

REVISIÓN ESTADO DEL ARTE DEL USO DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA EL
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES EN LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS



Por:

MARCO ESTEBAN NEIRA ACOSTA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2023

REVISIÓN ESTADO DEL ARTE DEL USO DE RESIDUOS DE CONCRETO PARA EL
MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES EN LAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS.

Por:

MARCO ESTEBAN NEIRA ACOSTA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero civil

Asesor

I.C. JESSICA RAMÍREZ CUELLO, M.Sc.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2023

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Rodrigo GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. LUIS FERNANDO DÍAZ CRUZ

Decano de la Facultad de ingeniería civil

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios, por estar velando por mí en toda mi vida; a mis padres por apoyarme en todos los aspectos y por siempre creer en mis capacidades; a mi directora de grado Jessica por ser una grandiosa persona y excelente profesional. Al ingeniero Luis Páez por las correcciones y recomendaciones presentadas sobre mi trabajo. También a la empresa Bioagricola S.A., por su buena disposición al permitir presentarme al parque ecológico reciclante.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción.....	10
1. Planteamiento del problema.....	11
2. Objetivos.....	12
2.1 Objetivo General	12
2.2 Objetivos específicos.	12
3. Justificación.....	13
4. Estado del Arte.....	15
4.1 Nivel Nacional.	15
4.2 Nivel Internacional.....	15
5. Marco Conceptual.....	17
5.1 Ingeniería en pavimentos.	17
5.2 Suelos y geotecnia vial.....	17
5.3 Mejoramiento y estabilización de suelos.	18
5.4 RCD	19
6. Marco Normativo.....	20
6.1 Normativa ambiental.....	20
6.2 Especificaciones y normas para materiales granulares y suelos.	20
7.Resultados.....	21
7.1 Causas de la explotación minera en Colombia.	21
7.2 Propiedades de los triturados de concreto reciclado.	25
7.3 Evaluación del RCD en las propiedades geomecánicas del suelo.	27
7.4 Visita al parque ecológico reciclante Bioagícola S.A.	32
8. Conclusiones.....	38
9. Recomendaciones.....	39
10. Referencias Bibliográficas.....	40

Lista de tablas.

Pág.

Tabla 1 Normas de ensayo de materiales para carreteras INVIAS 2022.....	18
Tabla 2 Especificaciones mejoramiento y estabilización de subrasantes realizado por el INVIAS 2022.....	19
Tabla 3 Propiedades de los triturados de concreto reciclado.	25
Tabla 3 Continuación.	26
Tabla 4 Resumen impacto del concreto reciclado sobre los suelos de los autores estudiados. ...	28
Tabla 4 Continuación.	29

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Parque ecológico reciclante en el km18 de la vía a Puerto López, Villavicencio.....	32
Figura 2. Residuos de concreto, excavaciones y demoliciones.	33
Figura 3. Zona de disposición final exclusiva para los residuos de construcción y demolición.	34
Figura 4. Recolección de barras, trituradora, banda de transportadoras y material procesado. ..	35
Figura 5. Cubierta utilizada para la fabricación de elementos prefabricados a base de RCD.	35
Figura 6. Elementos prefabricados de concreto a partir de materiales RCD.	36
Figura 7. Puntos ecológicos de Bioagricola.....	37

Resumen

Este trabajo se enfoca en tres áreas principales. Primero, se analizan las causas de la explotación minera en Colombia, destacando su arraigo en la economía nacional, la debilidad de las políticas gubernamentales y la prevalencia de actividades mineras ilegales, mientras se destaca el vasto potencial de los ecosistemas únicos en Colombia, clasificándolo como uno de los países más biodiversos del mundo.

La segunda área de enfoque implica revisar la literatura existente sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto reciclado. Se indaga sobre cómo este material puede ser empleado para mejorar la calidad del suelo y se registran sus impactos en las propiedades mecánicas del mismo.

Finalmente, se concluye este trabajo explorando la gestión de residuos de concreto en la localidad del autor, Villavicencio, Meta. Se detalla una visita técnica al parque ecológico reciclante administrado por la empresa Bioagricola S.A.

Palabras Claves: *CBR, Concreto reciclado, Ensayos de materiales para carreteras, Mejoramiento de suelos, RCD.*

1. Abstract.

This paper focuses on three main areas. Firstly, it analyzes the causes of mining exploitation in Colombia, highlighting its roots in the national economy, weak governmental policies, and the prevalence of illegal mining activities. It also underscores the vast potential of Colombia's unique ecosystems, classifying it as one of the most biodiverse countries in the world.

The second area of focus involves reviewing existing literature on the physical and mechanical properties of recycled concrete. It investigates how this material can be used to enhance soil quality and records its impacts on soil's mechanical properties.

Lastly, this work concludes by exploring concrete waste management in the author's locality, Villavicencio, Meta. It details a technical visit to the recycling ecological park managed by the company Bioagricola S.A.

Key Words: *CBR, Recycled Concrete, Testing of road materials, Soil improvement, RCD.*

Introducción

Las carreteras son importantes para la economía de una nación, como medio para que personas y empresas distribuyan bienes y servicios, resaltando el comercio internacional que utiliza las vías de transporte para conectar aeropuertos y puertos marítimos a las ciudades. Por ende, la calidad de las obras viales tiene una relación directa con la economía de una nación y los profesionales encargados de la planeación de diseño y su construcción desempeñan papeles cruciales encontrando materiales que prolonguen el ciclo de vida de estas rutas y a su vez, sea sostenible con el medio ambiente. Dicho todo esto, el hombre ha enfocado sus esfuerzos en utilizar los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) como material de obra contribuyendo a la disminución de extracción de recursos naturales y mejorar la naturaleza del suelo desde el punto de vista mecánico.

Hoy en día es común ver construcciones compuestas por concreto, que es un material altamente demandado por sus propiedades de resistencia. En virtud de ello, se genera varios residuos de este material resultado de prefabricados, columnas, losetas, entre otros. Lo cual se convierte en un problema de índole ambiental al seguir generando RCD sin proponer una medida de mitigación duradera. No obstante, existe un potencial de reutilización de los residuos de concreto resolviendo el problema planteado. Varios investigadores han generado conocimiento con respecto a utilizar nuevamente los sobrantes de concreto como material granular para las obras de construcción.

Evidencia de esto, es poder encontrar en repositorios como son utilizados como agregados para hacer nuevamente concreto o continuando con la temática de esta monografía, de utilizarse como material de mejoramiento para las subrasantes que pueden brindar mejor cimentación y soporte a estas obras de infraestructura vial.

1. Planteamiento del problema

Colombia, al igual que otros países latinoamericanos tales como Perú, Ecuador, Venezuela y Costa Rica han sido reconocidos por poseer ecosistemas especiales de gran valor según Castillo (2018), como lo son los páramos, ecosistemas muy sensibles donde la extracción de materia prima puede ocasionar bruscos impactos ambientales negativos abarcando desde la erosión de la zona (inclusive la totalidad del ecosistema), contaminación de cuerpos hidrológicos a generar fallas por deslizamientos del suelo, entre otras. Pérez et al (2016) comentan que por el impulso y desarrollo de la extracción minera es uno de los objetivos de crecimiento económico, existe una alta incidencia de operaciones extractivas que se ejecutan sin sus respectivas concesiones por parte de las autoridades pertinentes.

además del efecto negativo que tiene la minería ilegal sobre las condiciones de vida de los pobladores rurales y trabajadores que se dedican a esta actividad, la extracción ilegal tiene impactos ambientales importantes como la destrucción de fauna y flora, así como la contaminación de las aguas. Dado que este tipo de minería elude sistemas de control, como la licencia ambiental, en ocasiones se desarrolla en áreas de protección ambiental, ocasionando daños irreversibles e irreparables a ecosistemas protegidos. (PNUD, 2011, como se cito en Martinez Ortiz, 2012).

Mitigando el impacto negativo que genera la explotación minera sobre el medio ambiente y a su vez, generar conocimiento sobre materiales sostenibles, se va a traer información relacionada a como el concreto reciclado puede ser utilizado como material en obras de construcción y así generar conciencia que permita disminuir la exportación de la materia prima.

2. Objetivos.

2.1 Objetivo General

Analizar información sobre el uso de residuos de concreto como alternativa de mejoramiento en la subrasante de la estructura del pavimento y el manejo de RCD en Villavicencio, Meta.

2.2 Objetivos específicos.

- ❖ Reconocer las causas de explotación de agregados en Colombia.
- ❖ Describir las propiedades de los triturados de concreto reciclado.
- ❖ Evaluar como los residuos de concreto mejoran las propiedades geomecánicas de la subrasante y capas granulares.
- ❖ Identificar la gestión de RCD en Villavicencio, Meta, Colombia.

3. Justificación

Muchas universidades y centros de investigación han centrado sus esfuerzos a buscar soluciones de mitigar el impacto de los RCD y usarlos como sustitutos de los agregados pétreos convencionales para el mejoramiento de la subrasante de los pavimentos en Colombia.

La producción de los agregados pétreos para las obras de construcción procede de actividades mineras superficiales, conocido como minería no metálica. El sector de la minería, en el segundo trimestre de 2022 estas actividades han tenido un aumento del 8,1% en la extracción de minas y canteras; agregando el aumento del 1,9% de actividades de apoyo para la explotación de minas y canteras (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE], 2022). En el posterior año, en el tercer trimestre de 2023 estas actividades decrecieron un 7,2%, diametralmente opuesto a las actividades de apoyo para otras actividades de explotación de minas y canteras que muestra un crecimiento de 2,7% (DANE, 2023). Independiente de esta disminución, es claro que Colombia posee una riqueza ecosistémica considerable, es blanco de inversiones extranjeras por la gran explotación de materias primas y recursos energéticos (Castillo Herrera, 2018). La información de Fuente et al (2021), relata el tema de la evolución del PIB entre el rango de años desde 2012 hasta 2019, abordando porcentajes de crecimiento de participación en función de la minería metálica y la minería no metálica (Canteras y demás materiales para la construcción). Todo esto demuestra que la producción de materiales de origen minero es una de las actividades de la economía colombiana fundamental.

A pesar de los beneficios económicos que trae a la nación, las explotaciones vienen sujetas de impactos ambientales potencialmente perjudiciales para el entorno donde se realice dichos movimientos llegando no solo afectar a la fauna y la flora del ecosistema afectado, sino en los ciclos hidrológicos, pérdida de la riqueza ambiental en los biomas, efectos negativos en la salud del ser humano, entre otras. Colombia posee un alrededor del 50 % del total de paramos a nivel mundial, distribuidos sobre 3 cordilleras, Zonas de enormes estudios de relieve, vegetación, sostenibilidad ecosistémica; Como consecuencia de la riqueza ambiental, es blanco de diversas actividades antropogénicas, la expansión ganadera, actividades de índole minera, entre otras.

Expuesto lo anterior, añadirle los RCD generados por los proyectos de construcción, desechos que son arrojados en vertimientos no autorizados (ilegales), generando problemas de contaminación. El trabajo de Pisco (2019), muestra datos locales en Villavicencio, menciona 32

coordenadas geográficas de vertimientos ilegales, entre ellos sumando 260,6 m³, ocupando el menor espacio y el mayor valor comprendidos entre 0,5 m³ a 40 m³. A todo esto, se le suma la expedición de títulos mineros ilegales, produciendo títulos a zonas no autorizadas o a impactar de mayor manera a los sitios autorizados conllevando mayores riesgos en el ambiente (Osorio Fernández, 2015).

Realizar esta investigación requiere de buscar en diversas fuentes calificadas de información investigaciones tanto en repositorios, fuentes investigativas, fuentes científicas todo aporte pertinente relacionado con la explotación de RCD, el uso de estos en subrasantes principalmente, con la intención de aportar al campo colombiano información de utilizar estas alternativas, sin alterar en gran medida la economía del país, mejorando las políticas de gestión ambiental pertinente, y en lo posible, un estado del arte para posibles investigaciones en el futuro.

4. Estado del Arte.

4.1 Nivel Nacional.

En el trabajo de Cuesta Chalparizan (2014) encontró que, por medio de la inclusión entre un 3% de Cal y porcentajes entre 5%, 10%, 15% y 20% disminuye el índice de plasticidad, la humedad optima aumento por la presencia de cal, opuestamente con la presencia de concreto reciclado, que resulto en su disminución. El tamaño del RCD poseía tamaños de arena, ocasionando una pérdida de cohesión, reflejándose en una pérdida de la resistencia a la compresión inconfiada de manera lineal.

En la investigación de Quintero Esquivel (2017), trabajo con una mezcla de suelo cemento bajo unos porcentajes de cemento de acuerdo al ACI (2009) con diferentes dosificaciones de concreto reciclado entre 25%, 50%, 75% y 100%. Como conclusiones encontró que, referente al ensayo de compresión, el concreto además de afectar la hidratación de la mezcla, afecto a la resistencia, conforme a medida que se incrementaba el porcentaje de sustitución, las resistencias decrecieron. En cuanto al consumo de cemento, resulto que tenía una relación directamente proporcional al contenido de concreto.

4.2 Nivel Internacional.

Los frutos cosechados por Ochoa Averos (2019) partículas de concreto reciclado con tamaño inferior a 2 mm de diámetro para ser utilizado como agente estabilizador de la subrasante. Al emplear esto, encontró que la expansión posterior a 7 días sumergido disminuye con relación al suelo (1,23% expansión) con un porcentaje óptimo de residuo agregado con 60% de RCD-C fino (0% expansión). La disminución de la expansión puede ser ocasionada por la reacción química del RCD, por la existencia de minerales remanentes en el mismo, que al ser hidratados endurecieron la muestra. El autor también encontró que en el ensayo CBR se observó un incremento en la capacidad de soporte del material debido a la acción sincrónica de la compactación y los minerales mencionados. Las adicciones de 40% y 60% cumplieron con requisitos normativos y la capacidad de soporte se amplió 17,56 veces con respecto a su estado natural al adicionar 60%.

Los esfuerzos de Fabian Ramos y Gonzales Paredes (2021), se basan en solucionar los problemas de generación excesiva de Residuos de Construcción y Demolición apoyándose en trabajos realizados en Colombia mencionando que la mayoría del suelo colombiano son débiles en CBR; atrae otras investigaciones utilizando cemento reciclado que logra mejorar el CBR de la materia natural; entre otros. Las conclusiones pertinentes de este trabajo son: primero la influencia del concreto reciclado en porcentajes de 7%, 11% y 21% si mejora las propiedades de resistencia de los suelos arcillosos para uso a nivel de subrasante en obras de saneamiento, segundo un suelo arcilloso con una inclusión de 7% de concreto reciclado con partículas no mayores a 2 pulgadas da mejores resultados en cuanto al CBR siempre y cuando sea usado a nivel de subrasante.

5. Marco Conceptual.

5.1 Ingeniería en pavimentos.

La ingeniería en pavimentos abarca temáticas desde las generalidades de un pavimento, los tipos de pavimento, las capas granulares y subrasante, esta última que es la parte del suelo natural donde se construye la estructura del pavimento.

El libro de Rondón Quintana y Reyes Lizcano (2016) menciona que los pavimentos son estructuras viales constituidos por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales por materiales que han sido procesados para cumplir estándares de calidad aptos para su uso, estructura diseñada para soportar las cargas de tránsito y condiciones ambientales. El número y tipo de capas dependen de la clasificación del pavimento, ya que en la literatura y en el mundo práctico existen: Pavimentos flexibles, Rígidas, semirrígidas y articulada. De estas 4 se desprenden ciertas estructuras multicapas con modificaciones en base al proyecto ingenieril tales como pavimentos con capas asfálticas gruesas, con capas tratadas con ligantes hidráulicos, estructuras mixtas, estructuras inversas, entre otras.

5.2 Suelos y geotecnia vial.

La subrasante, descrita en el trabajo de Borda Ingaluque (2022) la define como la base de la estructura del pavimento, así mismo conforma parte de la estructura del terraplén de la carretera, que se encuentra en el intermedio del terreno de fundación y las capas granulares del pavimento. La subrasante, recoge el peso de la infraestructura multicapa, y de manera indirecta, cierto peso generado por las cargas vehiculares debido a que solo un porcentaje de estas cargas deben llegar al suelo. Por ende, recalcando la importancia de conocer los parámetros geomecánicos del suelo, se deben realizar sondeos y apiques para recoger la muestra y realizar ensayo de límites de Atterberg, ensayo de análisis de granulometría, y el tipo de ensayo para determinar la resistencia que puede ser el ensayo de CBR, el ensayo de módulo de resiliente. En territorio nacional, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), posee un procedimiento para averiguar los parámetros descritos. Para los apiques y sondeos, que se presenta en la **Tabla 1**.

Tabla 1*Normas de ensayo de materiales para carreteras INVIAS 2022.*

Ensayo de laboratorio INVIAS	Nombre ensayo de laboratorio
I.N.V.E - 101	Investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería
I.N.V.E - 102	Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual)
I.N.V.E - 103	Conservación e identificación de suelos
I.N.V.E - 104	Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie
I.N.V.E - 125	Determinación de los tamaños de las partículas
I.N.V.E - 126	Limite plástico e índice de plasticidad de los suelos
I.N.V.E - 148	CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada
I.N.V.E - 156	Modulo resiliente de suelos y agregados
I.N.V.E - 168	Ensayo de placa con carga estática no repetida sobre suelos y capas no tratadas de pavimentos, para emplear en la evaluación y el diseño de pavimento
I.N.V.E - 169	Relación de soporte del suelo en el terreno (CBR "In-situ")
I.N.V.E - 180	Clasificación de suelos y de mezclas de suelos y agregados con fines de construcción de carreteras (sistema AASHTO)
I.N.V.E - 181	Sistema Unificado de clasificación de suelos para propósitos de ingeniería.

Nota. Adaptado de (INVIAS, 2022) .

5.3 Mejoramiento y estabilización de suelos.

Existe literatura acerca los métodos de mejoramiento, como los métodos físicos, químicos, mecánico, que, a su vez, dentro de ellas entran las diferentes técnicas y materiales tales como la cal, cemento, asfalto, entre otras. Hoy en día se busca nuevos procesos y/o materiales en función de impactos ambientales positivos, asimismo que sea factible económicamente. En la **Tabla 2** se encuentran los artículos mencionados en el capítulo 2 de las especificaciones generales de construcción de carreteras 2022 patrocinado por el INVIAS.

Tabla 2*Especificaciones mejoramiento y estabilización de subrasantes realizado por el INVIAS 2022.*

Artículos correspondientes de las especificaciones generales de construcción de carreteras	Nombre articulo INVIAS
Articulo 230-22	Mejoramiento de la subrasante con adición de materiales.
Articulo 232-22	Estabilización de suelos de subrasante con geotextil
Articulo 233-22	Estabilización de suelos de subrasante y refuerzo de capas granulares con geomallas
Articulo 235-22	Estabilización de suelos de subrasante y terraplén con cemento
Articulo 236-22	Estabilización de suelos de subrasante y terraplén con cal

Nota. Adaptado de (INVIAS, 2022).

5.4 RCD

La variable más importante en este trabajo, los Residuos de Construcción y Demolición - RCD, también conocidos como RCD, según la Alcaldía Mayor de Bogotá (2021) define los RCD como " Los RCD son todos los restos sólidos que salen después de realizar una obra en casa o de las actividades de demolición, excavación, construcción y/o reparación de las obras civiles".

6. Marco Normativo.

6.1 Normativa ambiental.

- ❖ Resolución 1561 de 2019: Establece los términos de referencia para elaborar los estudios de impacto ambiental, para poder tramitar las licencias ambientales de los proyectos de explotación de materiales de construcción.
- ❖ Decreto 2820 de 2010: Reglamenta el tema de las licencias ambientales en el sector de hidrocarburos, minero, construcción, sector eléctrico, energía nuclear, sector marítimo y portuario, dragados, red vial, fluvial y férrea, etc.
- ❖ Resolución 472 de 2017: Se reglamenta la gestión integral de los residuos de la construcción y demolición la cual aplica para todas las personas naturales y jurídicas que hagan generación, recolección, transporte, almacenamiento y disposición en obras civiles y otras actividades en Colombia.
- ❖ Resolución 541 de 1994: Expide la reglamentación frente al cargue, descargue, transporte y almacenamiento y disposición final de los escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de la industria de la construcción, de demolición y capa orgánica del subsuelo de excavación en Colombia.

6.2 Especificaciones y normas para materiales granulares y suelos.

Los ensayos de campo y laboratorio van a estar regidos bajo la normativa INVIAS. Específicamente las secciones 100 que abarca las prácticas para el suelo y la sección 600 que habla sobre los métodos y ensayos para la estabilización de suelos.

7. Resultados.

En esta sección se encuentra la información necesario para responder a los objetivos específicos planteados al principio de este trabajo, empezando con las causas de la explotación minera en Colombia, posteriormente investigar los trabajos que se han hecho sobre mejorar las propiedades mecánicas de capas granulares con residuos de concreto producto de demoliciones de edificaciones y del pavimento rígido; finalmente, establecer una metodología de cómo usar este RCD en proyectos que requieran estabilizar la subrasante ante las solicitaciones requeridas de un proyecto vial.

7.1 Causas de la explotación minera en Colombia.

En el 2021, se publicó en el diario de noticias económicas Portafolio, con base al registro del Departamento Nacional de Estadística DANE, que para el segundo trimestre el PIB aumentó un 17.6% en comparación con el registro del mismo periodo del año 2020 donde uno de los sectores económicos responsables fue el de la industria manufacturera (PORTAFOLIO., 2021). Esta industria se define como la transformación que sufre las materias primas para convertirse en un producto y/o servicio final.

El sector de la construcción es un ejemplo claro de industria manufacturera, ya que recoge diversas materias primas para ser utilizadas como insumos, materiales y maquinaria necesarias para el desarrollo de una sociedad. El DANE, maneja estadísticas por tema, y en este caso, se relata tres tipos de estadísticas: Estadísticas de cemento Gris (ECG), Estadísticas de concreto premezclado (EC) y Estadísticas de licencias de construcción (ELIC).

En el boletín técnico para las ECG, tomando como límites de tiempo los años de 2019 a 2023, en resultados de doce meses, muestran los datos de producción y despachos a nivel nacional de cemento gris, en unidad de toneladas: Febrero 2019 a Enero 2020, una producción y despacho a nivel nacional de 13129.2 y 12592.9 toneladas (DANE, 2021); Febrero 2020 a Enero 2021 11837.7 toneladas de cemento, disminuyendo un 9.8% del mismo periodo del año anterior y los despachos 11231.4 toneladas, variando un -10.8% con respecto al periodo de análisis anterior (DANE, 2021); Febrero 2021 a Enero de 2022 genero 13802.9 toneladas, incrementándose un 16.6% con relación al mismo periodo del año anterior y los despachos 13015.8, variando 15.9%

con respecto al periodo de febrero y enero del análisis anterior (DANE, 2022); Febrero 2022 a Enero 2023 una cantidad de producción de 14619.1 toneladas, aumentando un 5.9% al análisis anterior y niveles de despacho de 13471 toneladas, variando un 3.5% (DANE, 2023).

En el boletín técnico para las EC, tomando como límites de tiempo los años de 2019 a 2023, en resultados de doce meses, se muestra producción de concreto premezclado: Febrero 2019 a Enero 2020 se muestra una producción de 7202.3 m³, Febrero 2020 a Enero 2021 5176.3 m³, con una variación del -28.13% con respecto al periodo anterior; Febrero 2021 a Enero 2022 6263 m³, variando un 17.35% comparando con el análisis anterior; Febrero 2022 a enero 2023 genero 6974.3 m³, incrementándose un 10.2% con el tiempo de análisis anterior (DANE, 2023). Estos últimos años, a la producción ha aumentado debido a la reanudación de las actividades del país ocasionadas por la pandemia generada por el coronavirus.

En el boletín técnico para las ELIC, se evidencia que, a nivel anual, en el mes de enero 2021 licencio 1470762 m² de construcción, enero 2022 1889557 m², variando con respecto al 2021 22.16% y en enero 2023 2177794 m², superando el año anterior por 13.24%. Respecto a un nivel Cuatrienal, la variación fue de un 29.2% con respecto al año 2019, evidenciándose un aumento de construcciones (DANE, 2023).

La producción de obras civiles es importante no solo por mejorar la infraestructura nacional y el desarrollo económico, sino por la mano de obra que genera y la variedad de profesionales que se requiere en función del proyecto. Apoyándose con los datos del DANE y relacionándolo a la temática del trabajo, se requerirá de gran número de materiales e insumos (minerales no metálicos) para cubrir la demanda en años posteriores para un desarrollo económico del país. Conseguir todo esto, será un gran reto político-económico para garantizar una sostenibilidad en las practicas humanas sobre el entorno ambiental.

Colombia es beneficiado por su enorme biodiversidad, fauna, flora y en este caso, suelos con un alto potencial de extracción de minerales. Los páramos, ejemplo de ello, como dice Castillo Herrera (2018) se encargan de fijar el carbono atmosférico, son la fuente donde yacen los principales ríos de la nación, y se caracterizan por la exclusiva vegetación, suelo y altura, por ende se podría decir que son ecosistemas, al igual que todos los que posee Colombia, susceptibles a cualquier agente antrópico que quiera obtener beneficios aprovechando el ambiente, como argumenta (Célleri y Feyen, 2009; Abadín, 2007 citado en Osorio 2015) categorizando los paramos

como sensibles a actividades antrópicas inadecuadas como la ganadería extensiva, deforestación, agricultura, explotación de canteras, cacería y cualquier actividad relacionada con el orden público.

Castillo Herrera (2018) abarca desde los años 1990 que se adoptó una doctrina económica conocida como el Neoliberalismo que ampara la Inversión extranjera directa, impulsó el modelo de extractivismo, es evidencia de que el país piensa solo en el desarrollo económico antes que sostenible teniendo en cuenta que el control del estado es débil, ocasionando malas prácticas y actividades ilegales en cuanto al tema (minería ilegal).

Previo a tocar el tema de la minería ilegal, el país ha desarrollado fuertes negociaciones de exportación de minerales metálicos. Pérez et al (2016) denotan que Colombia es reconocida a nivel mundial en el campo de producción extractiva por las riquezas minerales, atrayendo la atención de compañías extranjeras de alto nivel que buscan apropiarse de materias primas tales como carbón, oro, platino. Níquel, entre otros. Muestra de esto existe un reporte de la Asociación Colombiana de Minería (ACM) exponiendo a China como principal comprador de níquel y cobre en Colombia, acaparando un 56%; Estados Unidos comprando oro y esmeraldas (39%), Brasil adquiriendo Coque (37%) y Turquía interesados en el carbón (26%) (Asociación Colombiana de Minería [ACM], 2021).

Otra razón que contribuye a una masiva exportación de productos metálicos y no metálicos, incluyendo los minerales energéticos, son las actividades que se encuentran dentro de un marco ilegal, popularmente conocido como minería ilegal. Estas exploraciones al margen de la ley, como se configura en el artículo 159 del código de minas, la búsqueda, extracción y captación de minerales de propiedad nacional o privada sin la expedición de un título minero vigente o autoridad pertinente (Congreso de Colombia, 2001).

Dejando a un lado los beneficios económicos que conlleva el modelo extractivista, según la (Procuraduría General de la Nación, 2011, citado en Garzón Bolaños, 2019) el incremento de estas prácticas se deben principalmente a que las actividades mineras denominadas “pequeña minería”, destacada por el uso de herramientas simples de uso manual, directamente por fuerza humana, y cuya cantidad extraída no sobrepase los 250 toneladas anuales de un material según Güiza (2013), no fueron reguladas de manera pertinente y, segundo, no existe información concisa por parte de los entes gubernamentales en la distribución de recursos, generando un control nulo en la explotación de ciertas zonas del país, añadiendo que el código de minas no establece una

estratificación en función de la envergadura de los proyectos, sometiendo a las mismas normas a grandes como pequeños proyectos (Massé y Camargo, 2012, citado en Garzón Bolaños, 2019).

Sumando aun mas un descontrol de ejercer y categorizar las actividades mineras del país, existen un amplio interes de los grupos armados por utilizar este negocio para cubrir y lucrar sus metas politicas y terroristas, añadiendo al glosario los procesos de “minería criminal” (Martínez Ortiz, 2012).

Con base a lo mencionado anteriormente, existen impactos negativos en 3 dimensiones: Ambientales, Sociales y Economicos. Ambientalmente, de manera generalizada, puede llevar a la destrucción de la fauna y flora, a través de la deforestación. Además de retirar capa vegetal, conlleva a efectos secundarios tales como escorrentias y deslizamientos por la acción de la lluvia, desbordes de los cauces de los ríos, variación de la temperatura, pérdida de fertilidad en el suelo, acumulación de residuos, entre otras juntando que en la practica se utiliza sustancias toxicas como Cianuro y Mercurio, transportados por el ciclo hídrico pueden terminarn en cuerpos hidricos afectando el ecosistema y quienes habitan en ellos (Leal Esper, 2019).

Las amenazas sociales hacen referencia a la vulnerabilidad de la sociedad, reflejado en la pobreza y y la potenciación de los riesgos naturales, desplazamiento de actividades económicas como la pesca y ganadería; para las personas que ejercen estas practicas, por lo general, se realizan bajos condiciones inseguras, explotación infantil conllevando a la desescolarización (Garzón Bolaños, 2019). Además de las deprimentes condiciones laborales, explotación en los tiempos de trabajo al que se enfrente el personal relacionado con la actividad. (Leal Esper, 2019).

Una desventaja social-económicas seria disminuir el PIB de la nación.

en los registros del PIB, de manera trimestral (segundo trimestre), con respecto al 2013, creció en un 4.3%; sin embargo, en cuanto a explotación de minas y canteras hubo una disminución del 2.2% con respecto al año inmediatamente anterior. Podría haber varias situaciones que expliquen este fenómeno, lo que hace que se cuestione ¿Qué está pasando con la minería en Colombia? Una hipótesis puede ser que la minería no está saliendo a flote como debería ser y que no se están aprovechando los recursos que tiene Colombia de la mejor manera; pero esto se quedaría corto y se entiende mejor si se remite a una de las principales causas: la minería ilegal que ha surgido, pues cuando a una empresa se le quitan los permisos de exploración y/o explotación en una zona no suelen hacerse los cuidados que vienen con este. Lo

anterior sucede después de que una empresa abandona este terreno y si hay recurso allí, llega la minería ilegal y toma el lugar como suyo, sin permisos y quitándole participación en el PIB a la minería formal. Romero et al (2016)

Las personas o grupos dedicadas a ejercer esta clase de minería, evita cualquier tramite legal con respecto al titulo minero, asi evadiendo el ingreso de los productos extraídos al estado, ocasionando un detrimento economico, como consecuencia, bajas posibilidades de erradicar el deficit fiscal (Leal Esper, 2019).

7.2 Propiedades de los triturados de concreto reciclado.

Tabla 3

Propiedades de los triturados de concreto reciclado.

PROPIEDADES DE LOS TRITURADOS DE CONCRETO RECICLADO.		
Propiedad.	(Arriaga Tafhurt, 2013)	(Jordan Saldaña & Viera Caballero, 2014)
Granulometría	Obtención del 70% - 90% después de triturados. Generación de tamaños de arena hasta un 2% por manipulación.	NP
Forma y textura superficial	Coeficiente de forma 0.24 reciclado y 0.31 concreto natural. Por el mortero adherido en las caras planas del concreto aumenta el espesor de las partículas planas y alargadas.	NP
Densidad	Densidad inferior por la pasta de cemento adherida a las partículas. Entre 2100 a 2500 kg/m3.	Depende de la fuerza del concreto original y del tamaño de los agregados. Muestra valores entre 2290 a 2490 kg/m3.

Tabla 3
Continuación.

Absorción del agua	Registro valores de trabajos investigados entre 7.8% a 12% de absorción promedio.	Según valores investigados en Hansen y Narud 1983, en función de la relación agua cemento, presenta valores de absorción entre 0.8% a 9.8%
Desgaste en máquina de los ángeles	Rango entre 25-42% dependiendo de factores tales como el tamaño de las partículas y la calidad del concreto original.	Expone valores de diversos autores obteniendo un rango entre 24.6% a 41.4%.

Nota. NP: No Presenta. Adaptado de (Arriaga Tafhurt, 2013) y (Jordán S. & Viera C., 2014)

Otras propiedades que existen sobre los triturados de este RCD es la prueba de solidez mediante sulfatos y el contenido de cloruros. Para la primera, (Rodrich Guevara y Silva Ocas, 2018) sustentan que la pérdida de peso de estos agregados expuestos a sulfatos depende de la composición de los agregados, así como de la calidad del concreto original y el proceso de trituración. El investigador Arriaga (2013) señala que algunos autores no concuerdan con evaluar la resistencia a la helada con soluciones de sulfato por el efecto químico destructivo sobre la pasta de cemento ya que puede incrementar la solubilidad de los componentes de la pasta y desarrollar la degradación de los agregados por lixiviación, exponiéndose resultados no representativos. Para el contenido de cloruros. También Arriaga (2013) afirma que es conveniente cuantificar los cloruros solubles, ante la posibilidad de la existencia de cloruros que han sido combinados con otros reactivos para no dañar las armaduras en caso de utilizarse para nuevos concretos. En general, si no han sido expuestos, estos valores oscilan entre un 0.001% a 0.005%

7.3 Evaluación del RCD en las propiedades geomecánicas del suelo.

Se realiza la consulta de 6 trabajos que utilizan concreto reciclado como agente de mejoramiento de las propiedades del suelo. A continuación, se muestra en la **Tabla 4** Resumen Impacto del concreto reciclado sobre los suelos de los autores estudiados los resultados promedios midiendo el impacto del mejoramiento del concreto de estos autores sobre las propiedades mecánicas del suelo. Posterior a la siguiente tabla, el autor de esta monografía tuvo oportunidad de realizar un análisis con respecto a los resultados obtenidos de los autores.

Tabla 4

Resumen Impacto del concreto reciclado sobre los suelos de los autores estudiados.

[illegible]

Tabla 4
Continuación.

ϵ_1 [%]	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-34.44%
E [kg/cm ²]	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-0.61%
E [Mpa]	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-0.61%

Nota. NP: No Presenta. Los promedios calculados en la tabla, sean positivos o negativos reflejan si la variable del suelo mejoro o decreció con respecto al suelo en estado natural. Los porcentajes de dosificación de mezcla suelo-RCD y demás resultados con concreto reciclado se debe revisar en los siguientes anexos ¹¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. ²¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. ³¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. ⁴¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. ⁵¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.. ⁶¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

Con respecto al trabajo de Torres (2021), específicamente al final de su introducción y justificación técnica, que utiliza el concreto reciclado como solución a las problemáticas sobre la presencia de fisuras longitudinales, piel de cocodrilo y baches en la avenida Pacasmayo, estas patologías poseen diversas causas, una de ellas puede ser una baja capacidad portante del suelo, no obstante, según los resultados de laboratorio, si se observa el CBR en estado natural, se denota una capacidad innecesaria para un mejoramiento considerando que se hayan calculado correctamente las solicitaciones de tránsito. Dicho todo esto, revisando la literatura existente sobre los mecanismos de daño susceptibles a los pavimentos flexibles, existe causas relacionadas al diseño de mezcla del asfalto, el ahuellamiento que puede tener orígenes desde la mezcla, carga o factores ambientales; fatiga, ya sea mecánica (paso de cargas repetitivas) o térmicas (agrietamientos por baja temperatura); Daño por humedad cuando se va a compactar la mezcla asfáltica sobre las capas granulares que aun contiene excesos de humedad que dañe la unión entre las capas (Rondón Quintana & Reyes Lizcano, 2016). Con base a que el trabajo de Torres no hace referencia a la información de la mezcla y proceso constructivo de la mezcla asfáltica, por la delimitación del alcance de su tesis, se sugiere investigar un poco más este aspecto. Independiente de estos daños, se entiende que, con este mejoramiento, prolonga la vida útil del pavimento y disminuye patologías futuras.

En la investigación de Cisneros y Tito (2021), se presenta en los ensayos de compactación un aumento de la densidad máxima seca. En cómo afecta respecto al diseño de espesores previo y posterior al mejoramiento, se obtiene en estado natural de la calicata 1, un grosor de 13 in para la subbase granular; Para la calicata 1 con un porcentaje de concreto reciclado del 6%, esta subbase granular disminuye a 12”.

El cuerpo de trabajo de Ochoa (2019) es un claro ejemplo sobre que el concreto reciclado posee químicamente remanentes residuales que podrían afectar el mejoramiento del suelo. Explica que la estabilización producida en su trabajo rodea los límites de una estabilización química por la composición mineralógica efectuada en el concreto reciclado, efectuada por medio de una difracción de rayos x (DRX), análisis termogravimétrico (TG) y la termogravimetría derivada (DTG). En el DRX, encontró en el reciclado fino: Ferritoaluminato tetra-cálcico (Felita), Silicato tri-cálcico (Alita), Carbonato de calcio (CaCO_3), Silicato di-cálcico (Belita), Aluminato tri-cálcico (C_3A), Oxido de calcio (CaO) y Sulfato de calcio (CaSO_4), estos compuestos químicos remanentes en el cemento portland son actores influyentes acreditando el tipo de estabilización mencionado.

En los resultados de TG y DTG, expone principalmente coincidencias en sus resultados, logrando corroborar la presencia de los minerales de cemento mencionado anteriormente en el RCD fino. Este análisis mineralógico concluye que existen cantidad de partículas de cemento sin hidratar, teniendo un potencial de hidratación residual y, por ende, un diferencial de resistencia pendiente. Sería interesante realizar ensayos mineralógicos previo a ser utilizado en algún uso específico al concreto reciclado, en este caso de mejorar las propiedades mecánicas del suelo, existiría un potencial de predicción en cómo influye el material reciclado y los laboratoristas y demás profesionales, contemplar mejores opciones en sus decisiones profesionales.

Los frutos obtenidos por Gonzales e Infante (2021) muestran la importancia de no solo estudiar como el concreto reciclado afecta los suelos, sino estudiar las proporciones necesarias ya quedé la adición de 40% y 50% de RCD es una cantidad exorbitante para el CBR mínimo de mejoramiento según el INVIAS, reflejándose en mayores costos. Por parte del autor de la monografía, se recomienda utilizar como guía el trabajo de (Torres Atalaya, 2021) para reutilizar el concreto residual producto de edificaciones, laboratorios y malla vial en esta subrasante y así continuar con estudios de suelos y mejoramiento en la localidad de Rafael Uribe.

Al revisar la **Tabla 4**, se puede evidenciar sobre la investigación de Borda (2022), el ensayo de compactación tuvo resultados no esperados, ya que el comportamiento general de las dosificaciones generó una densidad menor a la muestra de suelo natural, aún más, aumentando el contenido de humedad óptimo para cada muestra que se ensayó. Teniendo en cuenta que el concreto reciclado, sus tamaños corresponden a de gravas bien clasificadas (GW), existe un antecedente realizado por (Kianimehr et al., 2019), cuya investigación se basa en la estabilización de un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL), con material de concreto reciclado (RCA) de tamaño máximo de partícula de 2,36 mm (tamiz N8) que resultó en un aumento de la cantidad de humedad óptima y una disminución de la densidad máxima seca. Para este laboratorio, se concluye que el RCA posee superficies porosas/esponjosas que buscan absorber el agua libre permeando en la mezcla suelo-RCD, interpretándose que para alcanzar la MDS, se requiere mayor humedad. Asimismo, también incide la diferencia de las gravedades específicas tanto del suelo arcilloso ($G_s = 2.697$) y del concreto reciclado ($G_s = 2.609$), ya que el material estabilizador al ser menor que el suelo, podría ser más difícil compactarlo por su menor masa para densificar. Otro antecedente es el de (Hymavathi et al., 2018 citado en Salazar Pretel, 2022) en que la reducción de la densidad en el ensayo de compactación puede suceder por la gravedad específica del RCD inferior a G_s del

suelo, esto ocasiona que en el ensayo de proctor, el material de mejoramiento es difícil someterlo a dicho proceso, ya que tendría menos masa para densificar.

El trabajo de Cuesta (2014) es clara evidencia de que el concreto reciclado no es el agente estabilizador más apto para los problemas geotécnicos que puedan existir si va trabajar de manera sinérgica con la cal, como es este caso. Por supuesto, se clarifica que los porcentajes aumentaron las propiedades mecánicas del suelo, pero no cambio en gran magnitud a comparación de los otros trabajos de esta monografía.

7.4 Visita al parque ecológico reciclante Bioagricola S.A.

El 30 de agosto de 2023, se realiza una visita técnica al parque ecológico reciclante que posee la empresa Bioagricola ubicado en la vereda San Juan Bosco, en el km 18 de la vía a Puerto Porfía, Villavicencio (Meta).

Figura 1.

Parque ecológico reciclante en el km18 de la vía a Puerto López, Villavicencio.



Nota. Tomado de Bioagricola S.A.

El parque ecológico ha sido solución para la disposición de residuos finales, sean RCD, orgánicos, entre otros que requieran ser tratados de una manera bioagradable. Además, los materiales de procedencia no solo se limitan en Villavicencio, sino de municipios aledaños. Centrándose sobre los RCD, los materiales que más llegan son: prefabricados de concretos, restos de columnas, vigas, sardineles, bloques, etc. Otros materiales son residuos de material granular producto de excavaciones y demoliciones. Todo esto se muestra en la **Figura 2**.

Figura 2.

Residuos de concreto, excavaciones y demoliciones.



Constantemente los RCD, se realiza una intervención minuciosa, por parte de los obreros de la empresa buscando agentes contaminante o materiales que no correspondan a la clasificación, en este caso, RCD y son transportados a otra sección de Bioagricola correspondiente al material de extracción.

Informándose sobre cómo se clasifican los materiales y la capacidad de almacenamiento que emplea el parque, existen puntos designados por la empresa para llevar los residuos que necesitan una disposición final, embarcando clasificaciones desde contaminantes o no contaminantes a tipo de residuo tales como constructivos, orgánicos, etc. El lote para los RCD cuenta con una capacidad de 380000 m³, como se muestra en la **Figura 3** capacidad que va a ser aumentada en un futuro cercano por otro espacio de mayor volumen al actual con capacidad en toneladas. Los conductores que llegan al parque con estos desechos pasan inicialmente por una

báscula, llenan el registro indicando las características del transporte indicando el sitio de procedencia y material, llega a las zonas de desembarque correspondiente y finaliza con la báscula para registrar el peso final y cuantificar los materiales transportados.

Figura 3.

Zona de disposición final exclusiva para los residuos de construcción y demolición.



Hablando sobre el manejo que se les da a los residuos puestos en escena, si son de tamaño enorme, se procede a una trituración retirando aceros precios y demás materiales que puedan ocasionar daños a la maquina trituradora tal como se muestra en la **Figura 4**. La recolección de varilla termina siendo una recolección grupal con todas las que estén en el área, terminando con forma de barrilla, que son esos arbustos del viejo oeste que siempre aparecen rodando y volando, esto es crucial para evitar el punzonamiento de estos elementos con vehículos que entren en la zona. Cuando se trituran, disponen de zarándelas que permiten separar el material fino del grueso

triturado, dependiendo del tamaño que necesitan. Estas máquinas cuentan con tres bandas transportadoras de tamaño 2 in, 3 in y arenas.

Figura 4.

Recolección de barras, trituradora, banda de transportadoras y material procesado.



Nota. Fuente: Propia.

Una pregunta que surge es la reutilización de estos RCD para proyectos nuevos, cuya respuesta se contesta empezando con que la empresa crea elementos prefabricados con material reciclante. Cuando los finos extraídos no son suficientes para cubrir la demanda de esta actividad industrial, recurren a conseguir el material faltante por proveedores externos; esto se puede detallar en la **Figura 5**.

Figura 5.

Cubierta utilizada para la fabricación de elementos prefabricados a base de RCD.



Nota. Se observa que al lado se encuentran material fino de proveedores externos.

Los resultados de esto es crear placas para senderos peatonales. Postes, materas, bancas para una mesa, tope llantas, gaviones que se utilizan para delimitar el área de relleno de los RCD. Explicaban que se exporta demasiado los senderos para que la gente lo compren y puedan utilizarlos como camino peatonal en fincas, balnearios y demás sitios pertinentes. Los senderos están reforzados con mallas electrosoldadas debido a la composición del concreto y su uso en fines estructurales como se muestra en la **Figura 6**.

Figura 6.

Elementos prefabricados de concreto a partir de materiales RCD.



Bioagricola está realizando unos puntos ecológicos para disponerlos en la ciudad con el logo de la empresa. Estos puntos van a estar hechos de concreto debido a que previo a este material, estaban fabricados por acero, hierro, plástico, pero las personas robaban todo esto generando perdidas y una pérdida de propósito de actividad industrial. Resolviendo casi la totalidad del problema antrópico, los puntos de concreto tenían incrustados como parte de su estructura un alma de acero donde se disponía para colocar la bolsa de basura, pero el elemento de acero era también

secuestrado. El punto ecológico cuenta con una cubierta del mismo concreto para evitar la entrada de aguas lluvias y termina con un hueco trasero para hacer aseo interno y retirar las bolsas de basura, revísese en la **Figura 7**.

Figura 7.

Puntos ecológicos de Bioagricola.



Para terminar con el empleo de materiales RCD, no se tiene pensado por el momento, utilizar los RCD como componente de elementos estructurales convencionales ya que al realizar esto, incurriría en una falta tanto ética como técnica ya que los elementos estructurales deben poseer materiales de primera por su nivel de importancia para las personas. Concluyendo toda esta visita, para las futuras investigaciones que se quiera dar al concreto reciclado, es que la empresa Bioagricola está dispuesta a generar convenios con personas que requieran emplear este RCD como protagonista de investigaciones, artículos y demás trabajos de alto valor.

8. Conclusiones

- ❖ Se encuentra que las principales causas de explotación minera en Colombia son las siguientes: una de las actividades económicas más importantes de la nación, la ineficiencia general de las políticas gubernamentales sobre el control de las actividades mineras, donde son aprovechadas para ejercer minería ilegal; finalizando con el entorno ambiental que posee Colombia, rico en minerales en su vasto territorio.
- ❖ El principal agente que influye en las características y propiedades de los triturados de concreto reciclado es el mortero adherido.
- ❖ En los trabajos consultados sobre el uso del concreto reciclado, se presenta muy poca información sobre las características del RCD, por ende, realizar más ensayos sobre los residuos de concreto, especialmente conocer la densidad y textura, genera una idea de cómo influirá en el suelo ya que se vio como la gravedad específica afecta en el ensayo de compactación.
- ❖ El parque ecológico reciclante contempla la importancia que tiene los RCD, independiente si puede tener fines industriales (como los elementos descritos anteriormente) o no industriales (generalmente para delimitar y ampliar más la zona de relleno de estos residuos).

9. Recomendaciones

- ❖ En Colombia, se presenta muy poca literatura sobre la caracterización y mejoramiento de suelos con concreto reciclado, siendo una oportunidad investigativa para estudiantes de pregrado.
- ❖ Establecer una metodología de uso sobre el concreto reciclado como agente mejorador de suelos es una tarea muy compleja. Por consiguiente, crear un macroproyecto donde varios actores realizan ensayos de laboratorio con cada tipo de suelo, con diversos porcentajes de dosificación.
- ❖ Generar mayor conocimiento sobre las características mecánicas y químicas del concreto reciclado, ya que varias de estas pueden predecir como impactara si se utiliza como agente de mejoramiento del suelo.

10. Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021, 28 de octubre). *¿Sabes qué son los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), y cómo disponerlos desde tu casa o empresa?*. Alcaldía Mayor de Bogotá. https://ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente/-/asset_publisher/Fziya03up5Z6/content/-sabes-que-son-los-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-y-como-disponerlos-desde-tu-casa-o-empresa-
- American Concrete Institute (ACI) Committee 230. (2009). Report on Soil Cement. American Concrete Institute. http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20230.1R-09%20Report%20on%20Soil%20Cement_MyCivil.ir.pdf
- Arriaga Tafhurt, L.E. (2013). Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado. [Trabajo de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito"]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/118#:~:text=Descripci%C3%B3n%3A%20Utilizaci%C3%B3n%20de%20agregado%20grueso%20de%20concreto%20reciclado,Arriaga%20Tafhurt%2C%20Libardo%20Enrique%20->
- Asociación Colombiana de Minería (ACM). (2021, 8 de noviembre). Minería en cifras. Asociación Colombiana de Minería. <https://acmineria.com.co/mineriaencifras-2021/>
- Borda Ingaluque, D. R. (2022). Estabilización de subrasantes modificados con concreto reciclado en carreteras vecinales, carretera Caracoto-Coata, Puno 2021. [Trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/89267>
- Castillo Herrera, L. C. (2018). Efectos ambientales de la explotación minera en los páramos de Colombia 2000-2017. [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/34654/1/2018_%20explotacion_minera_paramos.pdf
- Cisneros Rimachi, E. C. y Tito Villegas, I. P. (2021). Diseño vial adicionando desechos de concreto en la subrasante del pavimento flexible de la carretera central, Chosica - Matucana, Lima 2021. [Trabajo de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82810?show=full>

Congreso de Colombia (2001, 8 de septiembre). Ley 685 de 2001. Código de Minas.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=9202>

Cuesta Chalparizán, A. A. (2014). Evaluación del comportamiento mecánico de un suelo fino al adicionarle 3% de cal y diferentes porcentajes de concreto reciclado. [Trabajo de grado, Universidad del Valle]. Repositorio Institucional.
<https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/5d13a929-5fad-43ed-9bd4-bd870f4e7065/content>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). Boletín técnico estadísticas de cemento gris (ECG) enero 2021. DANE.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_cemen_gris_ene21.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). Boletín técnico estadísticas de cemento gris (ECG) enero 2022. DANE.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_ECG_ene22.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2022). Producto Interno Bruto (PIB) II trimestre 2021 preliminar. DANE.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IITrim22_produccion_y_gasto.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Boletín técnico estadística de concreto premezclado (EC) enero 2023. DANE.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/concreto/Bol_concreto_ene_23.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Boletín técnico estadísticas de cemento gris (ECG) enero 2023. DANE.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/cemento_gris/Bol_ECG_ene23.pdf

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Boletín técnico licencias de construcción (ELIC) enero 2023. DANE.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/licencias/bol_lic_ene23.pdf

- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2023). Producto Interno Bruto (PIB) información III trimestre 2023pr. DANE. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/PIB/bol-PIB-IIITrim2023.pdf>
- Fuentes López, H. J., Ferrucho Parra, C. C. y Martínez González, W. A. (2021). La minería y su impacto en el desarrollo económico en Colombia. *Apuntes del Cenes*, 40(71), 189-216. <https://www.redalyc.org/journal/4795/479569240008/479569240008.pdf>
- Garzón Bolaños, K. J. (2019). La estrategia del estado colombiano para combatir la minería ilegal. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repository.ucatolica.edu.co/items/b037bc4c-ad2e-4e5b-8da5-870e03c76886/ful>
- Gonzales Castellanos, H.S. y Infante Molina, C.A. (2021). Análisis del comportamiento mecánico de los suelos encontrados en la localidad de Rafael Uribe al ser mejorados con residuos de construcción y demolición (RCD). [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/26622/InfanteMolinaCamiloAndr%3%a9s2021.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Güiza Suárez, L. (2013, 27 de agosto). La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña. *Dyna*, 80(181), 109-117. <https://repository.urosario.edu.co/items/21f2fdfd-1e02-4084-b1d0-c70355c4b40e/full>
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022, 17 de diciembre). Especificaciones generales de construcción de carreteras 2022. INVIAS. <https://www.invias.gov.co/index.php/normativa/politicas-y-lineamientos/documentos-tecnicos/14480-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-2022-1>
- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). (2022, 6 de mayo). Normas de ensayo de materiales para carreteras. INVIAS. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-normas-de-ensayo-de-materiales-para-carreteras>
- Jordan Saldaña, J. C. y Viera Caballero, N. (2014). Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/2084>
- Kianimehr, M., Tabatabaie Shourijeh, P., Mohammad Binesh, S., Mohammadinia, A., y Arulrajah, A. (2019). Utilization of recycled concrete aggregates for light-stabilization of

- clay soils. Construction and Building Materials, Vol. 227. <https://www.sciencedirect.com/crai/ustadigital.usantotomas.edu.co/science/article/pii/S0950061819322226>
- Leal Esper, Y. E. (2019). *Minería ilegal conflicto armado y culneración al medio ambiente*. Infometric@ - Serie Sociales Y Humanas. <http://www.infometrica.org/index.php/ssh/article/view/44>
- Fedesarrollo. (2012). Impacto socioeconómico de la minería en Colombia. Sector de Minería a Gran Escala. https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/375/Impacto%20socioeconomico%20de%20la%20minería%20en%20Colombia%20-%20Informe_Impacto_de_la_mineria_Final%2026%20abril.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (Minciencias). (2016, 11 de septiembre). Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo. Minciencias. https://minciencias.gov.co/sala_de_prensa/colombia-el-segundo-pais-mas-biodiverso-del
- Ochoa Averos, S. R. (2019). Estudio experimental sobre la estabilización de una subrasante limo arcillosa con RCD-concreto fino (partículas < 2mm) para aplicación en pavimentos. [Trabajo de grado, Universidade Federal da Integração Latino-Americana]. Repositorio Institucional. <https://dspace.unila.edu.br/bitstream/handle/123456789/5903/Estudio%20Experimental%20sobre%20la%20Estabilizaci%3%b3n%20de%20una%20Subrasante%20Limo%20Arcillosa...?sequence=1&isAllowed=y>
- Osorio Fernández, Y. (2015). Explotación minera en el paramo de Pisba-Boyacá. [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7798/OSORIOFERNANDEZ AURAYESIKA2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, M. M. y Betancur, A. (2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. Sociedad y Ambiente, (10), 95-112. <https://revistas.ecosur.mx/sociedadyambiente/index.php/sya/article/view/1654/1595>
- Pisco Guabave, D. A. (2019). Diagnostico socio-ambiental de la disposición final de los residuos de la construcción y demolición (RCD) en botaderos ilegales en la comuna cuatro de la ciudad de Villavicencio. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio

Institucional.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/17924/2019dairopisco.pdf?sequence=13&isAllowed=y>

PORTAFOLIO. (2022, 21 de julio). Récord de inversión extranjera en primer semestre: cuánto dinero llegó. Portafolio. <https://www.portafolio.co/negocios/inversion/inversion-extranjera-directa-en-colombia-en-el-primer-semester-de-2022-568444>

PORTAFOLIO. (2021, 17 de agosto). Los sectores que más aportan al PIB del segundo trimestre en el país. Portafolio. <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/pib-segundo-trimestre-del-2021-sectores-que-mas-aportaron-555216>

Quintero Esquivel, J. M. (2017). Suelo-cemento con sustitución en franja granulométrica con concreto reciclado. [Trabajo de grado, Universidad de la Salle]. Repositorio Institucional. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1119&context=ing_civil

Fabian Ramos, J. S. y Gonzales Paredes, L. A. (2021). Inclusión de concreto reciclado al 7%, 11% y 21% para obtener un mejoramiento de CBR en suelos arcillosos utilizados a nivel de subrasante en obras de saneamiento. [Trabajo de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional. <https://repository.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29193/Fabian%20Ramos%2c%20%20Jerson%20Smith%20-%20Gonzales%20Paredes%2c%20Luis%20Alberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodrich Guevara, S. R. y Silva Ocas, J. C. (2018). Influencia del agregado de concreto reciclado sobre las propiedades mecánicas en un concreto convencional Trujillo 2018. [Trabajo de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional. <https://repository.upn.edu.pe/handle/11537/14824>

Romero, S. G., Rodríguez, C. L. y Ronderos, S. (2016). Implicaciones de la minería ilegal. Ploutos (Activa de 2011 a 2021), 5(1), 36-41. <https://journal.universidadean.edu.co/index.php/plou/article/view/1390>

Rondón Quintana, H. A. y Reyes Lizcano, F. A. (2016). Materiales o ligantes asfálticos. En Pavimentos Materiales, construcción y diseño. (ed.). Ecoe Ediciones. <https://elibro.net/es/lc/usta/titulos/70435>

Torres Atalaya, M. V. (2021). *Adición de concreto reciclado para el mejoramiento de la subrasante en la avenida Pacasmayo, urbanización Los Laureles, Callao 2021*. [Trabajo

de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74597>