

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso
para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad



Título del trabajo de grado

Evaluación de la gestión de proyecto de polímeros reciclados y su uso para el
mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

Nombres y apellidos completos del autor o autores

Keila Yuliany Murillo Cano

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

29 de Junio de 2024

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso
para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

Título del trabajo de grado

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el
mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

Nombres y apellidos completos del autor o autores
Keila Yuliany Murillo Cano

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de
Proyectos

Asesor(a)
Sergio Andres Zabala Vargas

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Virtual
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

29 de junio de 2024

Contenido

Lista de tablas	5
Lista de figuras.....	6
Resumen.....	7
Abstract	8
Introducción	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1 Descripción del problema.....	11
1.2 La pregunta de investigación.....	13
1.3 Los objetivos de investigación.....	13
1.3.1 Objetivo general.....	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
1.4 Justificación de la investigación.....	14
2. MARCO DE REFERENCIA.....	16
2.1. Estado del arte	16
2.2 Marco Teórico	24
2.2.1 Problemas asociados a suelos arcillosos expansivos.....	24
2.2.1.1 Inestabilidad volumétrica	27
2.2.1.2 Baja resistencia y alta compresibilidad	29
2.2.1.3 Efectos de los suelos arcillosos expansivos sobre las construcciones	30
2.2.2 Métodos de mejoramiento del suelo.....	31
2.2.2.1 Mejoramiento mecánico	32
2.2.2.2 Mejoramiento físico.....	33
2.2.2.3 Mejoramiento químico	34
2.2.2.4 Mejoramiento de suelos con polímeros.....	35
2.2.3 Polímeros.....	37
2.3 Marco normativo.....	41
2.3.1 Decreto 2811 de 1974.....	41

2.3.2 Constitución política del año 1991	41
2.3.3 Ley 99 de 1993 – Ministerios de Medio Ambiente	42
2.3.4 Política nacional de producción más limpia – 1997	42
2.3.5 Ley 511 de 1999:	43
2.3.6 Resolución 754 del 2014:	43
2.3.7 Resolución 1045 del 2003:	43
2.3.8 CONPES 3874 del 2016:	43
2.3.9 Resolución 1407 del 2018	45
3. METODOLOGÍA.....	46
3.1 Enfoque y alcance de la investigación	46
3.2 Población y muestra.....	46
3.3 Instrumento(s)	47
3.4 Descripción de procedimientos	48
3.5 Análisis de información	49
3.6 Consideraciones éticas	49
4. HIPOTESIS	50
4.1 Las variables.....	50
4.1.1 Variables independientes	50
4.1.2 Variables dependientes	50
4.2 Planteamiento de hipótesis	50
5 RESULTADOS	51
6.1 Revisión de literatura de gestión con polímeros reciclados	53
6.2 Uso de polímeros reciclados como material para el mejoramiento de suelos arcillosos.....	53
6.3 Propuesta para mejorar la gestión de polímeros	61
CONCLUSIONES	65
Referencias.....	67

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Ecuación de búsqueda</i>	16
Tabla 2. <i>Clasificación del grado de expansión de los suelos de acuerdo a su límite líquido e índice de plasticidad</i>	26
Tabla 3. <i>Lista de países correspondientes a las publicaciones</i>	52
Tabla 4. <i>Esfuerzo de compresión (kPa) obtenidos en la investigación</i>	53
Tabla 5. <i>Resultados obtenidos en la investigación</i>	55
Tabla 6. <i>Resultados obtenidos en la investigación</i>	57
Tabla 7. <i>Resultados obtenidos en la investigación</i>	58
Tabla 8. <i>Resultados obtenidos en la investigación</i>	59

Lista de figuras

Figura 1. <i>Vía sin pavimentar con suelo predominantemente arcilloso</i>	28
Figura 2. <i>Suelo arcilloso expansivo sometido a pérdidas de humedad</i>	29
Figura 3. <i>Grietas y deformaciones en la carpeta asfáltica de un pavimento con inadecuada estabilización previa</i>	30
Figura 4. <i>Compactación mecánica con rodillo pata de cabra de las capas de suelo de un pavimento</i>	32
Figura 5. <i>Colocación de geomallas o geosintéticos para estabilización de subrasantes en pavimentos</i> ...	34
Figura 6. <i>Suelo sometido a mejoramiento químico con cal</i>	35
Figura 7. <i>Gráfico del año de publicación de las investigaciones seleccionadas</i>	51
Figura 8. <i>Mapa de países correspondientes a las publicaciones</i>	52
Figura 9 <i>Esfuerzo de compresión (kPa) obtenidos en la investigación</i>	54
Figura 10. <i>Valor de CBR a 0,1" (2,54 mm) obtenidos en la investigación</i>	56
Figura 11. <i>Valor de CBR a 0,1" (2,54 mm) obtenidos en la investigación</i>	59
Figura 13. <i>Resistencia a la compresión (kg/cm²) obtenidos en la investigación</i>	60

Resumen.

La gestión de los residuos sólidos como los polímeros tipo PET se ha convertido en problema mundial que afecta todo a todas las personas del planeta.

Debido a esto se necesita una gestión adecuada de los residuos provenientes de los plásticos, ya que con esto se ayuda a proteger el medio ambiente reduciendo la cantidad de residuos que se depositan en vertederos y al promover el reciclaje.

Actualmente uno de los mayores retos de la humanidad es el buscar usos alternativos a la gran cantidad de polímeros desechados cada año y una de las alternativas que permitan dar un mejor aprovechamiento de los polímeros reciclados es su uso en el sector de la ingeniería civil, donde se han empleado adiciones de polímeros reciclados en suelos arcillosos como material para el mejoramiento de suelos.

En este trabajo se presentan los aspectos generales referente a la gestión de polímeros y su uso para el mejoramiento del suelo.

Cómo se gestiona el polímero PET para lograr su reutilización y transformarlo para mejorar suelos arcillosos de alta plasticidad

Palabras clave: Gestión, plástico, polímero, suelo arcilloso, reciclar, reutilizar.

Abstract

The management of solid waste such as PET polymers has become a global problem that affects everyone on the planet.

Because of this, proper management of waste from plastics is needed, as this helps protect the environment by reducing the amount of waste that is deposited in landfills and by promoting recycling.

Currently, one of the greatest challenges facing humanity is to find alternative uses for the large amount of polymers discarded each year, and one of the alternatives that allows for better use of recycled polymers is their use in the civil engineering sector, where additions of recycled polymers have been used in clay soils as a material for soil improvement.

This paper presents the general aspects regarding polymer management and its use for soil improvement.

How PET polymer is managed to achieve its reuse and transform it to improve highly plastic clay soils

Keywords: Management, plastic, polymer, clay soil, recycle, reuse.

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

Introducción

La mayoría de países en el mundo, incluida Colombia, se enfrentan a los retos que representan la contaminación ambiental, especialmente aquella relacionada a residuos sólidos como los polímeros tipo PET.

La gestión de los residuos sólidos como los polímeros PET se ha convertido en problema mundial que afecta todo a todas las personas del planeta. “Estos se han convertido en grandes contribuyentes a la triple problemática ambiental que se está viviendo en el planeta: crisis climática, pérdida de biodiversidad, y contaminación”. (Greenpeace, Greenpeace, 2023)

Es por ello, que se necesita una gestión adecuada de los residuos provenientes de los plásticos, ya que con esto se ayuda a proteger el medio ambiente al reducir la cantidad de residuos que se depositan en vertederos y al promover el reciclaje.

La aplicación de estos materiales como un aditivo para el mejoramiento de suelos, es visto como un valor agregado que permitiría dar un uso especial a este tipo de polímero en el sector de la construcción y la ingeniería. (Varon & Plazas, 2019)

En esta monografía se presenta una recopilación de la información nacional e internacional más importante referente a la gestión de polímeros y su uso para el mejoramiento del suelo.

Además, se presentan los aspectos teóricos más importantes al respecto, así como distintas investigaciones donde se ha llevado a cabo ensayos de laboratorio para verificar el efecto que el uso de polímeros reciclados tipo PET genera en el suelo.

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

En siguiente trabajo consta de cinco capítulos. En el primer capítulo se muestra la contextualización general de la problemática a tratar, como lo es la descripción de problema y la pregunta de investigación. Además, se especifican los objetivos de la investigación y la justificación de esta.

En el segundo capítulo titulado marco de referencia, se encuentra información acerca del estado del arte donde hay información tanto nacional como internacional para así conocer profundamente esta investigación, además también se encuentra un marco teórico donde se encuentran conceptos relacionados gestión de proyectos de polímeros y al uso de estos para el mejoramiento de suelos, así mismo se encuentra un marco legal donde se menciona la normatividad que rige para esta investigación.

En el tercer capítulo se encuentra todo lo relacionada a la metodología en esta investigación, como lo es el enfoque, el alcance, población y muestra de estudio, se mencionan los instrumentos utilizados, además se describen los procedimientos usados y se realiza un análisis de información.

En el capítulo cuatro se menciona las hipótesis de la investigación y las variables dependientes e independientes de esta.

Finalmente, el capítulo cinco aborda la interpretación de los resultados de esta investigación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Los polímeros representan uno de los mayores problemas ambientales en todo el mundo, ya que su lento proceso de degradación, el cual puede durar siglos, ha generado afectaciones negativas sobre los ecosistemas naturales, pues la mayor parte de estos materiales no son reciclados, acumulándose en ríos, playas, bosques, entre otros. Según estimaciones realizadas por Greenpeace (una de las mayores organizaciones en pro de la conservación ambiental), desde el año 1950 hasta la fecha, se han producido más de 8,3 mil millones de toneladas de polímeros (plásticos), de los cuales solo un 9% han sido reciclados (Capia, 2020; Greenpeace, Colombia, mejor sin plásticos. La contaminación plástica en Colombia y el mundo, 2018).

Colombia no es ajena a esta problemática, en el país se producen cerca de 1,5 millones de toneladas de plásticos anualmente, de las cuales un porcentaje menor al 15% es reciclado. Se estima que un 70% del plástico producido en el país se deposita en rellenos sanitarios, lo que indica que cerca del 15% del plástico (más de 200 mil toneladas) son depositadas directamente en ecosistemas naturales. La mayor parte de países latinoamericanos presenta tendencias similares a Colombia en cuanto al porcentaje de reciclaje, aunque es de resaltar que países como Brasil, México y Argentina presentan una producción mucho mayor de plástico anualmente (Aguilar & Borda, 2015; López, 2013; DNP, 2017).

Esta situación ha conllevado a la búsqueda de alternativas que permitan dar un mejor aprovechamiento de los polímeros reciclados, entre estas destacan su uso para la fabricación de tuberías, en mobiliarios urbanos (la llamada madera plástica) y en la fabricación de bolsas. Otro uso destacado se ha dado en el sector de la ingeniería civil, donde se han empleado adiciones de

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

polímeros reciclados en suelos arcillosos como material para el mejoramiento de suelos. Este tipo de suelo se caracteriza por su comportamiento inestable, especialmente al ser susceptible a los cambios volumétricos, por lo que se han realizado diversas investigaciones en Latinoamérica donde se han incluido polímeros reciclados para suelos arcillosos que soportaran pavimentos y edificaciones, principalmente, ya que la presencia de este tipo de suelos debido a sus características y comportamientos, suelen derivar en fallos en este tipo de estructuras (Mora & Tiusaba, 2020; Quispe & Sañac, 2019).

Por lo anterior, se hizo necesario realizar una investigación de la información existente referente a la gestión de polímeros reciclados y su uso el mejoramiento de suelos arcillosos, con el fin de contribuir a disminuir los impactos negativos en la salud y la calidad de vida de las personas, al reducir la exposición a desechos plásticos como lo son los polímeros. Además, la reutilización de polímeros en proyectos de construcción, como lo es la estabilización de suelos, tendrá un impacto positivo en la ingeniería civil. Se compararán las variaciones en las propiedades físicas y mecánicas que se presentan en este tipo de suelos los suelos arcillosos al adicionar estos materiales, y las ventajas y desventajas que representa su utilización

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

1.2 La pregunta de investigación

¿Cómo se gestiona el polímero PET para lograr su reutilización y transformarlo para mejorar suelos arcillosos de alta plasticidad?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la gestión de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar una revisión de información que permita identificar gestiones con polímeros reciclados

Analizar el uso de polímeros reciclados como material para el mejoramiento de suelos arcillosos, para conocer las variaciones que se presentan en sus propiedades físicas y mecánicas.

Diseñar una propuesta para mejorar la gestión de proyectos asociados a polímeros reciclados y luego usarlos para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad.

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

1.4 Justificación de la investigación

El mejoramiento del suelo, consiste en la aplicación de procesos que permiten alterar las propiedades naturales o in situ del suelo, con el fin de obtener un suelo con las características y condiciones necesarias para la aplicación de obras de infraestructura. Este proceso puede ser efectuado mediante métodos químicos (adición de agentes estabilizantes como la cal, el cemento, entre otros), o por métodos físicos (adición de suelo u otro tipo de material sin generar reacción química, aplicando procesos de compactación o densificación del suelo, entre otros) (Das, 2015; Gómez, 2019).

Con la implementación de materiales reciclables, como los polímeros, se ha buscado dar solución a procesos de construcción y manejo de suelos inestables o problemáticos, como comúnmente ocurre con los suelos arcillosos de alta plasticidad, a la vez que se promueve la implementación de prácticas en pro del medio ambiente, y que se adaptan a los actuales modelos de producción y consumo sostenible en el tiempo, englobados dentro de la economía circular, la cual busca aprovechar al máximo los recursos materiales (en este caso, polímeros) alargando su ciclo de vida, ya sea mediante prácticas de reciclaje o de usos alternativos (Olaya, 2021; León & Marín, 2021; Serrano & Padilla, 2018).

Con el desarrollo de esta monografía, se aporta información novedosa y se brinda nuevos conocimientos acerca de la gestión de polímeros reciclados desde una nueva perspectiva,

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

contribuyendo de esta manera con el medio ambiente y sobre el uso de estos para procesos de construcción como lo son los suelos inestables o problemáticos.

Además, se resalta la importancia que en la actualidad se está brindando al uso alternativo de un material altamente contaminante como son los polímeros, brindando además un caso práctico de su uso, de tal manera que fueran visibles las variaciones que su uso proporciona en suelos arcillosos.

2. MARCO DE REFERENCIA.

2.1. Estado del arte

En la tabla N°1 se puede observar la ecuación de búsqueda utilizada para el estado de arte de esta investigación.

Tabla 1. Ecuación de búsqueda

Concepto	Definición
Ecuación/palabras claves	Gestión de polímeros, plástico, reciclaje Suelos arcillosos, Polímeros reciclados, Mejoramiento del suelo, Propiedades físicas y mecánicas del suelo, Valor del CBR con y sin adición de polímeros reciclados
Rango	2016-Actualidad
Base de datos	Google académico y ScienceDirect
Tipo de documento	Proyectos de investigación, trabajos de grado

Nota.. Ecuación de temporalidad usada para el estado del arte. Elaboración Autora, 2024.

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

Respecto a la gestión de polímeros se han realizado las siguientes investigaciones:

Investigación titulada “*Evaluación de la gestión de residuos plásticos en la ciudad de Manizales*”, llevada a cabo como su título lo indica en la ciudad de Manizales, Colombia, por estudiantes de la Universidad católica de Manizales en el año 2016. (Montoya & Roncancio, 2016)

En este trabajo como su título lo indican evalúan la gestión de residuos en Manizales, donde establecieron que existe un inadecuado manejo y gestión de los residuos sólidos urbanos en esta ciudad, ya que mucho de estos residuos son depositados en vías públicas, alcantarillados y cuerpos de agua. Además, determinaron que el plástico de mayor consumo en Manizales es el tipo PET y que este genera impacto ambiental negativos debido al ciclo de vida de este tipo plástico.

Investigación titulada “*Gestión integral de residuos sólidos plásticos en pequeñas comunidades - propuesta para el sector la esperanza, municipio Cajicá, Cundinamarca*” llevada a cabo como su título lo en el municipio de Cajicá, Colombia, por una estudiante de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales en el año 2017. (Ortiz, 2017)

Este trabajo tuvo como finalidad principal generar el conocimiento necesario sobre los aspectos tecnológicos, económicos sociales, culturales, y normativos, para formular y poner en práctica una propuesta para la gestión integral de residuos sólidos plástico. Además, diseñaron rutas de recolección de residuos orgánicos, adaptación de vehículos para retención de lixiviados, y diseño de canecas apropiadas, donde los habitantes del municipio debían separar los residuos en sus viviendas según las capacitaciones dadas.

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

Investigación titulada “*Plan de gestión integral de residuos sólidos para la empresa de recreación picardías Bogotá*” llevada a cabo como su título lo indica en la de ciudad de Bogotá, Colombia, por estudiantes de la Universidad distrital Francisco José de Caldas el año 2017. (Rodríguez & Caicedo, 2017)

En este trabajo se implementan diagnósticos, alternativas, programas y estrategias amigables con el medio ambiente que permitan una reincorporación de los residuos generados en las actividades de la empresa Picardías Bogotá, a un nuevo ciclo productivo y económico, a través de un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), que permita a la empresa el reconocimiento como gestora ambiental y así, afrontar la problemática de los residuos sólidos y promover la misma acción a nivel comercial. Además, formulan algunos programas de plan de gestión integral de residuos sólidos para esta empresa.

Investigación titulada “*Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos para el conjunto residencial reservas del Tunal*” llevada a cabo en la de ciudad de Bogotá, Colombia, por estudiantes de la Universidad distrital Francisco José de Caldas el año 2018. (Rubio & Casteñada, 2018)

En este trabajo formulan un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos para un conjunto residencial de a ciudad de Bogotá donde proponen alternativas para la mejora en los procesos de separación en la fuente y aprovechamiento de los residuos sólidos generados allí.

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

Este tuvo como finalidad principal generar una conciencia ambiental de la importancia que tiene el hacer uso de las buenas prácticas de una correcta segregación de los residuos sólidos en la fuente y su vez lograr crear buenos hábitos no solo en las viviendas del conjunto residencial sino también dentro de las instalaciones del mismo, esto a partir de una educación ambiental en donde cada uno de los involucrados conozca los conceptos básicos en temas ambientales.

Investigación titulada “*Gestión de residuos plásticos en la institución educativa ciudad de Tunja y su impacto en el medio ambiente*”, llevada a cabo como su título lo indica en la ciudad de Tunja, Colombia, por estudiantes de la Universidad de Cartagena en el año 2021. (Rivera & Sierra, 2021)

En este trabajo analizan cómo está la parte socio- ambiental de la Institución Educativa Ciudad de Tunja, en cuanto a la gestión de residuos plásticos y su impacto en el medio ambiente. Además, proponen un plan de acción para mejorar las prácticas de reciclado mediante actividades lúdico pedagógicas, para así poder para promover una consciencia ecológica que garantice el mejoramiento de la calidad de vida, la sustentabilidad y el fortalecimiento de una cultura ambiental, mitigando así los impactos negativos al ambiente.

Investigación titulada “*Formulación de una Propuesta de Gestión de Residuos de Polietileno de Baja Densidad. Caso de Estudio: Empresa Dedicada a la Importación de Alimentos*” llevada a cabo en la ciudad de Bogotá, Colombia, por estudiantes de la Universidad de la Salle en el año 2021. (Gonzalez & Bustos, 2021)

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

En este trabajo evaluó el proceso productivo de una empresa, los productos comercializados, se caracterizaron los empaques y envases. Además, se formuló una propuesta para la adecuada gestión de los residuos de polietileno de baja densidad y se propusieron algunas alternativas de manejo de los residuos sólidos generados de polietileno de baja densidad

Investigación titulada “*Modelo de gestión de plástico tipo PET en la ciudad de Bogotá para su reutilización y transformación a fibras o materiales de uso textil*”, llevada a cabo en la ciudad de Bogotá, Colombia, por la Pontificia Universidad Javeriana en el año 2022. Como su título lo indica proponen un modelo de gestión de plástico tipo PET. (Reina, 2022)

En este trabajo plantean un modelo para la reutilización del plástico PET y su transformación a fibras o materiales de uso textil; El modelo planteado tiene como finalidad disminuir la cantidad de plástico fabricado para la confección de fibras textiles y poder ser reemplazado por Plástico reciclado obtenido a través del proceso de aprovechamiento y debida transformación, principalmente de botellas plásticas tipo PET

Investigación titulada “*Formulación de plan de gestión integral de residuos sólidos en la empresa green waste sas esp*”, llevada a cabo en el municipio de Soacha Cundinamarca, Colombia, por estudiantes de la Corporación Universitaria Minuto de Dios en el año 2022. (Gonzales, 2022)

En este trabajo diseñan un plan de gestión integral de residuos sólidos en la compañía Green Waste SAS ESP, con el cual quieren garantizar el mejoramiento continuo de los procesos y de las actividades de gestión ambiental empresarial, además, también plantearon algunas

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

estrategias y acciones de implementación y manejo efectivo que le permita a esta empresa ejecutar un proceso de manejo integral de los residuos sólidos.

Investigación titulada “*Diseño de un plan de manejo de residuos sólidos y concientización ambiental con los estudiantes de cuarto grado en la Institución Educativa Minas en el municipio de San Martín – Cesar.*”, llevada a cabo en el municipio de San Martín, Cesar, Colombia, por estudiantes de la Corporación Universitaria Minuto de Dios en el año 2022. (Vesga, 2022)

En este trabajo incentivan el cuidado del medio ambiente a través del diseño e implementación de un plan de manejo de residuos sólidos, por medio de diversas estrategias formativas y educativas, con los estudiantes del grado cuarto, de la Institución Educativa Mina con el fin de sensibilizar y fortalecer la conciencia de las nuevas generaciones sobre el cuidado del medio ambiente y la creación de hábitos en el manejo de los residuos y por ende al mejoramiento de la gestión ambiental.

Investigación titulada “*Evaluación de la gestión del plástico posconsumo y su posible uso en el mantenimiento de vías enfoque análisis información Bogotá*”, llevada a cabo como su nombre lo indica en Bogotá, Colombia, por estudiantes de la Universidad EAN en el año 2023. (Sanchez, Ariza, & Celis, 2023)

En este trabajo hacen una evaluación y análisis de la gestión de plástico y su viabilidad para ser utilizado en el sector de la construcción especialmente en mantenimiento de vías.

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

El objetivo principal de este trabajo es contribuir con el medio ambiente ayudando a reducir los residuos plásticos y así mismo se analiza si este material puede ser empleado en obras civiles, como lo son las carreteras. Además, se plantean mejores prácticas en la gestión de plástico posconsumo.

Respecto a los polímeros y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos se han realizado las siguientes investigaciones:

Investigación titulada: *“Uso de polímeros como estabilizador de suelos aplicado en vías de arcilla (CL) y grava arcillosa (GC)”*, llevado a cabo en la Universidad de Especialidades Espíritu Santo, en Samborondon, Ecuador. La investigación estuvo centrada en analizar las variaciones producidas en dos tipos de suelos con la adición de polímeros reciclados PET triturados (Zambrano & Casanova, 2016).

El primer tipo de suelo estudiado fue clasificado como arcilla (CL), con un límite líquido de 47%, un límite plástico de 20%, y un índice de plasticidad de 27%. El segundo tipo de suelo correspondió como grava arcillosa (GC), con un límite líquido de 46, un límite plástico de 20, y un índice de plasticidad de 26. Para la caracterización fueron realizados ensayos de granulometría. En la investigación se desarrollaron ensayos de CBR y de resistencia a la compresión en los dos tipos de suelos empleando adiciones de 0%, 0,3%, 0,5%, 0,75%, 1,25% y 1,75%.

Investigación titulada *“Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, 2019”*, efectuada en la

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

ciudad de Juliaca, Perú, en la Universidad Peruana Unión. En este trabajo se emplearon polímeros reciclados PET triturados manualmente y con longitudes de entre 5 a 12 mm entremezclados (Capia, 2020).

Investigación titulada: “*Mejoramiento con polímeros reciclados PET fundido en subrasante de suelos arcillosos en la carretera Vilcaniza – Beirut, Amazonas*”, llevado a cabo en la Universidad César Vallejo, de Lima, Perú, en el año 2020. La investigación se centró en analizar las variaciones producidas en el suelo con la adición de polímeros reciclados PET, triturados en formas irregulares (Condori & Rojas, 2020).

El suelo estudiado correspondió a una arcilla arenosa de plasticidad baja, con un límite líquido de 42%, un límite plástico de 24%, y un índice de plasticidad de 18%. Se emplearon 3 adiciones de polímeros reciclados PET: 2%, 4% y 6%. Se desarrollaron ensayos de Proctor y CBR de laboratorio

La investigación estuvo centrada en determinar las variaciones que resultan en los valores del ensayo de CBR al adicionar diferentes porcentajes de PET. Iniciaron realizando ensayos de plasticidad sobre la muestra de suelo estudiada, obteniendo un límite líquido de 33%, un límite plástico de 22%, y por tanto un índice de plasticidad de 11%, clasificando el suelo como una arcilla de baja compresibilidad (CL). Después realizaron un (1) ensayo Proctor sobre el suelo sin ningún tipo de adición de polímeros, resultando un valor en la Densidad Seca Máxima de 1,852 g/cm², y una humedad óptima de 14,5%.

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

Investigación titulada: “*Evaluar el uso de polímeros reciclados para el mejoramiento de vías no pavimentadas del Distrito de José Leonardo Ortiz*”, efectuada en la Universidad César Vallejo, de la ciudad de Chiclayo, Perú, en el año 2021 (León & Marín, 2021).

El trabajo se centró en analizar las variaciones producidas en el suelo con la adición de polímeros reciclados PET pulverizados, en adiciones de 1%, 3%, y 5%. Para la pulverización emplearon una máquina (molino), con la cual garantizaron que el polímero presentara el menor tamaño posible (menor a 3 mm, en promedio). Al igual que en otros trabajos, se inició clasificando el suelo a estudiar, obteniendo por medio del análisis granulométrico un suelo predominante arenoso, y con un límite líquido de 29%, un límite plástico de 15%, y por último, un índice de plasticidad de 14%, se estableció su correspondencia con una arena arcillosa (SC) (León & Marín, 2021).

En la investigación se efectuaron ensayos de Proctor modificado y CBR de laboratorio, con el fin de analizar las variaciones producidas con la adición de polímeros reciclados PET pulverizados, específicamente en lo referente a densidad, humedad óptima y CBR a 0,1”.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Problemas asociados a suelos arcillosos expansivos

El concepto de *suelo*, dentro del campo de la mecánica de suelos y en las distintas aplicaciones de la ingeniería en general, hace referencia a los distintos conjuntos de partículas que

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

se encuentran expuestos a la intemperie y que son resultantes de los distintos procesos de desintegración mecánica o de descomposición química de las rocas preexistentes (Márques, 2019; Váldez, 2018).

La importancia del suelo dentro de la ingeniería radica en que es el material más abundante en todas las obras civiles empleándose en terraplenes, muros, rellenos, entre otros, además de constituir el soporte de diversas estructuras: edificios, vías, puentes, torres, entre otros. Debido a esto, el suelo ha sido objeto de diversos estudios con el fin de mejorar su uso dentro de las diversas prácticas de la ingeniería civil (Gil & Nuñez, 2018).

El suelo puede clasificarse de acuerdo a diversos criterios: origen, composición mineralógica, procesos de meteorización a los que han estado expuestos, entre otros. Para efectos prácticos, los sistemas de clasificación más empleados: SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y el AASHTO (American Association of State Highway Officials), se basan en dos criterios generales: tamaño del grano y plasticidad (Das, 2015).

De acuerdo al tamaño del grano, el suelo se clasifica en 4 grupos principales (Das, 2015):

- Cantos y gujarros: fracción de suelo cuyas partículas son superiores a 75 mm.
- Gravas: fracción de suelo cuyo tamaño oscila entre 75 a 2 mm (Tamiz No.10).
- Arena: fracción de suelo cuyo tamaño oscila entre 2 a 0,075 mm (Tamiz No. 200).
- Limo y arcilla: fracción de suelo de tamaño inferior a 0,075 mm.

Con el segundo criterio, la plasticidad, se realiza la distinción entre limo y arcilla. Para ello se hace necesario determinar los valores de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. En términos generales, un suelo es considerado limoso cuando posee un índice plasticidad inferior

Evaluación de la gestión de proyectos de polímeros reciclados y su uso para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad

a 10%, mientras que los suelos con valores superiores a 11% se denominan como arcillosos (Das, 2015)

Tabla 2. Clasificación del grado de expansión de los suelos de acuerdo a su límite líquido e índice de plasticidad

Grado de expansión	Criterio				
	Límite Líquido		Índice de Plasticidad		
	Chen	Norma IS 1498	Holtz y Gibbs	Chen	Norma IS 1498
Bajo	< 30	20 – 35	< 20	0 – 15	< 12
Medio	30 – 40	35 – 50	12 - 34	10 - 35	12 - 23
Alto	40 – 60	50 – 70	23 - 45	20 - 55	23 - 32
Muy alto	> 60	70 – 90	> 32	> 35	> 32

Nota. Adaptado de: INV E-132-13, “Determinación de suelos expansivos”, tablas 132-1 y

132-2, Instituto Nacional de Vías (INVIAS), 2013. Obra de dominio público CC-BY

Las arcillas en general, presentan una composición química basada principalmente en la presencia de sílice, aluminio y agua, con cantidades variables de otros minerales: magnesio, manganeso, hierro, sodio, potasio, entre otras. Se encuentran en la naturaleza con diversas coloraciones, dependiendo de las impurezas presentes. De acuerdo a la estructura mineral, se distinguen tres tipos de arcillas: caolíníticas (formada por una lámina silícica y una lámina alumínica superpuestas de manera indefinida), montmorilloníticas (presentan superposición indefinida de una lámina alumínica entre dos láminas silícicas), e ilíticas. En general, todos los tipos de arcillas presentan plasticidad, se contraen al secarse, y son compresibles (Gil & Nuñez, 2018)

Debido a sus propiedades, las arcillas, especialmente las expansivas, son consideradas como el tipo de suelo más contradictorio, por un lado, son sumamente abundantes, y por otro, son los más susceptibles a las condiciones ambientales del área en el que se sitúan. Factores como la frecuencia de la lluvia, la tasa de evaporación, así como la profundidad y la actividad de la arcilla, son aspectos fundamentales en el comportamiento ingenieril de estos suelos (Zambrano & Casanova, 2016).

A continuación, se detallan los problemas más comunes asociados a los suelos arcillosos expansivos:

2.2.1.1 Inestabilidad volumétrica

Los suelos arcillosos expansivos, al ser sometidos a cambios de humedad, ya sea por procesos naturales (lluvias, inundaciones, etc.) o por factores antrópicos (construcciones,

movimientos de tierra, etc.), presentan variaciones volumétricas que provocan fuertes presiones de expansión y la disminución de su capacidad de carga. Es muy usual evidenciar estos fenómenos en los caminos sin revestir o calles sin pavimentar como se observa en la figura 1 (León & Marín, 2021)

Figura 1. *Vía sin pavimentar con suelo predominantemente arcilloso*



Nota. La figura ilustra el aspecto común que presentan los suelos arcillosos expansivos.

(Autora, 2024).

Ahora bien, los suelos arcillosos expansivos sufren de forma general los cambios de humedad, es decir, tanto un exceso de agua, como una disminución de esta, provoca cambios considerables en su comportamiento. Es así como el suelo arcilloso al sufrir pérdida de humedad tiende a presentar agrietamiento y deformaciones, como se observa en la figura 2 (León & Marín, 2021).

Esta es una de las razones por las cuales los suelos arcillosos expansivos suelen ser considerados los más peligrosos, ya que representan grandes retos para su estabilización, pues en condiciones naturales, no cumplen con los requerimientos necesarios para la conformación de cimentaciones, terraplenes u otros tipos de construcción (Miranda, 2012).

Figura 2. *Suelo arcilloso expansivo sometido a pérdidas de humedad*



Nota. En la figura se observa el agrietamiento característico de suelos arcillosos con altas pérdidas de humedad. Reproducido de Jannoon028 – Freepik.com (https://www.freepik.com/free-photo/dry-cracked-ground-texture_1017735.htm). Obra de dominio público con atribución CC-BY.

2.2.1.2 Baja resistencia y alta compresibilidad

La baja resistencia y la alta compresibilidad del suelo están vinculadas directamente a su comportamiento frente al agua. Los cambios de humedad producen mecanismos de hinchamiento en el suelo (expansión/contracción) que disminuyen su resistencia, al aumentar su plasticidad,

resultando todo ello en un comportamiento geotécnico difícil, que resultan en daños severos en la infraestructura, como se observa en la figura 3, donde un proceso de estabilización inadecuado conllevó a que se presentaran los problemas ya mencionados (Olaya, 2021).

Figura 3. *Grietas y deformaciones en la carpeta asfáltica de un pavimento con inadecuada estabilización previa*



Nota. En la figura se observan los efectos de una inadecuada estabilización del terreno. Reproducido de: “Estabilización de suelos arcillosos”, p. 26, Moreno, 2018. Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

2.2.1.3 Efectos de los suelos arcillosos expansivos sobre las construcciones

Según Bauzá (2018), debido a las características de los suelos arcillosos expansivos se presentan una serie de efectos negativos directos sobre las construcciones, principalmente:

- Perturbación de los procesos constructivos que se evidencian en poca trabajabilidad, dificultades de drenaje, y alta sensibilidad a las condiciones meteorológicas desfavorables.

- Alta incertidumbre en la estimación de resistencias, ya que el incremento de las condiciones de humedad repercute en el reblandecimiento de los suelos y la disminución de su resistencia.
- Incremento de los movimientos diferidos o de consolidación debido a la dificultad para eliminar el exceso de agua bajo situaciones de modificación de cargas por su baja permeabilidad.
- Deformaciones plásticas de asentamiento de las construcciones; y
- Erosión y degradación de la superficie del suelo sometido a condiciones de intemperie, manifestados por los cuarteos y agrietamientos característicos de ciclos de sequedad y humedad, los cuales afectan directamente su durabilidad y estabilidad (p.56).

2.2.2 Métodos de mejoramiento del suelo

El mejoramiento del suelo puede ser aplicado mediante una gran variedad de métodos o técnicas, sin embargo, se distinguen 3 grupos principales: mecánicos, físicos y químicos. Es de resaltar que también existen registros de métodos de mejoramiento poco usuales, como el mejoramiento *eléctrico* (sometimiento del suelo a corrientes eléctricas que desencadenan un conjunto de procesos fisicoquímicos que permiten mejorar las características del suelo) y el mejoramiento *térmico* (consiste en someter al suelo a temperaturas extremas, ya sean por calentamiento o por enfriamiento. Con el calentamiento se busca reducir el potencial de expansión del suelo, mientras que con el enfriamiento se busca llegar al punto de congelación del suelo), sin embargo, ambas técnicas han sido poco empleadas debido a sus altos costos de aplicación y solo han sido efectuadas en suelos que se encuentran en condiciones climáticas severas (Váldez, 2018).

2.2.2.1 Mejoramiento mecánico

El mejoramiento mecánico abarca los denominados métodos de compactación, los cuales consisten en comprimir los granos del suelo entre sí aumentando así su fricción interna (compacidad) con el fin de incrementar su capacidad de soporte.. En la figura 4 se observa un ejemplo común de este tipo de compactación (Quispe & Sañac, 2019).

Figura 4. *Compactación mecánica con rodillo pata de cabra de las capas de suelo de un pavimento*



Nota. En la figura se observa uno de los métodos de compactación más empleados en la actualidad. Reproducido de: “Compactación del suelo”, Wikipedia, 2021(https://es.wikipedia.org/wiki/Compactaci%C3%B3n_del_suelo#/media/Archivo:Seabees_compactor_roller.jpg). Obra de dominio público.

Dentro del mejoramiento mecánico también se encuentra la vibro flotación, la cual es aplicada principalmente a suelos arenosos. El procedimiento consiste básicamente en insertar un dispositivo vibratorio, el cual aplica un chorro o chiflón de agua simultáneamente mientras

realiza el vibrado, de esta forma se logra la licuación de la arena y por tanto se aumenta su compactación (Das, 2015).

2.2.2.2 Mejoramiento físico

El mejoramiento físico hace referencia a los cambios que se producen en el suelo sin que se generen reacciones químicas de importancia. Un tipo de mejoramiento físico del suelo es mediante la mezcla de suelos, en la cual se establecen las proporciones en que se deben mezclar determinados tipos de suelos para obtener unas características adecuadas, con el fin de cumplir los requisitos de especificaciones técnicas de construcción, como las exigidas por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), entre otras entidades, para el caso de materiales empleados como sub bases granulares, bases granulares, recebos, entre otros. (Váldez, 2018; Serrano & Padilla, 2018).

También se considera como mejoramiento físico la inclusión de elementos prefabricados en el suelo, principalmente geomallas o geosintéticos, con las cuales se busca incrementar la cohesión y el ángulo de fricción del suelo, de tal forma que aumente su capacidad de soporte. Es considerado el método de mejoramiento físico más costoso. En la figura 5 se observa un ejemplo de aplicación de esta técnica (Váldez, 2018).

Figura 5. Colocación de geomallas o geosintéticos para estabilización de subrasantes en pavimentos



Nota. La figura muestra un ejemplo de instalación de geomallas. Reproducido de Ingeniería Civil Free, 2022 (https://www.pinterest.es/pin/397090892127735260/?mt=login&nic_v3=1a3znLnhR). Obra de dominio público.

2.2.2.3 Mejoramiento químico

El mejoramiento químico del suelo consiste en la aplicación, en este, de ciertas sustancias químicas, las cuales al ser mezcladas homogéneamente con el suelo producen reacciones que permiten mejorar sus propiedades ingenieriles, principalmente reduciendo su plasticidad y aumentando su resistencia a las cargas y a las condiciones medioambientales. De acuerdo al tipo de suelo, se pueden emplear sustancias como: cal, cemento Portland, fosfatos, cloruro de sodio o de calcio, hidróxido de sodio, resinas, entre otras. En la figura 6 se observa un suelo mejorado con cal (Aguilar & Borda, 2015).

Figura 6. *Suelo sometido a mejoramiento químico con cal*



Nota. En la figura se observa la utilización de cal para mejorar la subrasante de una vía.

Reproducido de: “Importancia de utilizar cal para estabilizar suelos arcillosos”, Horcalsa.com, 2021 (<https://www.horcalsa.com/blog/importancia-de-utilizar-cal-para-estabilizar-suelos-arcillosos/>). Obra de dominio público con fines no comerciales CC-BY-NC.

De los materiales mencionados anteriormente para mejoramiento químico, estabilización, e suelos, los más empleados son la cal y el cemento. La cal es ampliamente empleada para reducir la plasticidad y los cambios volumétricos en suelos arcillosos, mientras que el cemento es comúnmente utilizado en suelos arenosos o gravas finas (Aguilar & Borda, 2015).

2.2.2.4 Mejoramiento de suelos con polímeros

Como ya se ha mencionado, es muy habitual en las distintas obras de infraestructura que el suelo sobre el cual se van a soportar no cumpla parcial o totalmente las exigencias normativas requeridas. Esta situación ha conllevado a la necesidad de implementar los distintos métodos de mejoramiento del suelo mencionados anteriormente, y su elección suele estar condicionada a las características de la obra o proyecto, factores económicos, disponibilidad de recursos

(especialmente maquinaria), así como a la experiencia en la aplicación de uno u otro método por parte de constructores (Santos, Cardoso, & Toé, 2019).

Actualmente ante las nuevas consideraciones ambientales que promueven el uso sostenible de los recursos naturales, su conservación y preservación, así como la implementación de técnicas donde se aprovechen materiales alternativos, especialmente los reciclados, ha habido un aumento de aplicaciones donde se han incorporado adiciones de polímeros reciclados en suelos, especialmente arcillas, con el fin de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas (Valipour, et al., 2021).

Si bien es cierto que los suelos arcillosos son comúnmente mejorados o estabilizados mediante la adición de cal o cemento, es decir, con mejoramiento químico, la adición de polímeros reciclados en este tipo de suelos sería más acorde al mejoramiento físico, ya que su inclusión no produce reacciones químicas. Como todo mejoramiento de un suelo, al final se busca alcanzar las características deseadas con tal que se garantice la integridad de las obras a construir y que no presenten problemas, especialmente de estabilización, durante su funcionamiento, por lo que se deben evaluar previamente las propiedades obtenidas con la adición de los polímeros reciclados. Este aspecto se abarca en más detalle en el capítulo 4. A continuación se abordan los aspectos más importantes concernientes a los polímeros (Azzam, 2014).

2.2.3 Polímeros.

El término *polímero* hace referencia a macromoléculas que se forman por la repetición sucesiva de monómeros (moléculas de poca masa molecular). De acuerdo a su origen, los polímeros se clasifican en naturales (proviene de vegetales o animales: celulosa, almidón, caucho natural, entre otros), sintéticos (generalmente derivados del petróleo), y semi-sintéticos (polímeros naturales transformados mediante procesos químicos: caucho vulcanizado) (Mora & Tiusaba, 2020; López, 2013).

De los anteriores grupos de polímeros, los sintéticos representan los de mayor interés, ya que son los más producidos y consumidos mundialmente. Aunque en la actualidad existe una gran diversidad de polímeros sintéticos, se estima que más del 90% corresponde a los siguientes grupos: polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), polipropileno (PP), poliestireno (PS), polivinilcloruro (PVC), y polietileno tereftalato (PET) (Aguilar & Borda, 2015).

2.2.3.1. Reciclaje de polímeros.

La necesidad de reciclar polímeros está ligada a las cifras vinculadas a este material. Desde el año 2017 se estima una producción anual de 354 millones de toneladas. Según algunos estudios, desde el año 1950 hasta el 2015, se han producido en todo el mundo cerca de 7.800 millones de toneladas de polímeros tipo PET, de las cuales se han reciclado menos del 14%. Considerado esta tasa anual de reciclaje, se pronostica que para mediados del Siglo XXI se

encuentren esparcidos más de 26.000 millones de toneladas en el medio ambiente, de ahí la preocupación de dar usos alternativos a este material, pues por sus propiedades tienen una edad de descomposición muy alta (más de 700 años), por lo que causan una intensa contaminación del agua y el suelo. En la figura 7 se observan envases sin reciclar los cuales a pesar de estar muchos años expuestos a la intemperie no presentan grandes modificaciones en su forma (Dorigato, 2021).

2.2.3.2. Gestión de residuos plásticos.

Es el seguimiento de los residuos que quedan del plástico desde el inicio hasta su eliminación. La gestión de residuos tiene como finalidad mejorar las condiciones de vida higiénicas disminuyendo la cantidad de plástico y así reducir el impacto ambiental que estos generan. Esta se divide en: “Reducción en origen, reutilización de productos, reciclaje, recuperación de recursos en términos de energía y material es, incineración y vertedero, que son los menos preferibles “ (Greenfield, 2021)

En Colombia la gestión de residuos plásticos tiene el apoyo del sector privado, la academia y los centros de investigación, comprometidos con el desarrollo sostenible, la calidad de vida de la población y de las futuras generaciones, la diversificación de oportunidades de acceso a mercados y a consumidores. Además el 14 de noviembre de 2018 firmaron el Pacto Nacional por la Economía Circular, y se presentó la “Estrategia Nacional de Economía Circular- ENEC” como un instrumento que aporta elementos sustanciales para avanzar en el crecimiento y

pluralización de sectores económicos, que conciben las consideraciones ambientales y sociales como parte integral del desarrollo del país. (Romero, 2021)

La ENEC está basado principalmente en políticas del gobierno nacional relacionadas con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), crecimiento verde, gestión integral de los residuos sólidos, desarrollo productivo que promueve el encadenamiento, el fortalecimiento de las cadenas de valor, la transformación productiva y contribuye al cumplimiento de las metas del acuerdo de París. (Romero, 2021)

Debido a esto, el Gobierno Nacional decide crear la Mesa Nacional para la Gestión Sostenible del Plástico, la cual está enfocada en articular y ejecutar acciones en todas las fases del ciclo de vida del plástico para así mejorar la sostenibilidad ambiental, económica y social, en beneficio de todos los colombianos. (Romero, 2021)

Esta es una plataforma que ha servido al gobierno nacional para la formulación del Plan para la Gestión Sostenible de los Plásticos del país, con acciones orientadas a la sustitución de materiales, hacia productos reutilizables, con contenido de materia prima reciclada, o compostables o que sean fabricados o comercializados por empresas que demuestren su reciclaje o aprovechamiento de acuerdo a metas establecidas, también, la prohibición de su uso en áreas protegidas, ecodiseño, reducción gradual, aplicación de la responsabilidad extendida, comunicación y cultura ciudadana y articulación de acciones con todos los actores involucrados. (Romero, 2021)

2.2.3.3. Gestión de polímeros

La gestión de polímeros hace refiere a las estrategias y procesos destinados a manejar y reducir eficazmente el impacto ambiental que estos materiales biodegradables generan.

Esto comprende las actividades relacionadas con la recogida, el transporte, la valorización (incluida la clasificación) y la eliminación. Se contempla además la vigilancia de estas operaciones y el mantenimiento posterior al cierre de los vertederos. (Urios, 2020)

La gestión de polímeros tiene una jerarquía de residuos que se divide en reducción en origen, reutilización de productos, reciclaje, recuperación de recursos en términos de energía y materiales, incineración y vertedero, que son los menos preferibles. (Greenfield, 2021)

La mejor manera de gestionar eficazmente los residuos generados por los implica una combinación de estrategias que prioricen la reducción y el reciclaje de residuos y al mismo tiempo incorporen enfoques innovadores. (Greenfield, 2021)

2.3 Marco normativo

2.3.1 Decreto 2811 de 1974

“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.” (27 de enero 1974. DO No. 34243)

2.3.2 Constitución política del año 1991

Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. Constitución política de Colombia [Const] Art. 79. 7 de julio de 1991 (Colombia)

Artículo 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas. Estos artículos son el fundamento

jurídico para tener en cuenta en la gestión de proyectos de construcción que utilicen plástico reciclado, considerados proyectos sostenibles, dado que, al mismo tiempo que satisfacen las necesidades presentes, protegen los recursos naturales para las futuras generaciones.

Constitución política de Colombia [Const] Art. 80. 7 de julio de 1991 (Colombia)

2.3.3 Ley 99 de 1993 – Ministerios de Medio Ambiente

Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. (22 diciembre de 1993. D.O No. 41.146)

2.3.4 Política nacional de producción más limpia – 1997

Formulada por el Ministerio del Medio Ambiente está orientada hacia la prevención y minimización de los impactos y riesgos a los seres humanos y al medio ambiente, garantizando la protección ambiental, el crecimiento económico, el bienestar social y la competitividad empresarial, a partir de la introducción de la dimensión ambiental en los sectores productivos, como un desafío de largo plazo.

Es una respuesta a la solución de la problemática ambiental de los sectores productivos, que busca fundamentalmente prevenir la contaminación en su origen, en lugar de tratarla una vez generada. (Agosto de 1997)

2.3.5 Ley 511 de 1999:

Por el cual se establece el día nacional del reciclador y del reciclaje, y crea lineamientos para la dignificación de tan importante labor a través del reconocimiento e inclusión social y económica con entidades de orden público y de servicios públicos domiciliarios. (4 de agosto de 1999. D.O No. 43.656)

2.3.6 Resolución 754 del 2014:.

Adopta una metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos [El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. 25 de noviembre de 2014

2.3.7 Resolución 1045 del 2003:

Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. [El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. 26 de septiembre de 2003

2.3.8 CONPES 3874 del 2016:

Es una Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario. Esta Política se compone de cuatro ejes estratégicos. (21 de noviembre de 2016)

— El primer eje busca adoptar medidas encaminadas hacia:

- i) La prevención en la generación de residuos;
- ii) La minimización de aquellos que van a sitios de disposición final; i
- iii) La promoción de la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos;
- iv) Evitar la generación de gases de efecto invernadero.

— El segundo eje apunta a mejorar la cultura ciudadana, la educación e innovación en gestión integral de residuos sólidos para incrementar los niveles de separación en la fuente, de aprovechamiento y de tratamiento.

— El tercer eje se propone asignar roles específicos y claros a las entidades participantes para que lideren las actividades correspondientes, como el tratamiento de residuos orgánicos y el fortalecimiento de los sistemas urbanos de reciclaje inclusivo, entre otros.

— El cuarto eje desarrolla acciones para mejorar el reporte de monitoreo, verificación y divulgación de la información sectorial para el seguimiento de la política pública de gestión integral de residuos sólidos. [El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio]. 26 de septiembre de 2003

2.3.9 Resolución 1407 del 2018

Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se toman otras determinaciones. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. 26 de julio de 2018

3. METODOLOGÍA

El tipo de investigación usada en este proyecto es cualitativo, con la cual se pretende obtener una visión completa y profunda acerca de la gestión de polímeros. Con esta se recopilará información importante que permita analizar de manera precisa el impacto que generará el uso de polímeros reciclados en los suelos arcillosos

3.1 Enfoque y alcance de la investigación

En este trabajo, se presentó una propuesta metodológica orientada a sintetizar sobre la información más relevante sobre las gestiones de polímero y usos que hasta la fecha se han realizado de los polímeros reciclados adicionados a suelos arcillosos para su mejoramiento.

El alcance de esta investigación se define con base a los objetivos, este es de corte exploratorio, ya que el objetivo es examinar un problema de investigación poco estudiado, del cual se tienen muchas dudas como lo es el uso de polímeros reciclados para estabilizar suelos arcillosos. Este servirá para familiarizarse con fenómenos desconocidos, obtener información acerca de los polímeros, investigar, identificar conceptos, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados

3.2 Población y muestra

Para el caso de estudio, la población u objeto de estudio que se utilizó estuvo basada en el análisis bibliométrico a través de las bases de datos: Google Académico y ScienceDirect. Las

búsquedas se realizaron con las siguientes coincidencias: Gestión de polímero, plástico, reciclaje Suelos arcillosos, Polímeros reciclados, Mejoramiento del suelo, Propiedades físicas y mecánicas del suelo, Valor del CBR con y sin adición de polímeros reciclados. De esta manera se logró recopilar un total de 25 documentos acordes al tema investigado.

3.3 Instrumento(s)

Según Bernal, C. A. (2016) la investigación cuantitativa utiliza generalmente los siguientes instrumentos y técnicas para la recolección de información: encuestas, entrevistas, observación sistemática, escalas de actitudes, análisis de contenido, test o cuestionarios estandarizados y no estandarizados, grupos focales y grupos de discusión, pruebas de rendimiento, inventarios, fichas de cotejo, experimentos, técnicas proyectivas, pruebas estadísticas. .

Debido a que dicha investigación es tipo de documental, se realizó la recolección de datos

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

Recolección de información: La recolección de datos se llevó a cabo mediante revisión bibliográfica

Diseño de una propuesta para mejorar la gestión de proyectos asociados a polímeros reciclados y luego usarlos para el mejoramiento de suelos arcillosos de alta plasticidad.

3.4 Descripción de procedimientos

El desarrollo de la monografía comprendió la ejecución de 3 etapas. La primera etapa consistió en la revisión de información bibliográfica referente al tema de estudio. En la segunda etapa se analizó y seleccionó la información disponible: artículos, papers en Journals y trabajos de grados. En esta etapa se tuvieron en cuenta dos criterios principales: año de publicación y país correspondiente.

En la segunda etapa se realizó la recopilación de la información relevante, especialmente los resultados obtenidos en las diversas publicaciones, y por último, en la tercera etapa se desarrollaron los capítulos planteados.

3.5 Análisis de información

En esta etapa se analiza la literatura consultada, se presentan los aspectos más relevantes de los artículos, los trabajos y las tesis de investigación en relación con la temática abordada, teniendo en cuenta el año y país correspondiente. Toda esta información será clasificada a través de gráficos y tablas realizados en Microsoft Excel.

3.6 Consideraciones éticas

La presente investigación salvaguarda la propiedad intelectual del autor. Todos los conceptos e información mencionados aquí se citaron y mencionaron adecuadamente,

Al igual se deja claridad de que todos los procedimientos, metodologías y conceptos plasmados en esta investigación corresponden de igual manera a propiedad intelectual.

4. HIPOTESIS

4.1 Las variables

4.1.1 Variables independientes

Las variables independientes a considerar en esta investigación es Gestión de polímero, esta es una variable fundamental para la investigación, es muy importante que se le pueda dar un buen manejo a los polímeros para poderlos reutilizar para el uso y mejoramiento de suelos

4.1.2 Variables dependientes

Para las variables independientes se consideran aspectos que afectan la gestión de polímero como el reciclaje. Esta variable dificulta que se haga una gestión adecuada de polímeros.

4.2 Planteamiento de hipótesis

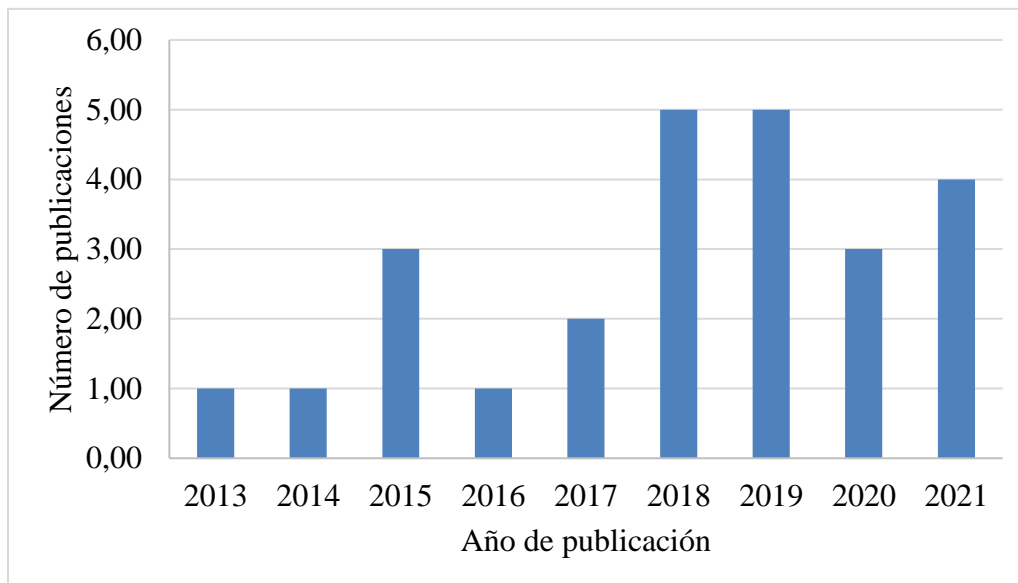
La gestión de polímeros reciclados contribuiría con el medio ambiente ya que disminuirá la contaminación y su uso para el mejoramiento de suelos aportara a problemas generados en la construcción.

5 RESULTADOS

En la figura 7 se observa el número de investigaciones recopiladas por cada año, y en la Tabla 2 la lista de países correspondientes a estos trabajos, con su correspondiente gráfico en la figura 8.

Se seleccionaron trabajos cuyo año de publicación no superara los 12 años, esto con el fin de dar resultados con las temáticas más actualizadas. Así mismo, se escogieron trabajos en su mayoría efectuados en América Latina, con el fin resaltar la importancia que en la región se ha dado al uso alternativo de los polímeros reciclados tipo PET.

Figura 7. Gráfico del año de publicación de las investigaciones seleccionadas



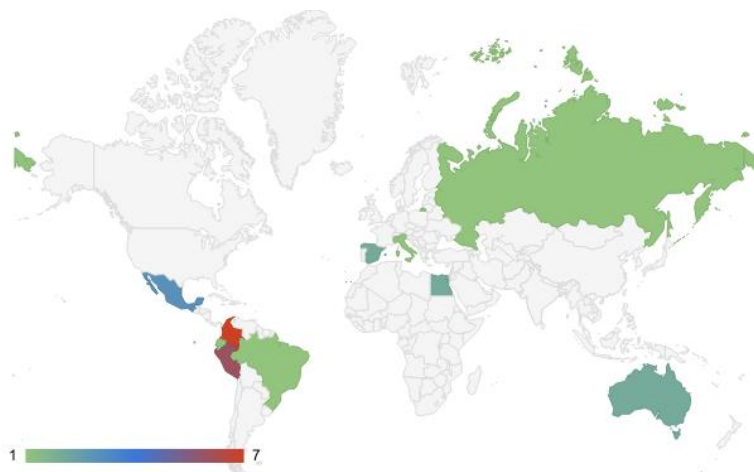
Nota. Las referencias seleccionadas no superan los 10 años de publicación. Elaboración Autora, 2024.

Tabla 3. Lista de países correspondientes a las publicaciones

País	Número de publicaciones
Colombia	7
Perú	6
México	3
España	2
Australia	2
Egipto	1
Brasil	1
Ecuador	1
Rusia	1
Italia	1
Total	25

Nota. Las referencias seleccionadas corresponden a un total de 10 países. Elaboración Autora, 2024.

Figura 8. Mapa de países correspondientes a las publicaciones



Nota. Visual de los países correspondientes a las publicaciones. Elaboración Autores, 2024.

6.1 Revisión de literatura de gestión con polímeros reciclados

Se han realizado diversas investigaciones trabajado de diferentes maneras con el fin de gestionar los polímeros de una manera adecuada y estas se han hecho principalmente en Colombia.

Según las investigaciones consultadas la gestión del plástico tal como lo son los polímeros es muy importante ya que aporta beneficios ambientales al disminuir la cantidad de PET producida, contribuye a la disminución de CO₂ generada, disminuye la cantidad de plástico y gestiona para que estos residuos no terminen llenando el relleno sanitario, ni terminen llegando a alguna fuente hídrica.

Además se puede establecer que el reciclaje es una forma eficaz de reducir la cantidad de residuos que se envían a los vertederos y ahorrar valiosos recursos naturales. Es importante implementar soluciones eficientes de gestión y reciclaje de residuos.

6.2 Uso de polímeros reciclados como material para el mejoramiento de suelos arcillosos

Investigación 1

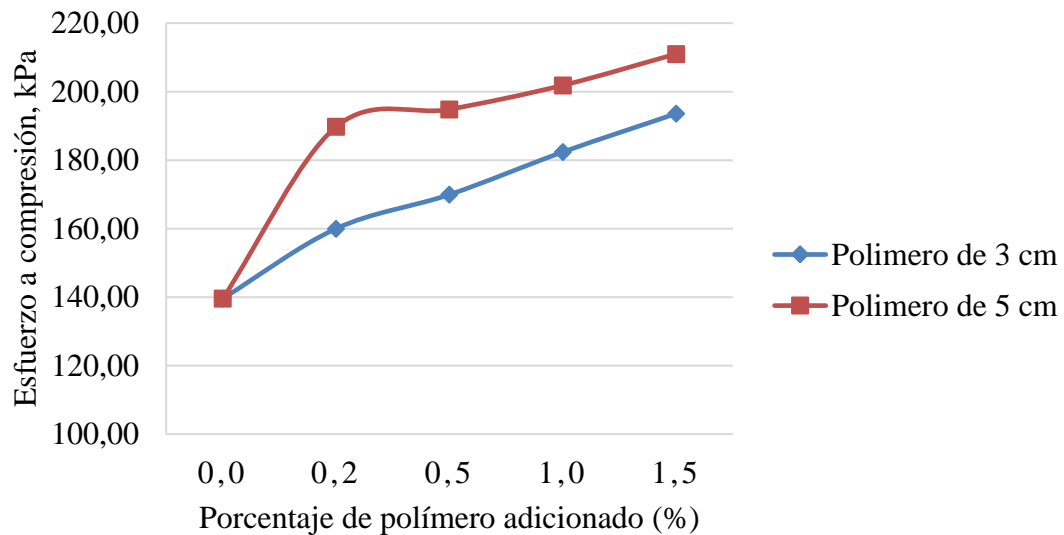
En la tabla 4 muestra el resumen de los resultados obtenidos y en la figura 9 su representación gráfica

Tabla 4. *Esfuerzo de compresión (kPa) obtenidos en la investigación*

Longitud del polímero	Porcentaje de polímero en el suelo seco				
	0,0	0,2	0,5	1,0	1,5
3 cm	139,62	160,00	169,93	182,36	193,57
5 cm		189,73	194,83	201,84	211,00

Nota. Resultados obtenidos del ensayo de compresión simple. Adaptado de resultados de “Suelos arcillosos reforzados con materiales de plástico reciclado (PET)”, López, 2013. Elaboración Autores, 2024.vb

Figura 9 Esfuerzo de compresión (kPa) obtenidos en la investigación



Nota. Representación gráfica de los resultados obtenidos del ensayo de compresión simple (tabla 4). Adaptado de resultados de “Suelos arcillosos reforzados con materiales de plástico reciclado (PET)”, López, 2013. Elaboración Autora, 2024.

Como resultado de este trabajo, se puede decir que la adición de hasta 1,5% de polímeros reciclados en el suelo representa un aumento en la resistencia a la compresión del 38% para el polímero de 3 cm de longitud, y de 51% para el de 5 cm. En ambos casos se obtuvo un aumento significativo, por lo que se recomienda la inclusión de fibras en porcentajes de hasta 2% para los dos tipos de polímeros (López, 2013).

Investigación 2

En la tabla 5 se muestra el resumen de los resultados obtenidos y en la figura 10 la representación gráfica de los valores de CBR a 0,1” a 56 golpes (Capia, 2020).

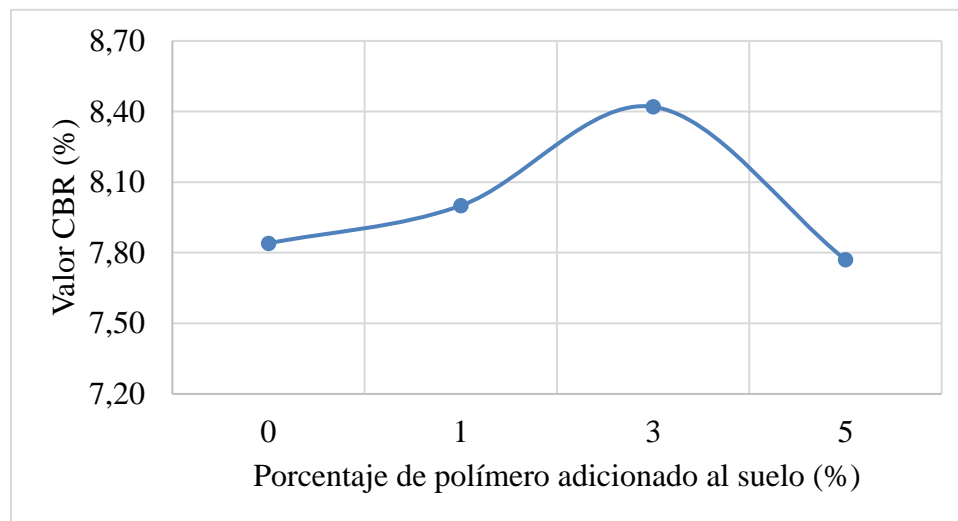
Tabla 5. Resultados obtenidos en la investigación

Propiedad considerada	Unidad	Porcentaje polímero empleado			
		(%)			
		0	1	3	5
Densidad Seca Máxima a 56 golpes	gr/cm ³	1,85	1,84	1,81	1,79
Expansión a 56 golpes	%	1,15	1,61	1,75	2,13
Esfuerzo de Penetración a 56 golpes	gr/cm ²	5,45	5,56	5,89	5,45
Valor CBR a 0,1" (2,54 mm) al 100% D.S.M.	%	7,84	8,00	8,42	7,77

Nota. Resultados en el ensayo CBR considerando los valores a 56 golpes. Adaptado de resultados de “Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca”, Capia, 2020. Elaboración Autora, 2024.

En los resultados obtenidos, se observó una disminución de la Densidad Seca Máxima a 56 golpes con todos los porcentajes de polímeros empleados. En cuanto al valor de expansión, este aumenta a mayor contenido de polímeros. En lo concerniente al esfuerzo de penetración a 56 golpes, el mayor valor se presenta en la muestra con 3% de polímero, e igualmente el mayor valor de CBR a 0,1” considerando el 100% de la Densidad Máxima Seca se presenta con este porcentaje, por tanto los investigadores concluyeron que la adición óptima de polímero PET es 3%, con un aumento de hasta 7% respecto a la muestra sin polímero.

Figura 10. Valor de CBR a 0,1” (2,54 mm) obtenidos en la investigación



Nota. Representación gráfica de los resultados obtenidos en el valor de CBR a 0,1” a 56 golpes (Tabla 4). Adaptado de resultados de “Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca”, Capia, 2020. Elaboración Autora, 2024.

Investigación 3

En la tabla 6 se muestra el resumen de resultados obtenidos

Tabla 6. *Resultados obtenidos en la investigación*

Propiedad considerada	Unidad	Porcentaje polímero empleado (%)			
		0	1	3	5
Densidad Seca Máxima	gr/cm ³	1,86	1,89	1,90	1,94
Humedad óptima	%	12,33	11,07	10,23	9,87
Valor CBR a 0,1" al 100% D.S.M.	%	8,10	8,80	10,20	11,10

Nota. Resultados en los ensayos de Proctor y CBR considerando los valores a 56 golpes.

Adaptado de resultados de “Evaluar el uso de polímeros reciclados para el mejoramiento de vías no pavimentadas del Distrito de José Leonardo Ortiz”, León & Marín, 2021. Elaboración Autora, 2024.

Los resultados en esta investigación, muestran que a mayor contenido de polímero mayor valor de CBR a 0,1” considerando el 100% de la Densidad Seca Máxima a 56 golpes, sin embargo, de forma contraria a los resultados del caso de estudio 2, se indica que a mayor contenido de polímeros en el suelo, mayor valor Densidad Máxima Seca se obtienen. Los valores muestran un aumento de la D.M.S. del 4% con la adición de 5% de polímero reciclado PET pulverizado. Estos resultados pueden estar ligados al hecho de que el polímero empleado era un menor tamaño. En cuanto al valor del CBR, el aumento fue cercano al 37%.

Investigación 4

En la tabla 7 se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

Como resultado de la investigación se concluyó que a mayor contenido de polímero reciclado PET, mayor son los valores de Densidad Seca Máxima y de CBR a 0,1". Para la adición de 6% de PET, respecto al suelo en su estado natural, se obtuvo un aumento del 7% en la Densidad Seca Máxima, y hasta un 75% en el valor de CBR a 0,1".

Tabla 7. Resultados obtenidos en la investigación

Propiedad considerada	Unidad	Porcentaje polímero empleado (%)			
		0	2	4	6
Densidad Seca Máxima	gr/cm ³	1,45	1,49	1,50	1,55
Humedad óptima	%	17,70	15,10	14,00	12,20
Expansión a 56 golpes	mm	1,32	1,52	1,52	1,52
Valor CBR a 0,1" al 100% D.M.S.	%	6,80	11,00	11,00	11,90

Nota. Resultados en los ensayos de Proctor y CBR considerando los valores a 56 golpes.

Adaptado de resultados de “Mejoramiento con polímeros reciclados PET fundido en subrasante de suelos arcillosos en la carretera Vilcaniza – Beirtu, Amazonas”, Condori & Rojas, 2020.

Elaboración Autora, 2024

Investigación 5

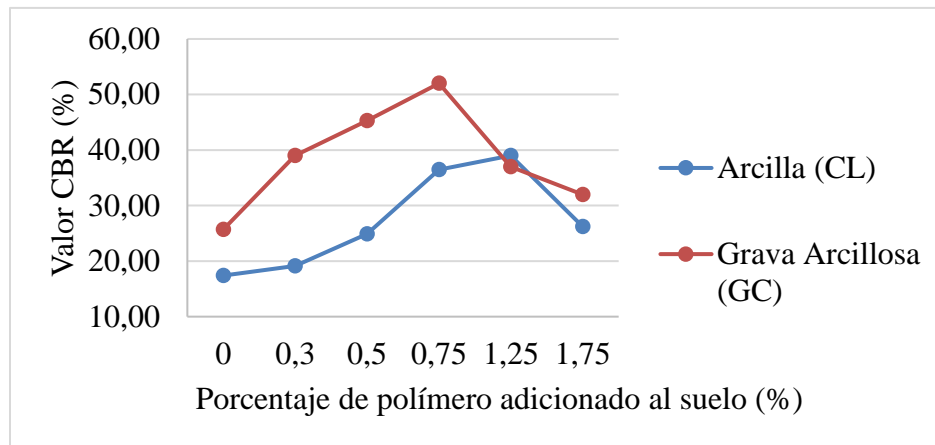
En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos y en la figura 11 y 12 su representación gráfica

Tabla 8. Resultados obtenidos en la investigación

Propiedades estudiadas	Unidad	Tipo de Suelo	Porcentajes empleados					
			0	0,3	0,5	0,75	1,25	1,75
Densidad Seca Máxima	gr/cm ³		1,45	-	-	-	-	-
Humedad óptima	%	Arcilla	19,40	-	-	-	-	-
Valor CBR a 0,1" al 100% D.S.M.	%	(CL)	17,40	19,15	24,90	36,50	39,00	26,20
Resistencia a la compresión	kg/cm ²		2,34	-	3,74	5,30	5,85	-
Densidad Seca Máxima	gr/cm ³		1,68	-	-	-	-	-
Humedad óptima	%	Grava	17,40	-	-	-	-	-
Valor CBR a 0,1" al 100% D.S.M.	%	Arcillosa (GC)	25,70	39,00	45,30	52,00	37,00	32,00
Resistencia a la compresión	kg/cm ²		2,88	-	4,69	9,07	9,72	-

Nota. Resultados en los ensayos de Proctor, CBR, y resistencia a compresión. Adaptado de resultados de “Uso de polímeros como estabilizador de suelos aplicado en vías de arcilla (CL) y grava arcillosa (GC)”, Zambrano & Casanova, 2016. Elaboración Autora, 2024.

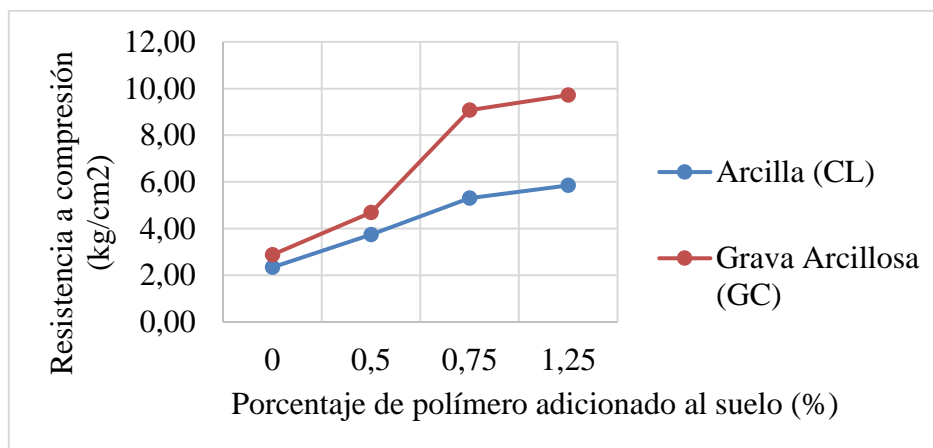
Figura 11. Valor de CBR a 0,1" (2,54 mm) obtenidos en la investigación



Nota. Representación gráfica de los resultados obtenidos en el valor de CBR a 0,1” (Tabla 7).

Adaptado de resultados de “Uso de polímeros como estabilizador de suelos aplicado en vías de arcilla (CL) y grava arcillosa (GC)”, Zambrano & Casanova, 2016. Elaboración Autores, 2024.

Figura 12. Resistencia a la compresión (kg/cm²) obtenidos en la investigación



Nota. Representación gráfica de los resultados obtenidos de resistencia a la compresión (Tabla 7). Adaptado de resultados de “Uso de polímeros como estabilizador de suelos aplicado en vías de arcilla (CL) y grava arcillosa (GC)”, Zambrano & Casanova, 2016. Elaboración Autora, 2024.

Finalmente se puede decir los resultados obtenidos en esta investigación muestran un aumento en el valor de CBR en ambos tipos de suelos. En la arcilla el valor de CBR aumenta hasta un 124% con la adición de 1,25% polímero, sin embargo, a partir de este porcentaje el valor de CBR empieza a decrecer. La misma tendencia se presenta para la grava arcillosa, aunque en este el mayor valor de CBR se presenta con la adición de 0,75% de polímero. En cuanto a la resistencia a la compresión, se presenta un aumento a mayor contenido de polímero, obteniéndose los mayores resultados con la adición de 1,25% de polímero, para la arcilla se presenta un aumento de hasta 150%, y para la grava arcillosa de hasta 237%, respecto a al suelo en su condición natural.

6.3 Propuesta para mejorar la gestión de polímeros

Se realizó una propuesta donde se determinaban ciertas acciones para mejorar la gestión de polímeros. Con esto se quiere, generar conciencia ecológica en las personas para reducir el consumo de plásticos, aumentar las posibilidades de producir cambios significativos en los comportamientos de las personas acerca de la importancia de reciclar y contribuir con el medio ambiente y mejorar la gestión de residuos generando conciencia en las personas y fomentando el correcto manejo de los residuos desde su separación hasta la disposición final y aprovechamiento, implementando acciones como talleres, capacitaciones, charlas, actividades educativas y pedagógicas, difusión por redes sociales.

A continuación se plantea una propuesta para mejorar la gestión de polímeros.:

Los polímeros son muy beneficiosos en una variedad de aplicaciones, estos tienen un gran impacto ambiental. El polímero tipo PET es un plástico que no es biodegradable y por lo tanto demora muchos años en descomponerse. El PET es muy usado pero debido a su lenta degradación se convierte en acumulación de desechos y lo que afecta notablemente al medioambiente.

Cada día aumenta en forma exponencial la cantidad de estos desechos plásticos, lo cual dificulta el manejo y la disposición adecuada de los mismos y se convierte en un problema global de difícil solución.

En este capítulo se proponen un conjunto de acciones con el fin de mejorar las buenas prácticas en la gestión de polímeros reciclados y así poderlos usar para mejorar la estabilidad en suelos arcillosos.

Sensibilización

Objetivo

Generar conciencia ecológica en las personas para reducir el consumo de plásticos

Acciones

-Campañas a nivel nacional que estén orientadas en analizar los comportamientos sobre la manera en la que las personas consumen, generan y desechan los residuos.

-Realizar talleres educativos que permitan sensibilizar y generar conciencia ecológica

Cultura en las personas

Objetivo

Aumentar las posibilidades de producir cambios significativos en los comportamientos de las personas acerca de la importancia de reciclar y contribuir con el medio ambiente.

Acciones

-Actividades pedagógicas con niños y adultos que permitan resaltar la importancia de reciclar

-Charlas en planteles educativos y universidades donde se explique la situación actual del medio ambiente debido a la gran cantidad de desechos que a diario se genera y lo importante que es reciclar desde los hogares para contribuir con el planeta

Buenas prácticas sobre la gestión de residuos

Objetivo

Mejorar la gestión de residuos generando conciencia en las personas y fomentando el correcto manejo de los residuos desde su separación hasta la disposición final y aprovechamiento.

Acciones

-Actividades de sensibilización y de orientación a las personas sobre la importancia de depositar adecuadamente los desechos según el color de las canecas de reciclaje ya que ayuda con la correcta identificación del tipo de residuo que se debe depositar en cada una de ellas

-Hacer charlas que permitan educar acerca de las buenas prácticas sobre la gestión de residuos

-Difundir a través de redes sociales la importancia de depositar los residuos adecuadamente.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta monografía permitió concluir lo siguiente:

Los polímeros representan uno de los mayores problemas ambientales en todo el mundo, por su lento proceso de degradación, el cual puede durar siglos, ha generado afectaciones negativas sobre los ecosistemas naturales, pues la mayor parte de estos materiales no son reciclados, acumulándose en ríos, playas, bosques, entre otros. Es por esto que una gestión adecuada de este tipo de plástico es muy importante, ya que esta serviría para reciclar, reutilizar y disminuir, contribuyendo con la economía circular y el medio ambiente.

Con una gestión adecuada de polímeros, se ayudaría a proteger el medio ambiente, ya que se reduciría la cantidad de residuos que se depositan en vertederos y se promovería el reciclaje., además se promueve la implementación de prácticas en pro del medio ambiente, que se adaptan a los actuales modelos de producción y consumo sostenible en el tiempo

Con la implementación de polímeros reciclables, se da solución a procesos de construcción y manejo de suelos inestables o problemáticos, como comúnmente ocurre con los suelos arcillosos de alta plasticidad

Los suelos arcillosos, especialmente los correspondientes como expansivos, están vinculados principalmente a problemas de inestabilidad volumétrica, baja resistencia y alta compresibilidad, que de forma general ocasionan fuertes presiones de expansión, hinchamiento, y disminución de la capacidad portante del suelo, lo cual se ve reflejado en afectaciones negativas para las distintas infraestructuras construidas sobre este tipo de suelos.

En la actualidad se ha propuesto al polímero reciclado tipo PET como un material adicional para el mejoramiento del suelo. La adición de polímeros dentro del suelo clasificaría dentro del mejoramiento físico. Es así como se han llevado a cabo distintas investigaciones donde se ha analizado su efecto sobre las propiedades del suelo, especialmente la Densidad Seca Máxima y los valores de CBR, encontrándose valores óptimos de adición de polímeros desde un 0,75% hasta un 5%. Sin embargo, estos valores están condicionados al tamaño del polímero, su forma, y de cierta manera a aspectos poco contemplados en las investigaciones, como son las propiedades particulares de cada polímero tipo PET, ya que estos varían de acuerdo al fabricante, o a las marcas que las comercializan. Lo anterior sumado a que las características de los suelos estudiados varían considerablemente entre sí, en cuanto a plasticidad y granulometría, por lo que cada porcentaje óptimo de polímero reciclado tipo PET, debe considerarse solo para ese caso estudio

Referencias

- Aguilar, C., & Borda, Y. (2015). *Revisión del estado del arte del uso de polímeros en la estabilización de suelos*. Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C., Colombia.
- Azzam, W. (2014). Behavior of modified clay microstructure using polymer nanocomposites technique. *Alexandria Engineering Journal*, 53, 143-150.
- Capia, C. (2020). *Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión, Juliaca, Perú.
- Condori, W., & Rojas, A. (2020). *Mejoramiento con polímeros reciclados PET fundido en subrasante de suelos arcillosos en la carretera Vilcaniza - Beirut, Amazonas, 2020*. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- Das, B. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). México D.F., México: Cengage Learning.
- DNP. (2017). *Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde*. Publicación Técnica, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá D.C., Colombia.
- Dorigato, A. (2021). Recycling of polymer blends. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4, 53-69.

- Gil, E., & Nuñez, I. (2018). *Influencia de la adición de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcillosos aplicado a la estabilidad de taludes*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Gómez, C. (2019). *Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas*. Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- Gonzales, C. (2022). *FORMULACION DE PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS EN LA EMPRESA GREEN WASTE SAS ESP*. Soacha, Colombia.
- Gonzalez, L., & Bustos, L. (2021). *Formulación de una Propuesta de Gestión de Residuos de Polietileno de Baja Densidad. Caso de Estudio: Empresa Dedicada a la Importación de Alimentos*. Bogota, Colombia.
- Greenfield, E. (14 de Diciembre de 2021). *Sigmaearth*. Obtenido de <https://sigmaearth.com/es/gesti%C3%B3n-de-residuos-pl%C3%A1sticos/#:~:text=La%20gesti%C3%B3n%20de%20residuos%20pl%C3%A1sticos%20implica%20una%20serie%20de%20pr%C3%A1cticas,recuperaci%C3%B3n%20y%20eliminaci%C3%B3n%20de%20desechos>.
- Greenpeace. (2018). *Colombia, mejor sin plásticos. La contaminación plástica en Colombia y el mundo*. Publicación Técnica, Greenpeace, Bogotá D.C., Colombia.

- Greenpeace. (14 de Julio de 2023). *Greenpeace*. Obtenido de <https://www.greenpeace.org/colombia/noticia/issues/contaminacion/greenpeace-colombia-lanza-el-informe-audiovisual-la-ruta-de-la-basura/>
- INV E-132. (2013). *Determinación de suelos expansivos*. Norma de ensayo de suelos, Instituto Nacional de Vías , Bogotá D.C., Colombia.
- León, J., & Marín, D. (2021). *Evaluar el uso de polímeros reciclados para el mejoramiento de vías no pavimentadas del Distrito de José Leonardo Ortíz - Chiclayo - 2021*. Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.
- Márques, D. (2019). *Mejoramiento de la estabilización en la subrasante de suelos arcillosos usando plásticos reciclados PET en el Distrito La Encantada, Provincia de Morropon - Piura, 2019*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- Montoya, K., & Roncancio, K. (2016). *EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA CIUDAD DE MANIZALES*. Manizales, Colombia.
- Mora, S., & Tiusaba, J. (2020). *Comportamiento de los polímeros como agente estabilizante en los suelos para la construcción de cimentaciones*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá D.C., Colombia.
- Olaya, L. (2021). *Revisión teórica del mejoramiento de suelos arcillosos complejos en Colombia mediante el uso de materiales reciclados*. Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia.

- Ortiz, N. (2017). *GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS PLÁSTICOS EN PEQUEÑAS COMUNIDADES - PROPUESTA PARA EL SECTOR LA ESPERANZA, MUNICIPIO CAJICÁ, CUNDINAMARCA*. Bogota, Colombia.
- Quispe, E., & Sañac, M. (2019). *Influencia de la incorporación de plástico reciclado triturado - PET en el mejoramiento del suelo a nivel de sub rasante en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas, Tamburco - Abancay, 2018*. Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay, Perú.
- Reina, M. P. (2022). *MODELO DE GESTIÓN DE PLÁSTICO TIPO PET EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ PARA SU REUTILIZACIÓN Y TRANSFORMACIÓN A FIBRAS O MATERIALES DE*. Bogota, Colombia.
- Rivera, D. D., & Sierra, D. (2021). *GESTIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA*. Tunja, Colombia.
- Rodriguez, C., & Caicedo, A. (2017). *Plan de gestión integral de residuos sólidos para la empresa de recreación picardías Bogotá*. Bogota, Colombia.
- Romero, J. R. (Junio de 2021). *Minambiente*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/plan-nacional-para-la-gestion-sostenible-de-plasticos-un-solo-uso-minambiente.pdf>
- Rubio, N., & Casteñada, P. (2018). *Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos para el conjunto residencial reservas del Tunal”*. Bogota, Colombia.

Sanchez, L., Ariza, J., & Celis, L. (2023). *EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DEL PLÁSTICO POSCONSUMO Y SU POSIBLE USO EN EL MANTENIMIENTO DE VIAS ENFOQUE ANALISIS INFORMACION BOGOTA*. Bogota, Colombia.

Santos, N., Cardoso, M., & Toé, M. (2019). Behavior of clayey soil reinforced with polyethylene terephthalate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(10), 1-11.

Serrano, E., & Padilla, E. (2018). Análisis de los cambios en las propiedades mecánicas de materiales de subrasante por la adición de materiales poliméricos reciclados. *Revista Ingeniería Solidaria*, 25(1), 1-25.

Taverna, M. E. (25 de Junio de 2018). *UTN*. Obtenido de <https://sanfrancisco.utn.edu.ar/noticia/divulgacion-cientifica-los-polimeros-en-nuestras-vidas-que-hacemos-con-ellos-928>

Urios, S. A. (10 de Junio de 2020). *Aimplas*. Obtenido de <https://www.aimplas.es/blog/optima-gestion-y-aprovechamiento-de-residuos-plasticos-materia-clave-para-el-futuro-de-europa/>

Váldez, C. (2018). *Estudio comparativo de estabilización de un suelo arcilloso altamente expansivo, utilizando un co-polimero multienzimático*. Tesis de pregrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.

Valipour, et al. (2021). Application of recycled tire polymer fibers and glass fibers for clay reinforcement. *Transportation Geotechnics*, 27, 1-13.

- Varon, J. S., & Plazas, D. F. (2019). *REFUERZO DE ESTRUCTURAS TERREAS UTILIZANDO*. Ibagué.
- Vesga, L. (2022). *Diseño de un plan de manejo de residuos sólidos y concientización ambiental con los estudiantes de cuarto grado en la Institución Educativa Minas en el municipio de San Martín –Cesar*. Bucaramanga, Colombia.
- Zambrano, A., & Casanova, M. (2016). *Uso de polímeros como estabilizador de suelos aplicado en vías de arcilla (CL) y grava arcillosa (GC)*. Tesis de pregrado, Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Samborondón, Ecuador.
- Zapata, R. (2018). *Tipos de suelos: Caracterización de suelos arcillosos y limosos*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Rosario, Rosario, Argentina.