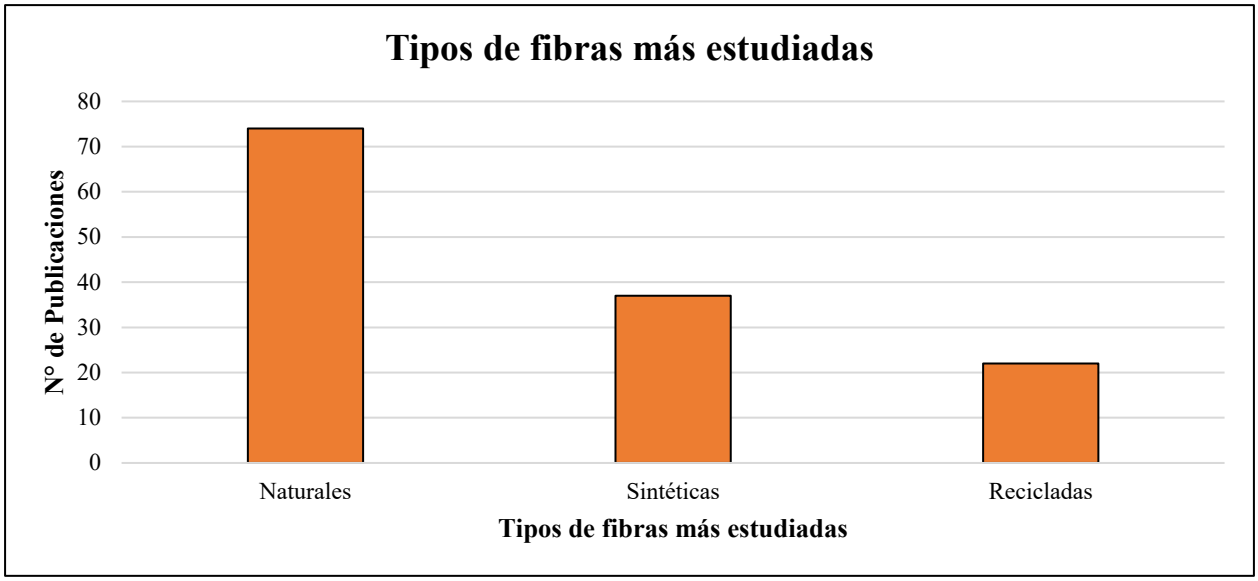
En general, esta distribución sugiere que el campo del uso de fibras en geotecnia presenta un equilibrio entre nuevos estudios y trabajos consolidados. Refleja la dirección de una nueva ola en la investigación, en la que se reporta un gran número de escritos de alto rendimiento. Las fuertes citas mostraron que teóricamente o en la práctica el área temática estaba firmemente respaldada, y la investigación publicada con muy pocas citas mostró su vitalidad. Este comportamiento demuestra que es una evolución de un campo, en expansión continua: podemos esperar que las contribuciones recientes estén en conjunto con el desarrollo de la investigación muy por encima de un cierto nivel de prestigio científico del campo actual:

4.7.Tipos de fibras más estudiados

Para determinar el uso de materiales de refuerzo en los estudios, analizamos los tipos de fibras que se han utilizado en estos estudios, categorizándolos en tres grandes categorías: fibras naturales, sintéticas y recicladas. Sin embargo, algunos documentos analizan múltiples tipos de fibras al mismo tiempo, por lo que el número de estudios podría contarse como múltiples en el mismo documento o artículo. Este enfoque permite entender no solo la frecuencia de uso de cada fibra, sino también el surgimiento de enfoques comparativos e integrados en la investigación geotécnica. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 8.

Figura 8

Tipos de fibras más estudiadas



Nota: El gráfico corresponde a un diagrama de barras mediante el cual se observa las fibras que tienen un mayor número de publicaciones – Elaborado por Carrera, 2026.

Los resultados muestran una clara predominancia de las fibras naturales, presentes en 74 publicaciones, confirmando su alta relevancia dentro del campo de la geotecnia. Este comportamiento depende en gran medida de su accesibilidad, precio asequible y carácter sostenible, especialmente en las economías emergentes donde son abundantes en coco, yute, bambú y fibras agrícolas. En segundo lugar, las fibras sintéticas están respaldadas por 37 artículos, siendo un material comúnmente utilizado debido a su alta durabilidad, resistencia y controlabilidad de las propiedades mecánicas. Mientras tanto, las fibras recicladas encuentran su camino en 22 informes, ilustrando una tendencia en expansión hacia una economía circular y el desperdicio, incluyendo PET plástico.

El desarrollo del paradigma hacia la investigación comparativa y combinada es evidente en los numerosos estudios que incorporan múltiples fibras al mismo tiempo. Se demuestra que no existe una única mejor solución; en cambio, el tipo de fibra seleccionado está determinado por el tipo de suelo, factores ambientales y necesidades del proyecto. En general, los resultados muestran que se ha dado un paso hacia un cambio más amigable con el medio ambiente, alejándonos de los enfoques convencionales y hacia la fibra natural como la opción predominante, con opciones

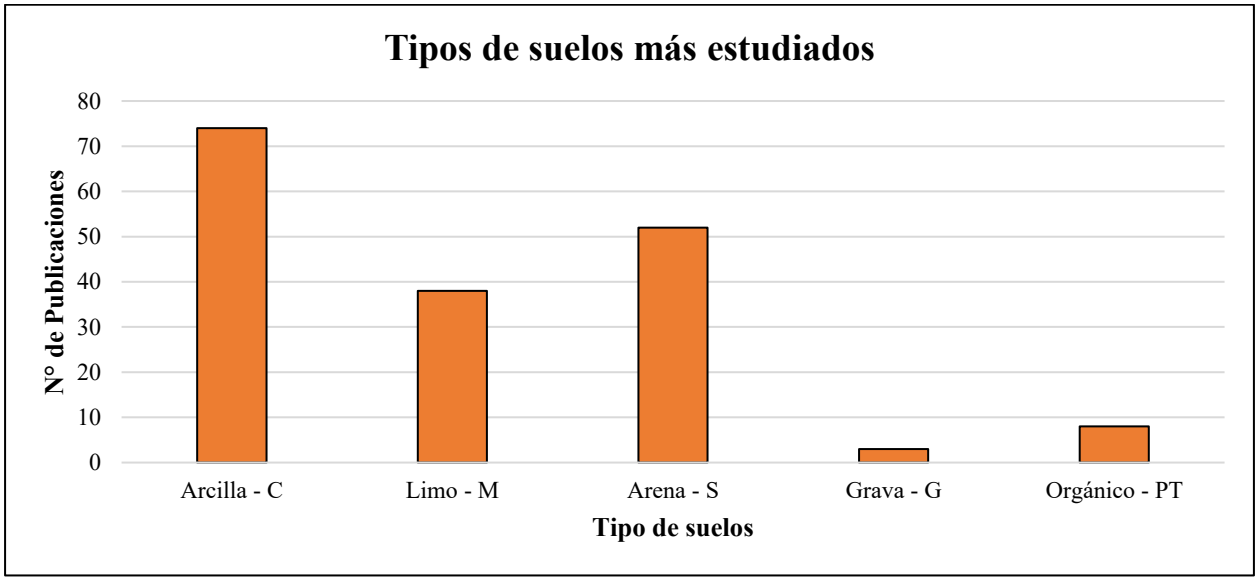
sintéticas y recicladas trabajando junto a ella para mejorar el rendimiento técnico y la durabilidad del suelo reforzado, especialmente en términos de volumen de investigación.

4.8.Tipos de suelos más investigados

Con el propósito de identificar los tipos de suelo que han recibido mayor atención en la literatura científica sobre el uso de fibras en geotecnia, se realizó una clasificación de los estudios revisados utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), agrupándolos en arcillas (C), limos (M), arenas (S), gravas (G) y suelos orgánicos (PT). Es importante señalar que algunos documentos incluyeron más de un tipo de suelo dentro de su análisis, especialmente aquellos de carácter comparativo o de revisión, por lo que un mismo estudio pudo ser considerado en más de una categoría. Este enfoque permite obtener una visión integral del comportamiento del refuerzo con fibras en diferentes condiciones geotécnicas y reconocer los materiales que han concentrado el mayor interés investigativo. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 9.

Figura 9

Tipos de suelos más estudiados



Nota: El gráfico corresponde a un diagrama de barras mediante el cual se observa los tipos de suelos que tienen un mayor número de publicaciones – Elaborado por Carrera, 2026.

Los resultados revelaron que los artículos se refieren principalmente a suelos finos (74 arcillas y 38 limos), reflejando el interés de la comunidad científica por mejorar suelos con

características difíciles como alta compresibilidad, baja resistencia al corte y susceptibilidad a cambios volumétricos. Tal enfoque está en línea con el uso de fibras como refuerzo, porque en suelos finos, las fibras actúan mejorando la resistencia al corte, controlando la diseminación de grietas y mejorando la ductilidad del material.

Aunque las arcillas dominan la literatura, los suelos granulares específicamente las arenas con (52 publicaciones) representan una proporción importante de la recopilación documental de esta investigación. Esta representatividad confirma el interés científico en los dispositivos de fricción y anclaje que se activan al reforzar suelos de este tipo. Sin embargo, la menor frecuencia en comparación con las arcillas indica que los estudios han enfatizado más los suelos críticos geotécnicamente. Los suelos gruesos como las gravas (3 publicaciones) y los suelos orgánicos (8 publicaciones) tienen una representación mucho menor de esos recursos, indicando una brecha en la literatura.

Esto podría deberse a que el refuerzo de fibras es menos efectivo en suelos gruesos o altamente orgánicos donde las vías de interacción suelo-fibra son menos eficientes o más difíciles de modelar. Un tema de actualidad es que varios trabajos estudian una combinación de suelos, es decir, arcilla-limo-arena, indicando una tendencia hacia métodos más comprensivos y evaluaciones del comportamiento del refuerzo en contextos más geotécnicos.

En general, los datos implican que la aplicación de fibras se refiere principalmente a mejorar suelos finos problemáticos donde el efecto de las fibras es relativamente superior y técnicamente razonable.

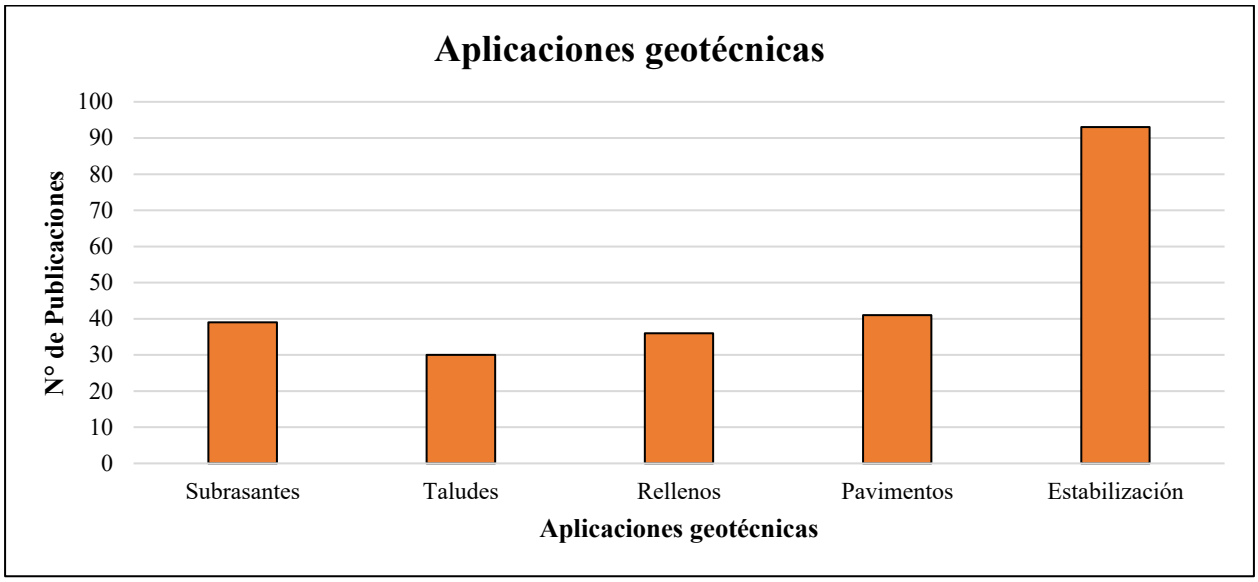
4.9.Aplicaciones geotécnicas del refuerzo con fibras

Con el propósito de identificar las principales áreas de aplicación del refuerzo con fibras en la ingeniería geotécnica, los estudios revisados se clasificaron de acuerdo con el tipo de aplicación reportada, agrupándolos en subrasantes, taludes, rellenos, pavimentos y estabilización de suelos. Es importante señalar que algunos documentos abordaron simultáneamente dos o más aplicaciones, especialmente aquellos de carácter experimental o de revisión, por lo que un mismo estudio pudo ser considerado en más de una categoría. Este enfoque permitió evidenciar la versatilidad del uso de fibras y reconocer los escenarios geotécnicos en los que esta técnica ha

recibido mayor atención dentro de la literatura científica. Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 10.

Figura 10

Aplicaciones Geotécnicas



Nota: El gráfico corresponde a un diagrama de barras mediante el cual se observa las aplicaciones geotécnicas que tienen un mayor número de publicaciones – Elaborado por Carrera, 2026.

Los resultados muestran una clara predominancia de la estabilización de suelos, con 93 publicaciones. Esto convierte a la estabilización de suelos en la aplicación más importante de las fibras en la geotecnia. Este es un comportamiento típico de refuerzo en el que, dado que las fibras afectan las características mecánicas del suelo, promueven una mejor resistencia, limitan su deformabilidad y amplifican su capacidad de carga. Aquí la estabilización no es solo un método, sino un método fundamental para mejorar el suelo.

En el trasfondo, se reportan diferentes aplicaciones en pavimentos, subbases y rellenos (41, 39, 36 estudios), donde el objetivo se centra en mejorar la resistencia al corte, la respuesta a la carga cíclica y la durabilidad de los materiales con fibras. Tales aplicaciones están asociadas con el diseño de infraestructura vial y, por lo tanto, son relevantes para la ingeniería de transporte donde el refuerzo con fibras juega un papel. Por el contrario, las pendientes (30 estudios) están representadas en general de manera relativamente baja (aunque de importancia técnica) ya que en

este caso las fibras ayudan a aumentar la estabilidad mejorando la cohesión aparente del suelo y el comportamiento después de la falla.

Sin embargo, su menor frecuencia indica que su aplicación en la estabilidad de taludes sigue siendo experimental o necesita más verificación a escala de campo. Un aspecto significativo para destacar es que más de un estudio se lleva a cabo simultáneamente en la misma aplicación geotécnica, una característica que indica un desarrollo hacia un enfoque integrado para la remediación del suelo, lo que significa que el refuerzo con fibras no se limita a un solo uso, sino que se adapta a diversas condiciones y requisitos del proyecto. En conclusión, se ha demostrado que la aplicación de fibras se ha concentrado únicamente en la estabilización con un uso complementario en sistemas viales y contención.

4.10. Análisis integrado: fibra – suelo – aplicación

La resistencia del refuerzo con fibras en el suelo no es independiente de la interacción de tres elementos fundamentales: tipo de fibra, propiedades del suelo y la carga y condición ambiental durante el uso. Este método sistémico nos permite apreciar que el efecto en la efectividad del refuerzo se basa en parte en la característica interna del material fibroso y en parte en la compatibilidad mecánica y fisicoquímica del refuerzo con la matriz hecha de suelo.

En general, las fibras naturales a corto y mediano plazo tienen las ventajas de tener un bajo costo, fáciles de suministrar y biodegradables, lo que las convierte en un candidato adecuado para aplicaciones temporales o semi persistentes. En bioingeniería, como en trabajos de taludes, bancos y drenajes, control de erosión superficial, estas fibras proporcionan un refuerzo temprano, fortaleciendo la cohesión aparente de la estructura, reduciendo la pérdida de finos, favoreciendo la estructura de cobertura vegetal.

No obstante, el rendimiento depende de los procesos de degradación biológica y química, por ejemplo, aquellos en zonas húmedas o donde la actividad microbiana es alta, por lo que no son ideales para construcciones que requieren un comportamiento estable y duradero. Las fibras sintéticas, como el polipropileno, poliéster o polietileno, tienen una ventaja sobre las naturales, como una mayor durabilidad, resistencia química a los productos químicos y resistencia mecánica, permitiendo su aplicación con una durabilidad más permanente que las fibras sintéticas.

La aplicación en suelos granulares y subbases de pavimentos ha demostrado notables aumentos en la resistencia al corte, la minimización de las deformaciones plásticas y la capacidad de carga debido a su uso. En cimentaciones superficiales y estructuras de contención, su aplicación promueve un aumento de la ductilidad mecánica y el control de la propagación de grietas a nivel del sistema. La aplicación de fibras recicladas, y específicamente aquellas hechas de desechos plásticos como el PET, ha ganado importancia con la perspectiva de la ingeniería sostenible.

Estas fibras presentan un balance favorable entre desempeño ingenieril y sostenibilidad, permitiendo su utilización en diferentes contextos geotécnicos. Los estudios revisados evidencian mejoras en parámetros como el CBR, la resistencia a la compresión no confinada y la capacidad de disipación de energía, lo que respalda su empleo en pavimentos y procesos de estabilización de suelos. De hecho, la mayoría de las combinaciones analizadas en la literatura se orientan a maximizar los beneficios mecánicos del refuerzo sin comprometer la viabilidad ambiental de la solución.

4.10.1. Combinaciones más estudiadas en la literatura

El estudio de la información científica apunta a un énfasis en el refuerzo a través de combinaciones selectivas de fibra-suelo que cumplen con las propiedades mecánicas necesarias y las condiciones de servicio.

4.10.1.1. Fibras naturales:

Entre las fibras naturales más estudiadas se encuentran el coco, el yute, el sisal y el kenaf, que han demostrado un rendimiento efectivo en suelos cohesivos, particularmente en arcillas de alta plasticidad y suelos expansivos. La adición de ellas conduce a la disminución del índice de plasticidad, mejora de la resistencia a la compresión no confinada (UCS) y reducción de la susceptibilidad al agrietamiento por contracción. El mecanismo dominante en estos casos está relacionado con la generación de refuerzo distribuido que reducirá la deformación volumétrica y mejorará la tenacidad del suelo.

4.10.1.2. Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas, especialmente el polipropileno, se han aplicado extensamente en suelos granulares y subbases de pavimentos. Están diseñadas para mejorar la resistencia al corte, aumentar el ángulo de fricción interna y disminuir la deformación permanente que ocurre con la carga repetida. En estos tipos de materiales, el refuerzo se comporta principalmente en forma de movilización de tensiones friccionales que se encuentran en la interfaz suelo-fibra y los efectos de confinamiento impuestos por las distribuciones tridimensionales de las fibras.

4.10.1.3. Fibras recicladas

Las fibras derivadas de botellas de PET se han utilizado en suelos cohesivos y granulares. Algunos estudios reportan aumentos en el CBR, aumento en la ductilidad y un aumento en la resistencia post-falla, factores que se aplican especialmente en el dominio de aplicación, donde es necesario tener absorción de energía y comportamiento no frágil. Debido a que pueden usarse en múltiples suelos, son versátiles y consideradas como una fuente de soluciones renovables en geotecnia.

4.10.2. Interacción mecánica suelo–fibra

Así, el comportamiento del suelo reforzado está gobernado por la interacción en la interfaz suelo-fibra, un proceso determinado por varias propiedades del refuerzo y del suelo. Algunos de los parámetros importantes relacionados con la fibra son su longitud, diámetro, relación de aspecto (L/D), módulo de elasticidad, resistencia a la tracción y rugosidad superficial.

La capacidad de anclaje, la transferencia de tensiones y la creación de mecanismos de fricción y adhesión se ven directamente afectados por tales características. En cuanto al suelo, la eficiencia del refuerzo está condicionada por la granulometría, el contenido de finos, el grado de saturación, la densidad, el estado de tensión inicial, entre otros. La interacción ocurre principalmente en suelos granulares gracias a la fricción y el enclavamiento mecánico, mientras que en suelos cohesivos se añade un componente de adhesión debido a la matriz fina.

El mecanismo de refuerzo se describe como la movilización de tensiones de tracción en las fibras que impide la aparición de deformaciones y redistribuye las tensiones dentro de la masa del

suelo. A medida que aumentan las cargas estáticas y dinámicas, también hay un aumento en la resistencia al corte, ductilidad y mayor capacidad de disipación de energía.

4.10.3. Síntesis del comportamiento integrado

Esto significa que, de manera interdependiente, el comportamiento del suelo reforzado con fibras es un sistema multifactorial integrado, donde un parámetro no depende de la respuesta mecánica, sino de la interacción de varios factores: tipo de fibra, propiedades del suelo y condiciones de carga y ambientales.

Con la evidencia que obtuvimos, ha quedado claro que ninguna solución es universal y, de hecho, la optimización del refuerzo debe llevarse a cabo mediante una selección basada en factores técnicos (durabilidad, tipo de solicitación (estática, cíclica o dinámica), ambiente y propiedades del suelo base).

Este uso integrado permite soluciones geotécnicas más sostenibles y efectivas mediante el uso de fibras naturales, sintéticas y recicladas, siendo más conveniente como dispositivo de diseño y capaz de mejorar las propiedades mecánicas del suelo y contribuir a innovaciones en la ingeniería civil.

4.11. Identificación de vacíos de investigación

Tras el análisis bibliométrico y la revisión sistemática de los 100 documentos seleccionados, se evidencia que, si bien el conocimiento experimental ha crecido exponencialmente en la última década, persisten brechas críticas que limitan la transferencia de esta tecnología del laboratorio a la práctica ingenieril definitiva. Los vacíos de investigación identificados se categorizan en los siguientes ejes fundamentales:

4.11.1. Durabilidad y comportamiento a largo plazo

La mayor parte de la literatura técnica evalúa el desempeño de las mezclas en periodos de tiempo cortos. Existe una carencia de estudios longitudinales (superiores a 10 años) que analicen la tasa de biodegradación de las fibras naturales en diversos entornos químicos y su impacto real en la vida útil de las estructuras geotécnicas. No se ha establecido un protocolo estándar para

cuantificar la pérdida de resistencia de las fibras vegetales bajo condiciones de servicio prolongado.

4.11.2. Ausencia de normativas y estándares de diseño

A pesar del éxito de los ensayos mecánicos, se identifica un vacío normativo global. No existen códigos de diseño estandarizados ni especificaciones técnicas integradas en las regulaciones de construcción que guíen a los proyectistas en la dosificación y control de calidad de suelos reforzados con fibras. Esta falta de criterios de diseño aceptados genera incertidumbre técnica y legal, restringiendo su aplicación en obras de infraestructura pública.

4.11.3. Escalamiento técnico y validación in situ

Se observa una saturación de estudios a escala de laboratorio, pero una escasez crítica de proyectos piloto instrumentados. Los efectos de escala y la respuesta de las mezclas bajo cargas dinámicas reales no han sido plenamente validados en el campo. Asimismo, el proceso de mezclado a grandes profundidades y la garantía de homogeneidad de la mezcla en obra representan desafíos técnicos que aún no cuentan con metodologías constructivas validadas.

4.11.4. Brecha en la diversidad de materiales y suelos

La investigación ha priorizado masivamente los suelos finos (arcillas y limos), dejando un vacío de conocimiento sobre el refuerzo en suelos gruesos como gravas. En estos materiales, los mecanismos de interbloqueo y fricción son menos comprendidos y modelados. Además, existe una oportunidad subestimada en el estudio de fibras locales en regiones como Latinoamérica, donde la producción científica es significativamente menor en comparación con el sudeste asiático.

4.11.5. Modelado predictivo y acoplamiento ambiental

Falta desarrollar modelos matemáticos multivariables que integren factores ambientales complejos. La mayoría de los modelos existentes no consideran el acoplamiento de variables como ciclos severos de congelación y deshielo, inundaciones extremas o variaciones del nivel freático inducidas por el cambio climático sobre la interfaz suelo-fibra.

4.11.6. Síntesis y proyección de la investigación

La resolución de estas brechas requiere una transición desde la experimentación pura en laboratorio hacia una ingeniería basada en el campo y la durabilidad. El futuro de la línea de investigación depende de la capacidad de la comunidad científica para estandarizar procesos y proporcionar herramientas de diseño confiables que permitan la adopción masiva de fibras como una solución geotécnica sostenible y segura

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

A. Existen tres categorías en el refuerzo del suelo utilizando fibras: naturales, sintéticas y recicladas. Existe una clara una clara predominancia de las fibras naturales, presentes en el 74% de las publicaciones analizadas, destacando el uso de coco, yute y bambú por su accesibilidad en economías emergentes. Las fibras sintéticas (polipropileno, poliéster) ocupan el segundo lugar con un 37% de representatividad, valoradas por su durabilidad técnica, mientras que las fibras recicladas (PET, neumáticos) aparecen como una tendencia creciente en el 22% de los estudios, impulsando la economía circular en la geotecnia.

B. La literatura confirma que la incorporación de fibras optimiza significativamente la resistencia a la compresión no confinada (UCS) y los valores de CBR, especialmente en aplicaciones viales. Se determinó que el refuerzo actúa incrementando la resistencia al corte mediante mecanismos de fricción y anclaje, además de transformar el comportamiento de falla frágil en una respuesta más dúctil, permitiendo un mejor control de las fisuras por desecación en arcillas.

C. Se identificaron tres etapas históricas diferenciadas: una fase inicial (1983-2007) con producción marginal; una fase de crecimiento (2008-2014) donde el interés técnico se consolidó; y una fase de auge exponencial (2015-2025), alcanzando picos de producción en 2023 y 2025. Este crecimiento refleja el cambio de paradigma hacia soluciones de sostenibilidad y la validación de materiales alternativos.

D. Se concluye que la investigación se concentra masivamente en la estabilización de suelos (93%) y aplicaciones viales como subrasantes y pavimentos. Geográficamente, existe un dominio del continente asiático, liderado por India (25%), China (11%) e Irán (11%). Como contraparte, se identificaron brechas críticas: solo un 3% de los estudios abordan suelos gruesos (gravas), existe una falta de validación en ensayos a escala real (campo) y una ausencia de normativas y estándares de diseño que faciliten la transferencia tecnológica a la práctica profesional.

5.2.Recomendaciones

A. Los estudios futuros deberían enfatizar la validación de los resultados bibliográficos con un enfoque a escala real, con proyectos piloto instrumentados que permitan la comparación de resultados experimentales obtenidos de hallazgos publicados. De manera similar, los estudios de durabilidad a largo plazo establecerían el comportamiento de las fibras, especialmente las naturales, en entornos reales y contribuirían a cerrar la brecha actual entre la investigación y el uso práctico.

B. La próxima generación de estudios bibliométricos debería extender sus búsquedas a nuevas bases de datos, estudios de mayor duración y otras herramientas de análisis avanzadas, incluyendo redes de coautoría, cocitación, así como la coocurrencia de palabras clave. Además, se propone centrarse más en el estudio de suelos gruesos y fibras locales en lugar de únicamente estudios de suelos finos y geotecnia vial.

C. A la luz de los hallazgos, se deben fomentar e integrar en la aplicación e investigación directrices técnicas y regulaciones que proporcionen la aplicación uniforme de fibras en la mejora del suelo, incluyendo dosificación, tipo de fibra, mezcla y control de calidad. En paralelo, es necesario reforzar el desarrollo de modelos predictivos que integren los factores mecánicos y ambientales para que la interpretabilidad de las características suelo-fibra pueda desarrollarse aún más en condiciones reales de servicio.

D. Para hacerlo útil en la práctica, apoyar la investigación orientada a la sostenibilidad, apoyar los sistemas de fibras naturales, recicladas e híbridas, y la evaluación del ciclo de vida del impacto para hacerlo aplicable a las situaciones reales. También se recomienda aumentar la perspectiva interdisciplinaria, que incorporaría la mecánica del suelo, la ciencia de materiales y el conocimiento biológico, hacia la mejora del rendimiento, durabilidad y versatilidad de las fibras para procesos geotécnicos innovadores.

CAPÍTULO VI

6. REFERENCIAS Y ANEXOS

6.1. Referencias

[1]. Ak, A., Sankar, N., & Chandrakaran, S. (2020). A Review of Soil Reinforcement using Different Natural Fibers.

[2]. Aksu Alcan, B., & Çelik, S. (2023). The Effect of Different Fiber Reinforcement on Bearing Capacity under Strip Foundation on the Sand Soil: An Experimental Investigation. Applied Sciences (Switzerland), 13(17). https://doi.org/10.3390/app13179769

[3]. Albadrani, M. A. (2025). Sustainable stabilization of soft clay using rice straw fibers: Mechanical and consolidation behavior. Results in Engineering, 28. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108169

[4]. Albuja-Sánchez, J., Solano-Vinueza, G., & Damián-Chalán, A. (2025). Bioengineering of soils for ground improvement and stability: A review of nature-based technologies. In Environmental Challenges (Vol. 20). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101293

[5]. Alqawasmeh, H., Alzubi, Y., & Mahamied, A. (2023a). State-of-the-Art Review: Fiber-Reinforced Soil as a Proactive Approach for Liquefaction Mitigation and Risk Management. In Journal of Engineering (United Kingdom) (Vol. 2023). Hindawi Limited. https://doi.org/10.1155/2023/8737304

[6]. Alsayadi, H., Khaldi, N., Hebhoub, H., Rihia, C., Benhalilou, M. I., & Messaoudi, K. (2024a). Effect of Recycled Fibers on the Mechanical Properties and Durability of Sand Concrete. Medziagotyra, 30(4), 513–525. https://doi.org/10.5755/j02.ms.36236

[7]. Arabani, M., Shalchian, M. M., & Majd Rahimabadi, M. (2024). Use of wheat fiber and nanobentonite to stabilize clay subgrades. Results in Engineering, 24. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102931

[8]. Ayeldeen, M., Azzam, W., & Arab, M. G. (2022). The Use of Fiber to Improve the Characteristics of Collapsible Soil Stabilized with Cement. Geotechnical and Geological Engineering, 40(4), 1873–1885. https://doi.org/10.1007/s10706-021-01997-4

[9]. Ayininuola, G. M., & Oladotun, P. O. (2016a). Geotechnical Properties of Coconut Coir Fiber Soil Mixture. Journal of Civil Engineering Research, 6(4), 79–85. https://doi.org/10.5923/j.jce.20160604.01

[10]. Bawadi, N. F., Ahmad, N. S., Mansor, A. F., Anuar, S. A., & Rahim, M. A. (2020). Effect of natural fibers on the soil compaction characteristics. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 476(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012043

[11]. Bordoloi, S., Kashyap, V., Garg, A., Sreedeep, S., Wei, L., & Andriyas, S. (2018). Measurement of mechanical characteristics of fiber from a novel invasive weed: A comprehensive comparison with fibers from agricultural crops. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 113, 62–70. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.08.044

[12]. Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2011). Investigation on strength of fiber reinforced clay. Advanced Materials Research, 261–263, 957–963. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.261-263.957

[13]. Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2012a). Performance of fiber reinforced clayey sand composite. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 6(2), 147–152. https://doi.org/10.1007/s11709-012-0158-6

[14]. Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2012b). Synthetic polypropylene fiber application in soil. Advanced Materials Research, 550–553, 827–833. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.550-553.827

[15]. Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2013). Silty clay and fibre interaction. Advanced Materials Research, 690 693, 415–420. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.690-693.415

[16]. Cheng, H., Xingzhong, W., Cong, L., Junzhong, L., Jie, L., & Yazhi, W. (2021a). A review of research on fiber-reinforced solidified soil. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 643(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/643/1/012046

[17]. Comino, E., & Marengo, P. (2010). Root tensile strength of three shrub species: Rosa canina, Cotoneaster dammeri and Juniperus horizontalis. Soil reinforcement estimation by laboratory tests. Catena, 82(3), 227–235. https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.06.010

[18]. Consoli, N. C., Foppa, D., Festugato, Lucas, & Heineck, K. S. (2011). Key Parameters for Strength Control of Artificially Cemented Soils. https://doi.org/10.1061/ASCE1090-02412007133:2197

[19]. Consoli, N. C., Montardo, J. P., Prietto, P. D. M., & Pasa, G. S. (2002a). Engineering Behavior of Sand Reinforced with Plastic Waste. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(6), 462–472. https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2002)128:6(462)

[20]. Consoli, N. C., Prietto, P. D. M., & Ulbrich, L. A. (1998). INFLUENCE OF FIBER AND CEMENT ADDITION ON BEHAVIOR OF SANDY SOIL.

[21]. Danso, H., Martinson, D. B., Ali, M., & Williams, J. B. (2007). Physical, Mechanical and Durability Properties of Soil Building Blocks Reinforced with Natural Fibres.

[22]. Devi, D., & Jempen, B. (2016). Shear Strength Behaviour of Bamboo Fiber Reinforced Soil. International Research Journal of Engineering and Technology. www.irjet.net

[23]. Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. Journal of Business Research, 133, 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

[24]. Edita Solano López, Sara J. Castellanos Quintero, & María Magdalena López Rodríguez del Rey. (2009). 73.Bibliometry_an_eficcient_to_assess_the_postgraduat. Revista Electrónica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos, (ISSN:1727-897X), 291–294.

[25]. Ellegaard, O., & Wallin, J. A. (2015). The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? Scientometrics, 105(3), 1809–1831. https://doi.org/10.1007/s11192-015-1645-z

[26]. Ferreira, G. M. G., Cecchin, D., de Azevedo, A. R. G., Valadão, I. C. R. P., Costa, K. A., Silva, T. R., Ferreira, F., Amaral, P. I. S., Huther, C. M., Sousa, F. A., Castro, J. O., Ferraz, P. F. P., & Teixeira, M. A. (2021b). Bibliometric analysis on the use of natural fibers in

construction materials. Agronomy Research, 19(3), 1455–1466. https://doi.org/10.15159/AR.21.131

[27]. Festugato, L., Menger, E., Benezra, F., Kipper, E. A., & Consoli, N. C. (2017). Fibre-reinforced cemented soils compressive and tensile strength assessment as a function of filament length. Geotextiles and Geomembranes, 45(1), 77–82. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2016.09.001

[28]. Firoozi, A. A., Guney Olgun, C., Firoozi, A. A., & Baghini, M. S. (2017). Fundamentals of soil stabilization. International Journal of Geo-Engineering, 8(1). https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9

[29]. Freitag, D. R., & Asce, F. (1986). SOIL RANDOMLY REINFORCED WITH FIBERS.

[30]. Galvan Espinoza, R., Ramirez Quispe, A., Nazario Ticse, R., & Figueroa Lezano, A. (2025). Improvement of the geotechnical performance of soil reinforced with ichu fibers (Stipa ichu) in Arboleda II Etapa, district of Carabayllo. Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, (2025). https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1589

[31]. Ghasemi Nezhad, M., & Tabarsa, A. (2023). An Experimental Study on the Mechanical Characteristics of Natural and Synthetic Fiber-Reinforced Sandy Soil in Pavement Construction. Journal of Natural Fibers, 20(1). https://doi.org/10.1080/15440478.2023.2181266

[32]. Ghavami, K., Toledo, R. D., & Barbosac, N. P. (1999). Cement & Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres. In Cement and Concrete Composites (Vol. 21).

[33]. Gowthaman, S., Nakashima, K., & Kawasaki, S. (2018). A state-of-the-art review on soil reinforcement technology using natural plant fiber materials: Past findings, present trends and future directions. In Materials (Vol. 11, Number 4). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/ma11040553

[34]. Gray, D. H., Asce, A. M., & Ohashi, H. (n.d.). MECHANICS OF FIBER REINFORCEMENT IN SAND.

[35]. Haider, A. B., Iravanian, A., Selman, M. H., & Ekinci, A. (2023). Using Waste PET Shreds for Soil Stabilization: Efficiency and Durability Assessment. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 9(4). https://doi.org/10.1007/s40891-023-00473-8

[36]. Hasheminezhad, A., Ceylan, H., Kim, S., & Tutumluer, E. (2025). Geosynthetics for resilient geotechnics: A review of applications and innovations. In Transportation Geotechnics (Vol. 55). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2025.101676

[37]. Hejazi, S. M., Baghulizadeh, A. R., Nateghi, M., & Mardani, M. (2015). Shear modeling of polypropylene-fiber-reinforced soil composite using electrical conductivity contour technique. Journal of Industrial Textiles, 45(1), 133–151. https://doi.org/10.1177/1528083714528014

[38]. Hejazi, S. M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S. M., & Zadhoush, A. (2012d). A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers. In Construction and Building Materials (Vol. 30, pp. 100–116). https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.045

[39]. Hejazi, S. M., Sheikhzadeh, M., Abtahi, S. M., & Zadhoush, A. (2013). Shear modeling of fiber reinforced soil composite on the base of fiber pull-out test. Fibers and Polymers, 14(2), 277–284. https://doi.org/10.1007/s12221-013-0277-2

[40]. Iamchaturapatr, J., Piriyakul, K., & Petcherdchoo, A. (2022). Characteristics of sandy soil treated using EICP-based urease enzymatic acceleration method and natural hemp fibers. Case Studies in Construction Materials, 16. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00871

[41]. Iravanian, A., & Haider, A. B. (2020b). Soil Stabilization Using Waste Plastic Bottles Fibers: A Review Paper. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 614(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/614/1/012082

[42]. Jastrzębska, M. (2025). Use of Alternative Materials in Sustainable Geotechnics: State of World Knowledge and Some Examples from Poland. In Applied Sciences (Switzerland) (Vol. 15, Number 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/app15063352

[43]. Kafodya, I., & Okonta, F. (2018). Effects of natural fiber inclusions and pre-compression on the strength properties of lime-fly ash stabilised soil. Construction and Building Materials, 170, 737–746. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.194

[44]. Kahlke, R., Poth, C., Young, J. S., & Maggio, L. A. (2026a). State of the Methods for Integrating Qualitatively Oriented Critical Review Approaches with Bibliometrics: A Mixed Critical Bibliometric Approach. International Journal of Qualitative Methods, 25. https://doi.org/10.1177/16094069261420676

[45]. Kamaruddin, F. A. B., Huat, B. B. K., Anggraini, V., & Nahazanan, H. (2019). Modified natural fiber on soil stabilization with lime and alkaline activation treated Marine Clay. International Journal of GEOMATE, 16(58), 69–75. https://doi.org/10.21660/2019.58.8156

[46]. Kannan, G., & Sujatha, E. R. (2023). Effect of Nano Additive on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Soil. Journal of Natural Fibers, 20(1). https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2143980

[47]. Kara, H. O. (2025b). A Bibliometric Analysis of WOS Database Publications in the Field of Soil Improvement from 2020 to 2025. Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences, 11(1), 21–31. https://doi.org/10.55385/kastamonujes.1658529

[48]. Khalid, B., & Alshawmar, F. (2024b). Comprehensive Review of Geotechnical Engineering Properties of Recycled Polyethylene Terephthalate Fibers and Strips for Soil Stabilization. In Polymers (Vol. 16, Number 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/polym16131764

[49]. Khattak, M. J., & Alrashidi, M. (2006). Durability and mechanistic characteristics of fiber reinforced soil-cement mixtures. International Journal of Pavement Engineering, 7(1), 53–62. https://doi.org/10.1080/10298430500489207

[50]. Komurlu, E., Celik, A. G., & Dogan, H. B. (2025). An Experimental Study on the Effect of Different Geofiber types on the Liquefaction Resistance of a Silty Sand Soil. Acta Technica Jaurinensis, 18(3), 102–113. https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00764

[51]. Kumar, A., & Gupta, D. (2016). Behavior of cement-stabilized fiber-reinforced pond ash, rice husk ash-soil mixtures. Geotextiles and Geomembranes, 44(3), 466–474. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2015.07.010

[52]. Kumar, N., Kandasami, R. K., & Singh, S. (2022). Effective utilization of natural fibres (coir and jute) for sustainable low-volume rural road construction – A critical review. In

Construction and Building Materials (Vol. 347). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128606

[53]. Laborel-Préneron, A., Aubert, J. E., Magniont, C., Tribout, C., & Bertron, A. (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review. In Construction and Building Materials (Vol. 111, pp. 719–734). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.119

[54]. Lei, B., Pang, S., Sun, J., Fan, H., Xie, F., Deng, S., & Chen, S. (2025). Rheological properties and freeze-thaw durability of fiber-reinforced flowable solidified soil incorporating multi-source waste. Results in Engineering, 28. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107892

[55]. Lekha, B. M., Goutham, S., & Shankar, A. U. R. (2015). Evaluation of lateritic soil stabilized with Arecanut coir for low volume pavements. Transportation Geotechnics, 2, 20–29. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2014.09.001

[56]. Lekha, K. R. (2004). Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes - A case study. Geotextiles and Geomembranes, 22(5), 399–413. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2003.12.003

[57]. Liu, B., Zhang, Z., Huang, X., Zhang, J., Cai, Y., Liu, X., & Tang, F. (2025). Effect of Straw Characterization on the Mechanical Behavior of Compacted Straw-Reinforced Soils. Buildings, 15(9). https://doi.org/10.3390/buildings15091543

[58]. Liu, Z., Naibi, W., & Qu, J. (2025). Mechanical properties and micromechanisms of natural fiber-modified saline soil. Scientific Reports. https://doi.org/10.1038/s41598-025-32424-w

[59]. Macías-Párraga, M., Echarri, F. J. T., Alonso-Pandavenes, O., & Garzón-Roca, J. (2025). Improvement of Expansive Soils: A Review Focused on Applying Innovative and Sustainable Techniques in the Ecuadorian Coastal Soils. In Applied Sciences (Switzerland) (Vol. 15, Number 15). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/app15158184

[60]. Maher, M. H., Ho, Y. C., & Members, A. (1994). MECHANICAL PROPERTIES OF KAOLINITE/FIBER SOIL COMPOSITE.

[61]. Maliakal, T., & Thiyyakkandi, S. (2013). Influence of Randomly Distributed Coir Fibers on Shear Strength of Clay. Geotechnical and Geological Engineering, 31(2), 425–433. https://doi.org/10.1007/s10706-012-9595-1

[62]. Marandi, S. M., Prof, A., Bagheripour, M. H., Rahgozar, R., & Zare, H. (2008). Strength and Ductility of Randomly Distributed Palm Fibers Reinforced Silty-Sand Soils 1. American Journal of Applied Sciences, 5(3), 209–220.

[63]. Md Zahri, A., & Zainorabidin, A. (2019). An overview of traditional and non-traditional stabilizers for soft soil. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 527(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/527/1/012015

[64]. Medina-Martinez, C. J., Sandoval-Herazo, L. C., Zamora-Castro, S. A., Vivar-Ocampo, R., & Reyes-Gonzalez, D. (2022). Natural Fibers: An Alternative for the Reinforcement of Expansive Soils. In Sustainability (Switzerland) (Vol. 14, Number 15). MDPI. https://doi.org/10.3390/su14159275

[65]. Mishaal, F. Z., & Aldaood, A. H. (2023a). Soil Reinforcement with Synthetic Fibers and Plastic Waste Materials: A Review. In Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ) (Vol. 28, Number 2). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

[66]. Mishra, M., Maheshwari, U. K., & Saxena, N. K. (2016). Improving Strength of Soil using Fiber and Fly ash-A Review. International Research Journal of Engineering and Technology. www.irjet.net

[67]. Mo, Y. X., Pang, J. Y., & Huang, J. K. (2019). Dynamic Mechanical Properties and Fractal Characteristics of Polypropylene Fiber-Reinforced Cement Soil under Impact Loading. Advances in Materials Science and Engineering, 2019. https://doi.org/10.1155/2019/3735891

[68]. Moayed, S. A. M., Arabani, M., & Ahmadi, H. (2025). Influence of hemp fiber on the mechanical characteristics and freeze-thaw durability of LKD-nano silica-stabilized kaolin soil. Results in Engineering, 26. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105318

[69]. Nadaf, M. B., Maralapalle, V., Kadabinakatti, S., & Jagtap, S. (2025a). Enhancing geotechnical properties of Ulwe soil through waste plastic bottle fibers and nano zinc oxide stabilization. Applications in Engineering Science, 24. https://doi.org/10.1016/j.apples.2025.100266

[70]. Nguyen, T. T., & Indraratna, B. (2023). Natural Fibre for Geotechnical Applications: Concepts, Achievements and Challenges. In Sustainability (Switzerland) (Vol. 15, Number 11). MDPI. https://doi.org/10.3390/su15118603

[71]. Ninkov, A., Frank, J. R., & Maggio, L. A. (2022a). Bibliometrics: Methods for studying academic publishing. Perspectives on Medical Education, 11(3), 173–176. https://doi.org/10.1007/s40037-021-00695-4

[72]. Pachauri, S., Indu Priya, M., & Garg, A. (2019). Comparative analysis of strength characteristics of soil reinforced with coir and polypropylene fibers. In Lecture Notes in Civil Engineering (Vol. 14, pp. 355–361). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0559-7_40

[73]. Patil, L. B., Pusadkar, S. S., & Professor, A. (2019). Recent Advances in Engineering and Technology" SAMMANTRANA 19 Organized by Government College of Engineering. In Nagpur International Journal of Innovations in Engineering and Science (Vol. 4, Number 8). www.ijies.net

[74]. Rahman, S. S., Siddiqua, S., & Cherian, C. (2022a). Sustainable applications of textile waste fiber in the construction and geotechnical industries: A retrospect. In Cleaner Engineering and Technology (Vol. 6). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100420

[75]. Reza Tabakouei, A., Narani, S. S., Abbaspour, M., Aflaki, E., & Siddiqua, S. (2022). Coupled specimen and fiber dimensions influence measurement on the properties of fiber-reinforced soil. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 188. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.110556

[76]. R.N. Broadus. (1987). TOWARD A DEFINITION OF “BIBLIOMETRICS.” In Scientometrics (Vol. 12).

[77]. Rocio Hernández, I., Christian, I., & Gutierrez, C. (2015). Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?

[78]. Rowe, R. K., & AbdelRazek, A. Y. (2021). Performance of multicomponent GCLs in high salinity impoundment applications. Geotextiles and Geomembranes, 49(2), 358–368. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2020.10.007

[79]. Sakai, T., Zinchenko, A., & Nakano, M. (2025). Mechanism of ground improvement using biomass-derived polymers based on soil mechanics principles. Transportation Geotechnics, 55. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2025.101670

[80]. Sharma, V., Vinayak, H. K., & Marwaha, B. M. (2015). Enhancing compressive strength of soil using natural fibers. Construction and Building Materials, 93, 943–949. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.065

[81]. Silveira, M. R., Lodi, P. C., Correia, N. de S., Rodrigues, R. A., & Giacheti, H. L. (2020b). Effect of recycled polyethylene terephthalate strips on the mechanical properties of cement-treated lateritic sandy soil. Sustainability (Switzerland), 12(23), 1–19. https://doi.org/10.3390/su12239801

[82]. Singh, A., & Sugandhi, S. (2024). Review of Soil Stabilization Using Plastic Waste and Limestone. In International Journal of Scientific Research & Engineering Trends (Vol. 10).

[83]. Singh, H. P. (2013). Effects of Coir Fiber on CBR Value of Itnagar Soil. In Research Article International Journal of Current Engineering and Technology. http://inpressco.com/category/ijcet

[84]. Singh, H. P., & Bagra, M. (2007). IMPROVEMENT IN CBR VALUE OF SOIL REINFORCED WITH JUTE FIBER. In International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (Vol. 3297). www.ijirset.com

[85]. Sivakumar Babu, G. L., & Vasudevan, A. K. (2008a). Seepage Velocity and Piping Resistance of Coir Fiber Mixed Soils. https://doi.org/10.1061/ASCE0733-94372008134:4485

[86]. Sivakumar Babu, G. L., & Vasudevan, A. K. (2008b). Strength and Stiffness Response of Coir Fiber-Reinforced Tropical Soil. https://doi.org/10.1061/ASCE0899-1561200820:9571

[87]. Soundara, B. S. kumar, K. P. (2015). Effect of Fibers on Properties of Clay. www.ijeas.org

[88]. Suriani, M. J., Ilyas, R. A., Zuhri, M. Y. M., Khalina, A., Sultan, M. T. H., Sapuan, S. M., Ruzaidi, C. M., Wan, F. N., Zulkifli, F., Harussani, M. M., Azman, M. A., Radzi, F. S. M., & Sharma, S. (2021a). Critical review of natural fiber reinforced hybrid composites: Processing, properties, applications and cost. In Polymers (Vol. 13, Number 20). MDPI. https://doi.org/10.3390/polym13203514

[89]. Suriani, M. J., Ilyas, R. A., Zuhri, M. Y. M., Khalina, A., Sultan, M. T. H., Sapuan, S. M., Ruzaidi, C. M., Wan, F. N., Zulkifli, F., Harussani, M. M., Azman, M. A., Radzi, F. S. M., & Sharma, S. (2021b). Critical review of natural fiber reinforced hybrid composites: Processing, properties, applications and cost. In Polymers (Vol. 13, Number 20). MDPI. https://doi.org/10.3390/polym13203514

[90]. Taha, M. M. M., Feng, C. P., & Ahmed, S. H. S. (2020a). Influence of Polypropylene Fibre (PF) Reinforcement on Mechanical Properties of Clay Soil. Advances in Polymer Technology, 2020. https://doi.org/10.1155/2020/9512839

[91]. Taha, M. M. M., Feng, C. P., & Ahmed, S. H. S. (2020b). Influence of Polypropylene Fibre (PF) Reinforcement on Mechanical Properties of Clay Soil. Advances in Polymer Technology, 2020. https://doi.org/10.1155/2020/9512839

[92]. Ta'negonbadi, B., Noorzad, R., & Shakery, P. (2021b). Engineering properties of sand reinforced with plastic waste. Scientia Iranica, 28(3 B), 1212–1222. https://doi.org/10.24200/sci.2020.55886.4448

[93]. Tang, C. S., Shi, B., & Zhao, L. Z. (2010). Interfacial shear strength of fiber reinforced soil. Geotextiles and Geomembranes, 28(1), 54–62. https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2009.10.001

[94]. Tiwari, N., Satyam, N., & Puppala, A. J. (2021b). Strength and durability assessment of expansive soil stabilized with recycled ash and natural fibers. Transportation Geotechnics, 29. https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2021.100556

[95]. Tran, K. Q., Satomi, T., & Takahashi, H. (2018). Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers. Construction and Building Materials, 178, 204–210. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.104

[96]. Tran, K. Q., Satomi, T., & Takahashi, H. (2019). Tensile behaviors of natural fiber and cement reinforced soil subjected to direct tensile test. Journal of Building Engineering, 24. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100748

[97]. van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010a). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 84(2), 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

[98]. Wang, H., Zhang, W., Zhang, Y., & Xu, J. (2022c). A bibliometric review on stability and reinforcement of special soil subgrade based on CiteSpace. In Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition) (Vol. 9, Number 2, pp. 223–243). Chang'an University. https://doi.org/10.1016/j.jtte.2021.07.005

[99]. Yadav, S. K., & Bag, R. (2023a). Effect of Bamboo biochar on strength and water retention properties of low plastic clay and silty sand. Scientific Reports, 13(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-33466-8

[100]. Yang, B., & Jin, L. (2024). Fractal Characteristics of Natural Fiber-Reinforced Soil in Arid Climate Due to Cracking. Fractal and Fractional, 8(4). https://doi.org/10.3390/fractalfract8040209

[101]. Yang, H., Li, P., Yang, E., Jiang, X., & Chen, J. (2023). The strength law of coir fiber-reinforced soil is based on modified Duncan-Chang model. Frontiers in Earth Science, 10. https://doi.org/10.3389/feart.2022.1078624

[102]. Yazici, M. F., & Keskín, N. (2021). Zeminlerin Doğal ve Sentetik Lifler ile Güçlendirilmesi Üzerine Bir Derleme Çalışması. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14(2), 631–663. https://doi.org/10.18185/erzifbed.874339

[103]. Yetimoglu, T., & Salbas, O. (2003a). A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers. Geotextiles and Geomembranes, 21(2), 103–110. https://doi.org/10.1016/S0266-1144(03)00003-7

[104]. Yixian, W., Panpan, G., Shengbiao, S., Haiping, Y., & Binxiang, Y. (2016). Study on Strength Influence Mechanism of Fiber-Reinforced Expansive Soil Using Jute. Geotechnical and Geological Engineering, 34(4), 1079–1088. https://doi.org/10.1007/s10706-016-0028-4

[105]. Yu, X., Wu, X., Zhu, P., Liu, C., Qiu, C., & Cai, Z. (2025a). Mechanism of Strength Degradation of Fiber-Reinforced Soil Under Freeze–Thaw Conditions. Buildings, 15(6). https://doi.org/10.3390/buildings15060842

[106]. Zhang, J., Deng, A., & Jaksa, M. (2021a). Enhancing mechanical behavior of micaceous soil with jute fibers and lime additives. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 13(5), 1093–1100. https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.04.008

[107]. Zhang, Y., Wang, Y., Sheng, Q. Z., Yao, L., Chen, H., Wang, K., Mahmood, A., Zhang, W. E., Zaib, M., Sagar, S., & Zhao, R. (2025b). Deep learning meets bibliometrics: A survey of citation function classification. Journal of Informetrics, 19(1). https://doi.org/10.1016/j.joi.2024.101608

[108]. Zhou, Z., Hu, G., Zhu, Q., Yao, C., & Wu, J. (2025). The synergistic effects of recycled polyethylene terephthalate fiber and fly ash on the ductility of one-part geopolymer stabilized soft soil. Case Studies in Construction Materials, 22. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04338

6.2. Anexos

Anexo A. Resumen de recopilación de datos

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
1	Sustainable applications of textile waste fiber in the construction and geotechnical industries: A retrospect	Saadman Sakib Rahman, Sumi Siddiqua y Chinchu Cherian	ScienceDirect	2022	Revisión	Cleaner Engineering and Technology	Canadá	The University of British Columbia Okanagan	118	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
2	Sustainable Stabilization of Soft Clay Using Rice Straw Fibers: Mechanical and Consolidation Behavior	Mohammed A. Albadrani	Web of Science	2025	Artículo	Results in Engineering	Arabia Saudita	Qassim University	0	Naturales,	Arcilla - C,	Subrasantes, Estabilización.
3	Enhancing mechanical behavior of micaceous soil with jute fibers and lime additives	J. Zhang, A. Deng y M. Jaksa	ScienceDirect	2021	Artículo	Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering	Australia	University of Adelaide	49	Naturales,	Limo - M, Arena - S,	Estabilización.
4	Enhancing geotechnical properties of Ulwe soil through waste plastic bottle fibers and nano zinc oxide stabilization	Maheboobsab B. Nadaf, Vedprakash Maralapalle, Sharanappagouda Kadabinakatti y Seema Jagtap	ScienceDirect	2025	Artículo	Applications in Engineering Science	India	Thakur College of Engineering and Technology, Mumbai, India	0	Recicladas,	Arcilla - C,	Subrasantes, Estabilización.
5	Comprehensive Review of Geotechnical Engineering Properties of Recycled Polyethylene Terephthalate Fibers and Strips for Soil Stabilization	Bisma Khalid y Fahad Alshawmar	ScienceDirect	2024	Revisión	Polymers	Pakistán y Arabia Saudita	Department of Civil Engineering, College of Engineering, Qassim University, Arabia Saudita	19	Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
6	Soil Reinforcement with Synthetic Fibers and Plastic Waste Materials: A Review	Farah Z. Mishaal y Abdulrahman H. Aldaood	ISSN	2023	Revisión	Revista científica: Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)	Iraq	Facultad de Ingeniería, Universidad de Mosul, Iraq	5	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Pavimentos, Estabilización.
7	Using Waste PET Shreds for Soil Stabilization Efficiency and Durability Assessment	Ahmed Basil Haider, Anoosheh Iravanian, Mudhafer Hameed Selman y Abdullah Ekinci	Springer	2023	Nota Técnica	International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering .	Iraq	Near East University	19	Recicladas,	Limo - M,	Subrasantes, Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
8	Bibliometric analysis on the use of natural fibers in construction materials	G.M.G. Ferreira, D. Cecchin, A.R.G. de Azevedo, I.C.R.P. Valadão, K.A. Costa, T.R. Silva, F. Ferreira, P.I.S. Amaral, C.M. Huther, F.A. Sousa, J.O. Castro, P.F.P. Ferraz y M.A. Teixeira	Web of Science	2021	Revisión	Agronomy Research	Brasil	Federal Fluminense University (UFF)	6	Naturales, Sintéticas,	Arcilla - C,	Pavimentos, Estabilización.
9	The strength law of coir fiber-reinforced soil based on modified Duncan-Chang model	Yang H, Li P, Yang E, Jiang X y Chen J	ScienceDirect	2023	Artículo	Frontiers in Earth Science	China	Universidad de Hunan	3	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M,	Taludes, Estabilización.
10	State-of-the-Art Review Fiber-Reinforced Soil as a Proactive Approach for Liquefaction Mitigation and Risk Management	Hasan Alqawasmeh, Yazan Alzubi y Ali Mahamied	ScienceDirect	2023	Revisión	Journal of Engineering	Jordania	Al-Balqa Applied University	1	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Estabilización.
11	A State-of-the-Art Review on Soil Reinforcement Technology Using Natural Plant Fiber Materials: Past Findings, Present Trends and Future Directions	Sivakumar Gowthaman, Kazunori Nakashima y Satoru Kawasaki	ScienceDirect	2018	Revisión	Materials	Japón	Hokkaido University, Sapporo, Japón	196	Naturales, Sintéticas,	Arcilla - C, Arena - S, Orgánico - PT,	Subrasantes, Taludes, Pavimentos, Estabilización.
12	A review of research on fiber-reinforced solidified soil	Hu Cheng, Weng Xingzhong, Liu Cong, Liu Junzhong, Liu Jie, Wei Yazhi	ScienceDirect	2009	Revisión	IOP Publishing	China	South China University of Technology y la Zhejiang University	0	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Limo - M, Orgánico - PT,	Estabilización.
13	Effect of Bamboo biochar on strength and water retention properties of low plastic clay and silty sand	S.K. Yadav y R. Bag	ScienceDirect	2023	Artículo	Scientific Reports	India	Indian Institute of Technology Patna	36	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Estabilización.
14	A Review of Soil Reinforcement Technology by Using Natural and Synthetic Fibers	Mehmet Fatih Yazici y Sıddıka Nilay Keskin	Web of Science	2021	Artículo	Erzincan University Journal of Science and Technology	Turquía	Suleyman Demirel University	10	Naturales, Sintéticas,	Limo - M, Arena - S, Grava - G, Orgánico - PT,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
15	A Bibliometric Analysis of WOS Database Publications in the Field of Soil Improvement from 2020 to 2025	Halil Oğuzhan Kara	Web of Science	2025	Artículo	Kastamonu University Journal of Engineering and Sciences (KUJES)	Turquía	Kastamonu University	1	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M,	Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
16	Natural Fibre for Geotechnical Applications: Concepts, Achievements and Challenges	Thanh T. Nguyen y Buddhima Indraratna	ScienceDirect	2023	Revisión	Sustainability	Australia	University of Technology Sydney (UTS)	32	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
17	Soil Stabilization Using Waste Plastic Bottles Fibers: A Review Paper	Anoosheh Iravanian y Ahmed Basil Haider	Web of Science	2020	Revisión	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	Iraq	Aalto University, Finlandia	17	Recicladas,	Arcilla - C, Arena - S,	Estabilización.
18	Silty Clay and Fibre Interaction	Dr. Amin Chegenizadeh y el Prof. Hamid Nikraz	ScienceDirect	2012	Artículo	Advanced Materials Research	Australia	Curtin University of Technology	1	Sintéticas,	Arcilla - C,	Subrasantes, Taludes, Pavimentos, Estabilización.
19	Mechanical properties and micromechanisms of natural fiber-modified saline soil	Zhixin Liu, Wusiman Naibi & Jili Qu	Springer	2024	Artículo	Scientific Reports	China	University of Shanghai for Science and Technology	0	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Estabilización.
20	A bibliometric review on stability and reinforcement of special soil subgrade based on CiteSpace	Haiying Wang, Wei Zhang, Yingzhi Zhang y Jian Xu	Web of Science	2022	Revisión	Journal of Traffic and Transportation Engineering	China	Chang'an University, Xi'an, China	38	Sintéticas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Rellenos, Estabilización.
21	Review of Soil Stabilization Using Plastic Waste and Limestone	Avneesh Singh y Dr. Sunil Sugandhi	ISSN	2024	Revisión	International Journal of Scientific Research & Engineering Trends (IJSRET)	India	Jawaharlal Institute of Technology	17	Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M,	Pavimentos, Estabilización.
22	A Review of Soil Reinforcement using Different Natural Fibers	Apurva AK, N Sankar y S Chandrakaran	Web of Science	2019	Revisión	Visakhapatnam	India	Andhra University	25	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S, Orgánico - PT,	Subrasantes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
23	Synthetic Polypropylene Fiber Application in Soil	Amin Chegenizadeh y Hamid Nikraz	ScienceDirect	2012	Artículo	Advanced Materials Research	Australia	Curtin University of Technology	0	Sintéticas,	Arcilla - C,	Subrasantes, Pavimentos,
24	Geotechnical Properties of Coconut Coir Fiber Soil Mixture	Gbenga Matthew Ayininuola y Peter Oluseyi Oladotun	ScienceDirect	2016	Artículo	Journal of Civil Engineering	Nigeria	Universidad de Ibadan	14	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Taludes, Pavimentos, Estabilización.
25	Effect of Straw Characterization on the Mechanical Behavior of Compacted Straw-Reinforced Soils	B. Liu, Z. Zhang, X. Huang, J. Zhang, Y. Cai, X. Liu y F. Tang	Web of Science	2025	Artículo	Buildings	China	Hunan, China	1	Naturales,	Arcilla - C,	Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
26	Mechanical Properties of Kaolinite/Fiber Soil Composite	M. H. Maher y Y. C. Ho	ASCE	1994	Artículo	Journal of Geotechnical Engineering	EEUU	Rutgers University	483	Naturales, Sintéticas,	Arcilla - C,	Rellenos, Estabilización.
27	Durability and mechanistic characteristics of fiber reinforced soil–cement mixtures	Mohammad J. Khattak y Mohammad Alrashidi	Taylor & Francis	2006	Artículo	International Journal of Pavement Engineering	EEUU	Universidad de Luisiana	157	Naturales, Sintéticas,	Arcilla - C, Limo - M,	Subrasantes, Pavimentos,
28	Mechanism of Strength Degradation of Fiber-Reinforced Soil Under Freeze–Thaw Conditions	Xiaojuan Yu, Xingyu Wu, Peng Zhu, Chao Liu, Chengchun Qiu and Zhongbing Cai	ScienceDirect	2023	Artículo	Buildings	China	Yancheng Institute of Technology	3	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S, Grava - G,	
29	Dynamic Mechanical Properties and Fractal Characteristics of Polypropylene Fiber-Reinforced Cement Soil under Impact Loading	Yi-xin Mo, Jian-yong Pang y Jin-kun Huang	ScienceDirect	2019	Artículo	Advances in Materials, Science and Engineering	China	Anhui University of Science and Technology	15	Sintéticas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Pavimentos, Estabilización.
30	Effect of Polyethylene Fibers on the Performance of Soft Soils	Yao Chuanqin, Zhu Qiang, Wu Jun, Zhou Zihan y Hu Guo	ScienceDirect	2020	Artículo	Elsevier	China	National Natural Science Foundation of China	62	Sintéticas,	Arcilla - C,	Estabilización.
31	Engineering properties of sand reinforced with plastic waste	B. Ta'negonbadi, R. Noorzad y P. Shakery	ScienceDirect	2021	Artículo	Scientia Iranica	Irán	Babol Noshirvani University of Technology	5	Sintéticas, Recicladas,	Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
32	Effect of recycled polyethylene terephthalate strips on the mechanical properties of a cement-treated lateritic sandy soil	M. R. Silveira, P. C. Lodi, N. d. S. Correia, R. A. Rodrigues y H. L. Giacheti	ScienceDirect	2020	Artículo	Sustainability	Brasil	Federal University of Sao Carlos	10	Recicladas,	Arena - S,	Pavimentos, Estabilización.
33	Effect of Recycled Fibers on the Mechanical Properties and Durability of Sand Concrete	Hamid Alsayadi, Nacera Khaldi, Houria Hebhoub, Chaher Rihia, Mohammed Ichem Benhalilou y Karima Messaoudi	ScienceDirect	2024	Artículo	Materials Science	Argelia	Universidad 20 de agosto de 1955	3	Recicladas,	Arena - S,	Pavimentos, Estabilización.
34	Natural Fiber–Reinforced Soil: A Critical Review of Mechanical Behaviour	Suriani Mat Jusoh, R.A. Ilyas, M.Y.M. Zuhri	ScienceDirect	2020	Artículo	Polymers	Malasia	Universiti Malaysia Terengganu	16	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
35	Rheological properties and freeze-thaw durability of fiber-reinforced flowable solidified soil incorporating multi-source waste	Baofeng Lei, Shuai Pang, Jucong Sun, Henghui Fan, Feihan Xie, Shuo Deng y Shunfu Chen	ScienceDirect	2025	Artículo	Results in Engineering	China	Northwest A&F University	3	Sintéticas,	Arcilla - C, Limo - M,	Rellenos, Estabilización.
36	Modified natural fiber on soil stabilization with lime and alkaline activation treated marine clay	Fatin Amirah binti Kamaruddin, Bujang B.K Huat, Vivi Anggraini Y Haslinda Nahazanan	ScienceDirect	2019	Artículo	International Journal of GEOMATE	Malasia	Faculty of Civil Engineering, University Putra Malaysia	20	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M,	Estabilización.
37	Bioengineering of soils for ground improvement and stability: A review of nature-based technologies	Jorge Albuja-Sánchez, Geovanny Solano-Vinueza y Andreina Damián-Chalán	ScienceDirect	2025	Revisión	Environmental Challenges	Ecuador	Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE)	2	Naturales, Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Taludes, Rellenos, Estabilización.
38	An Experimental Study on the Effect of Different Geofiber types on the Liquefaction Resistance of a Silty Sand Soil	Eren Komurlu, Atila Gurhan Celik y Haci Bayram Dogan	ISSN	2025	Artículo	Acta Technica Jaurinensis	Turquía	Department of Civil Engineering, Giresun University	0	Sintéticas, Recicladas,	Arena - S,	Estabilización.
39	The Effect of Different Fiber Reinforcement on Bearing Capacity under Strip Foundation on the Sand Soil: An Experimental Investigation	Bilge Aksu Alcan y Semet Çelik	ScienceDirect	2023	Artículo	Applied Sciences	Turquía	Department of Civil Engineering, Kafkas University	6	Naturales, Sintéticas,	Arena - S,	Estabilización.
40	Geosynthetics for resilient geotechnics: A review of applications and innovations	Araz Hasheminezhad, Halil Ceylan, Sunghwan Kim y Erol Tutumluer	ScienceDirect	2025	Revisión	Transportation Geotechnics	EEUU	Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, Iowa State University	2	Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
41	Mechanism of ground improvement using biomass-derived polymers based on soil mechanics principles	Takayuki Sakai, Anatoly Zinchenko y Masaki Nakano	ScienceDirect	2025	Artículo	Transportation Geotechnics	Japón	Department of Civil Engineering, Nagoya University	1	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Rellenos, Estabilización.
42	Improvement of Expansive Soils: A Review Focused on Applying Innovative and Sustainable Techniques in the Ecuadorian Coastal Soils	Mariela Macías-Párraga, Francisco J. Torrijo Echarri, Olegario Alonso-Pandavenes y Julio Garzón-Roca	ScienceDirect	2025	Revisión	Applied Sciences	Ecuador	Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas (FICA), Universidad Central del Ecuador	6	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M,	Subrasantes, Rellenos, Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
43	Improvement of the geotechnical performance of soil reinforced with ichu fibers (Stipa ichu) in Arboleda II Etapa, district of Carabayllo	Ricardo Galvan Espinoza, Adriana Ramirez Quispe, Russell Nazario Ticse y Aristoteles Figueroa Lezano	ScienceDirect	2025	Conferencia	23rd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology	Perú	Universidad Tecnológica del Perú (UTP)	0	Naturales,	Arena - S,	Taludes, Estabilización.
44	Influence of hemp fiber on the mechanical and freeze-thaw durability properties of kaolin clay stabilized with lime kiln dust and nano-silica	Seyed Amir Mir Moayed, Mahyar Arabani y Hadi Ahmadi	ScienceDirect	2025	Artículo	Results in Engineering	Irán	University of Guilan	15	Naturales,	Arcilla - C,	Subrasantes, Estabilización.
45	Use of wheat fiber and nanobentonite to stabilize clay subgrades	Mahyar Arabani, Mohammad Mahdi Shalchian y Maryam Majd Rahimabadi	ScienceDirect	2024	Artículo	Results in Engineering	Irán	Department of Civil Engineering, University of Guilan	38	Naturales,	Arcilla - C,	Subrasantes, Pavimentos, Estabilización.
46	Use of Alternative Materials in Sustainable Geotechnics: State of World Knowledge and Some Examples from Poland	Małgorzata Jastrzębska	ScienceDirect	2025	Revisión	Applied Sciences	Polonia	Faculty of Civil Engineering, Silesian University of Technology	5	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C, Arena - S, Grava - G,	Subrasantes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
47	A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers	Sayyed Mahdi Hejazi, Mohammad Sheikhzadeh, Sayyed Mahdi Abtahi y Ali Zadhoush	ScienceDirect	2012	Revisión	Construction and Building Materials	Irán	Department of Textile Engineering, Isfahan University of Technology	912	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
48	Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres	Khosrow Ghavami, Romildo D. Toledo Filho y Normando P. Barbosa	ScienceDirect	1999	Artículo	Cement and Concrete Composites	Brasil	Civil Engineering Department, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro (PUC-Rio)	450	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M,	Estabilización.
49	Shear modeling of polypropylene-fiber-reinforced soil composite using electrical conductivity contour technique	Sayyed Mahdi Hejazi, Ali Reza Baghulizadeh, Masoud Nateghi y Mohammad Mardani	ScienceDirect	2014	Artículo	Journal of Industrial Textiles	Irán	Universidad de Tecnología de Isfahán	6	Sintéticas,	Arena - S,	Taludes, Rellenos, Pavimentos,
50	A study on shear strength of sands reinforced with randomly distributed discrete fibers	Temel Yetimoglu y Omer Salbas	ScienceDirect	2003	Nota Técnica	Geotextiles and Geomembranes	Turquía	N/A	460	Sintéticas,	Arena - S,	Rellenos, Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
51	Fibre-reinforced cemented soils compressive and tensile strength assessment as a function of filament length	Festugato, Estéfano Menger, Fernanda Benezra, Eduardo André Kipper y Nilo Cesar Consoli	ScienceDirect	2017	Nota Técnica	Geotextiles and Geomembranes	Brasil	Universidad Federal de Rio Grande do Sul	156	Sintéticas,	Arcilla - C, Arena - S,	Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
52	Influence of Fiber and Cement Addition on Behavior of Sandy Soil	Nilo C. Consoli, Pedro D. M. Prietto y Luciane A. Ulbrich	ASCE	1998	Nota Técnica	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,	Brasil	Universidad Federal de Rio Grande do Sul	443	Sintéticas,	Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Pavimentos, Estabilización.
53	Interfacial shear strength of fiber reinforced soil	Chao-Sheng Tang, Bin Shi y Li-Zheng Zhao	ScienceDirect	2010	Artículo	Geotextiles and Geomembranes	China	Escuela de Ciencias de la Tierra e Ingeniería de la Universidad de Nanjing	399	Sintéticas,	Arcilla - C,	Taludes, Estabilización.
54	Mechanics of Fiber Reinforcement in Sand	Donald H. Gray y Harukazu Ohashi	ASCE	1983	Artículo	Journal of Geotechnical Engineering	EEUU, Japón	Universidad de Michigan	837	Naturales, Sintéticas,	Arena - S,	Taludes, Rellenos, Estabilización.
55	Soil Randomly Reinforced with Fibers	Dean R. Freitag	ASCE	1986	Artículo	Journal of Geotechnical Engineering	EEUU	Tennessee Tech University	224	Sintéticas,	Arcilla - C,	Estabilización.
56	Fundamentals of soil stabilization	Ali Akbar Firoozi, C. Guney Olgun, Ali Asghar Firoozi y Mojtaba Shojaei Baghini	Springer	2017	Artículo	Geo-Engineering	Malasia, EEUU	Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM)	561	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arcilla - C,	Subrasantes, Pavimentos, Estabilización.
57	Influence of Polypropylene Fibre (PF) Reinforcement on Mechanical Properties of Clay Soil	Mazahir M. M. Taha, Cheng Pei Feng y Sara H. S. Ahmed	ASCE	2020	Artículo	Advances in Polymer Technology	China	Departamento de Ingeniería Civil de la Northeast Forestry University	37	Sintéticas,	Arcilla - C,	Pavimentos, Estabilización.
58	Behavior of cement-stabilized fiber-reinforced pond ash, rice husk ashesoil mixtures	Arvind Kumar y Deepak Gupta	ScienceDirect	2015	Nota Técnica	Geotextiles and Geomembranes	India	NIT Jalandhar (National Institute of Technology Jalandhar)	242	Sintéticas,	Arcilla - C,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Pavimentos,
59	Engineering Behavior of a Sand Reinforced with Plastic Waste	Nilo Cesar Consoli, Júlio Portella Montardo, Pedro Domingos Marques Prietto y Giovana Savitri Pasa	ASCE	2002	Artículo	Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering	Brasil	Universidad Federal de Rio Grande do Sul	413	Recicladas,	Arena - S,	Rellenos, Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
60	The Use of Fiber to Improve the Characteristics of Collapsible Soil Stabilized with Cement	Mohamed Ayeldeen, Waseim Azzam y Mohamed G. Arab	Springer	2022	Artículo	Geotechnical and Geological Engineering	Egipto	Bachy Soletanche Ltd.	34	Sintéticas,	Arcilla - C,	Estabilización.
61	Enhancing compressive strength of soil using natural fibers	Vandna Sharma, Hemant K. Vinayak y Bhanu M. Marwaha	ScienceDirect	2015	Experimental	Construction and Building Materials	India	NIT Hamirpur	166	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Estabilización.
62	Physical, Mechanical and Durability Properties of Soil Building Blocks Reinforced with Natural Fibres	Humphrey Danso, D. Brett Martinson, Muhammad Ali y John B. Williams	ScienceDirect	2015	Experimental	Construction and Building Materials	Ghana	School of Civil Engineering and Surveying, University of Portsmouth,	268	Naturales,	Arcilla - C,	Estabilización.
63	Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers	Khiem Quang Tran, Tomoaki Satomi y Hiroshi Takahashi	ScienceDirect	2018	Experimental	Construction and Building Materials	Japón	Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University	149	Naturales,	Arcilla - C,	Estabilización.
64	Effect of fibers on properties of clay	Soundara, B. y Senthil kumar, K. P.	ISSN	2015	Experimental	International Journal of Engineering and Applied Sciences	India	Bannari Amman Institute of Technology	23	Naturales,	Arcilla - C,	Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
65	Effect of natural fibers on the soil compaction characteristics	N F Bawadi, N S Ahmad, A F Mansor, S A Anuar y M A Rahim	IOP Publishing	2020	Conferencia	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	Malasia	School of Environmental Engineering, Universiti Malaysia Perlis	12	Naturales,	Arcilla - C,	Estabilización.
66	Study on the efficacy of harmful weed species Eicchornia crassipes for soil reinforcement	S. Bordoloi, S.K. Yamsani, A. Garg, S. Sreedeep y S. Borah	ScienceDirect	2015	Experimental	Ecological Engineering	India	Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Guwahati	39	Naturales,	Limo - M, Arena - S,	Estabilización.
67	Investigation on Strength of Fiber Reinforced Clay	Amin Chegenizadeh y Prof. Hamid Nikraz	Taylor & Francis	2011	Conferencia	Advanced Materials Research	Australia	Department of Civil Engineering, Curtin University of Technology	51	Naturales,	Arcilla - C,	Pavimentos, Estabilización.
68	Effect of Coir Fiber on the Stress–Strain Behavior of a Reconstituted Fine-Grained Soil	S. M. Dasaka y K. S. Sumesh	Taylor & Francis	2011	Experimental	Journal of Natural Fibers	India	Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Bombay	59	Naturales,	Arcilla - C,	Subrasantes, Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
69	A Study on the Mechanical Behavior of a Fiber-Clay Composite with Natural Fiber	A. R. Estabragh, A. T. Bordbar y A. A. Javadi	Springer	2012	Experimental	Geotechnical and Geological Engineering	Irán	Universidad de Teherán	54	Naturales,	Arcilla - C,	Estabilización.
70	Shear Modeling of Fiber Reinforced Soil Composite on the Base of Fiber Pull-out Test	Sayyed Mahdi Hejazi, Mohammad Sheikhzadeh, Sayyed Mahdi Abtahi y Ali Zadhoush	Springer	2013	Artículo	Fibers and Polymers	Irán	Isfahan University of Technology	23	Naturales,	Limo - M, Arena - S,	Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
71	Evaluation of lateritic soil stabilized with Arecanut coir for low volume pavements	B.M. Lekha, S. Goutham y A.U.R. Shankar	ScienceDirect	2015	Experimental	Transportation Geotechnics	India	Department of Civil Engineering, National Institute of Technology Karnataka	89	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Subrasantes, Pavimentos, Estabilización.
72	Performance of fiber reinforced clayey sand composite	Amin Chegenizadeh y Hamid Nikraz	Springer	2012	Experimental	Frontiers of Structural and Civil Engineering	Australia	Curtin University	9	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Estabilización.
73	Measurement of mechanical characteristics of fiber from a novel invasive weed: A comprehensive comparison with fibers from agricultural crops	Sanandam Bordoloi, Vishal Kashyap, Ankit Garg, S. S. Sreedeep, Lili Wei y Sanyogita Andriyas	ScienceDirect	2018	Experimental	Measurement	India	Indian Institute of Technology Guwahati	50	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M,	
74	Influence of Randomly Distributed Coir Fibers on Shear Strength of Clay	Treasa Maliakal y Sudheesh Thiyyakkandi	Springer	2013	Experimental	Geotechnical and Geological Engineering	India	National Institute of Technology, Calicut	87	Naturales,	Arcilla - C, Orgánico - PT,	Subrasantes, Rellenos, Estabilización.
75	Comparative Analysis of Strength Characteristics of Soil Reinforced with Coir and Polypropylene Fibers	Sajal Pachauri, M. Indu Priya y Ankit Garg	Springer	2019	Artículo	Lecture Notes in Civil Engineering	India	Indian Institute of Technology, Guwahati	6	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Subrasantes, Estabilización.
76	Effects of Coir Fiber on CBR Value of Itanagar Soil	H. P. Singh	ScienceDirect	2013	Experimental	International Journal of Current Engineering and Technology	India	Northeastern Regional Institute of Science and Technology (NERIST)	7	Naturales,	Limo - M, Arena - S,	Pavimentos, Estabilización.
77	An overview of traditional and non-traditional stabilizers for soft soil	Azura Md Zahri y Adnan Zainorabidin	IOP Publishing	2019	Revisión	Materials Science and Engineering	Malasia	Politeknik Kuching Sarawak	51	Naturales,	Arcilla - C, Orgánico - PT,	Estabilización.
78	Seepage Velocity and Piping Resistance of Coir Fiber-Mixed Soils	G. L. Sivakumar Babu y A. K. Vasudevan	ASCE	2008	Experimental	Journal of Irrigation and Drainage Engineering	India	Indian Institute of Science	87	Naturales,	Arena - S,	Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
79	Strength and Stiffness Response of Coir Fiber-Reinforced Tropical Soil	G. L. Sivakumar Babu y A. K. Vasudevan	ASCE	2008	Experimental	Journal of Materials in Civil Engineering	India	Indian Institute of Science	287	Naturales,	Arcilla - C,	Rellenos, Estabilización.
80	Tensile behaviors of natural fiber and cement reinforced soil subjected to direct tensile test	Khiem Quang Tran, Tomoaki Satomi y Hiroshi Takahashi	ScienceDirect	2019	Experimental	Journal of Building Engineering	Japón	Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University	101	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M,	Estabilización.
81	Study on Strength Influence Mechanism of Fiber-Reinforced Expansive Soil Using Jute	Wang Yixian, Guo Panpan, Shan Shengbiao, Yuan Haiping y Yuan Binxiang	Springer	2016	Experimental	Geotechnical and Geological Engineering	China	Hefei University of Technology	129	Naturales,	Arcilla - C,	Rellenos, Estabilización.
82	Implementación de fibras naturales en la estabilidad de taludes	Ingrid Rocio Hernández, Diana Perdomo y Juan David Rincón	ScienceDirect	2015	Conferencia	13th LACCEI Annual International Conference	Colombia	Universidad la Gran Colombia		Naturales,	Arcilla - C, Limo - M,	Taludes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
83	Effective utilization of natural fibres (coir and jute) for sustainable low-volume rural road construction – A critical review	Nitish Kumar, Ramesh Kannan Kandasami y Surender Singh	ScienceDirect	2022	Revisión	Construction and Building Materials	India	Indian Institute of Technology Madras	43	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Pavimentos,
84	Effect of Nano Additive on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Soil	Govindarajan Kannan y Evangelin Ramani Sujatha	Taylor & Francis	2023	Artículo	Journal of Natural Fibers	India	SASTRA Deemed University	30	Naturales,	Orgánico - PT,	Rellenos, Estabilización.
85	Effect of Bamboo biochar on strength and water retention properties of low plastic clay and silty sand	Shailesh Kumar Yadav y Ramakrishna Bag	Springer	2023	Artículo	Scientific Reports	India	Indian Institute of Technology Patna	36	Naturales,	Arcilla - C, Arena - S,	Rellenos, Estabilización.
86	Natural Fibers: An Alternative for the Reinforcement of Expansive Soils	Carlos J. Medina-Martinez, Luis Carlos Sandoval-Herazo, Sergio A. Zamora-Castro, Rodrigo Vivar-Ocampo y David Reyes-Gonzalez	MDPI	2022	Revisión	Sustainability	México y Colombia	Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Sucre (Sincelejo, Colombia) y a la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México (Instituto Tecnológico Superior de Misantla)	50	Naturales,	Arcilla - C, Orgánico - PT,	Subrasantes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
87	Improvement in CBR value of soil reinforced with jute fiber	H. P. Singh y M. Bagra	ScienceDirect	2013	Artículo	International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology	India	Northeastern Regional Institute of Science and Technology (NERIST)	75	Naturales,	Limo - M,	Subrasantes, Pavimentos, Estabilización.
88	Fractal Characteristics of Natural Fiber-Reinforced Soil in Arid Climate Due to Cracking	Binbin Yang y Lichuang Jin	MDPI	2024	Artículo	Fractal and Fractional	China	School of Civil Engineering, Xuchang University	2	Naturales,	Arcilla - C,	Estabilización.
89	An Experimental Study on the Mechanical Characteristics of Natural and Synthetic Fiber-Reinforced Sandy Soil in Pavement Construction	Mahdi Ghasemi Nezhad y Alireza Tabarsa	Taylor & Francis	2023	Artículo	Journal of Natural Fibers	Irán	Golestan University	7	Naturales, Sintéticas,	Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Pavimentos, Estabilización.
90	Coupled specimen and fiber dimensions influence measurement on the properties of fiber-reinforced soil	A. Reza Tabakouei, S.S. Narani, M. Abbaspour, E. Aflaki y S. Siddiqua	ScienceDirect	2022	Artículo	Measurement	Irán	Amirkabir University of Technology	29	Naturales, Sintéticas, Recicladas,	Arena - S,	Rellenos, Pavimentos, Estabilización.
91	Effects of natural fiber inclusions and pre-compression on the strength properties of lime-fly ash stabilised soil	Innocent Kafodya y F. Okonta	ScienceDirect	2018	Artículo	Construction and Building Materials	Sudáfrica	University of Johannesburg	64	Naturales,	Arcilla - C,	Subrasantes, Estabilización.
92	Strength and Ductility of Randomly Distributed Palm Fibers Reinforced Silty-Sand Soils	S.M. Marandi, M.H. Bagheripour, R. Rahgozar y H. Zare	ScienceDirect	2008	Artículo	American Journal of Applied Sciences	Irán	University of Kerman	165	Naturales,	Arena - S,	Estabilización.
93	Strength and durability assessment of expansive soil stabilized with recycled ash and natural fibers	Nitin Tiwari, Neelima Satyam y Anand J. Puppala	ScienceDirect	2021	Artículo	Transportation Geotechnics	India y EEUU	Indian Institute of Technology Indore	141	Naturales,	Arcilla - C,	Subrasantes, Pavimentos, Estabilización.
94	Shear Strength Behaviour of Bamboo Fiber Reinforced Soil	Dipika Devi y Boken Jempen	ScienceDirect	2016	Artículo	International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)	India	Northeastern Regional Institute of Science and Technology (NERIST)	13	Naturales,	Arena - S,	Subrasantes, Estabilización.
95	Characteristics of sandy soil treated using EICP-based urease enzymatic acceleration method and natural hemp fibers	Janjit Iamchaturapatr, Keeratikan Piriyakul y Aruz Petcherdchoo	ScienceDirect	2022	Artículo	Case Studies in Construction Materials	Tailandia	King Mongkut's University of Technology North Bangkok	49	Naturales,	Arena - S,	Subrasantes, Taludes, Rellenos, Estabilización.

ID	Título Documento	Autores	Base de datos	Año	Tipo de documento	Revista	País	Institución	Nº citas	Tipo de Fibras Estudiadas	Tipo de Suelo - SUCS	Aplicaciones Geotécnicas
96	Field instrumentation and monitoring of soil erosion in coir geotextile stabilised slopes—A case study	K.R. Lekha	ScienceDirect	2004	Artículo	Geotextiles and Geomembranes	India	Centre for Water Resources Development and Management	182	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Taludes, Estabilización.
97	Root tensile strength of three shrub species: Rosa canina, Cotoneaster dammeri and Juniperus horizontalis Soil reinforcement estimation by laboratory tests	E. Comino y P. Marengo	ScienceDirect	2010	Artículo	Catena	Italia	Politecnico di Torino	70	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M,	Taludes, Estabilización.
98	Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review	A. Laborel-Préneron, J.E. Aubert, C. Magniont, C. Tribout y A. Bertron	ScienceDirect	2016	Revisión	Construction and Building Materials	Francia	LMDC (Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions), Université de Toulouse	428	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Estabilización.
99	Natural Fibers as Geo-Reinforcement-A Review	L. B. Patil y Dr. S.S. Pusadkar	ScienceDirect	2019	Revisión	International Journal of Innovations in Engineering and Science (Vol. 4, No. 8)	India	GF'S Godavari College of Engineering	283	Naturales,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Taludes, Pavimentos, Estabilización.
100	Improving Strength of Soil using Fiber and Fly ash -A Review	Mamta Mishra, U. K. Maheshwari y N. K. Saxena	ScienceDirect	2016	Revisión	International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)	India	Kamla Nehru Institute of Technology	6	Naturales, Sintéticas,	Arcilla - C, Limo - M, Arena - S,	Subrasantes, Rellenos, Pavimentos, Estabilización.