

**Characterization of waste material from open pit coal mining for road uses:
case study of El Descanso mine, Colombia**

**Caracterización del material estéril de la minería de carbón a cielo abierto
para usos viales: caso de estudio mina El Descanso, Colombia**

D'lanys Soto Ortiz¹; Diana Isabel Giraes-Puerta²; Dino Carmelo Manco-Jaraba³

¹Ingeniera Geóloga, Fundación Universitaria del Área Andina. E-mail: delanysoto@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4659-249X>

²Ingeniero Geólogo, Fundación Universitaria del Área Andina. E-mail: dgiraes@areandina.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5646-6334>

³M. Sc. Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, Universidad de La Guajira. E-mail: dinomancojaraba@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8506-094X>.
Email: dinomancojaraba@gmail.com o dcmancoj@uniguajira.edu.co

Cite this article as: Soto Ortiz D., Giraes-Puerta D., Manco-Jaraba D. C., “Caracterización del material estéril de la minería de carbón a cielo abierto para usos viales: caso de estudio mina El Descanso, Colombia”, *Prospectiva*, Vol. 23 N° 1 2025.

Recibido: 02/02/2024 / Aceptado: 02/11/2024

<http://doi.org/10.15665/rp.v23i1.3444>

RESUMEN

La minería es una actividad que requiere del uso y manejo de diversos materiales para sus operaciones, destacando la construcción y mantenimiento de vías que contribuyen a la normal circulación de sus equipos, optimización de los procesos de acarreo y cuidado. El objetivo de esta investigación es caracterizar el material estéril de la minería de carbón a cielo abierto de los mantos 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 200, 250 y 260 para usos viales: caso de estudio mina El Descanso, Colombia. Metodológicamente se procedió inicialmente en una revisión documental en las diferentes bases de datos científicas; posteriormente se realizó una etapa observacional de campo complementada con toma de 150 muestras aleatorias en los frentes de explotación, aplicándoles ensayos de Slake Durability Test, intemperismo, compresión simple y carga puntual, apreciándose el comportamiento de cada tipo de material. La utilidad para las vías permanentes presenta un rango de durabilidad de 0,87-0,99 y porcentaje de disolución de 1%–13%, vías temporales presentan un rango de durabilidad de 0,68-0,84 y un porcentaje de disolución de 32-16%, y vías para botadero presentan un rango de durabilidad de 0,14-0,58 y un porcentaje de disolución de 42%-86%. En conclusión, los mantos 150, 200 y 260 presentaron características favorables para usos viales de tipo permanentes, con desgaste inferior al 9%, resistencia a intemperismo mayor a 15 días de exposición con pérdidas promedio inferior al 36% y resistencia en los laboratorios de carga puntual promedio de 6,3 MP.

Palabras clave: Carbón; material; minería a cielo abierto; recursos minerales, vía.

ABSTRACT

Mining is an activity that requires the use and handling of various materials for its operations, highlighting the construction and maintenance of roads that contribute to the normal circulation of its equipment, optimization of hauling processes and care. The objective of this research is to characterize the waste material from open pit coal mining of the 100, 110, 120, 120, 130, 140, 140, 150, 160, 160, 170, 200, 250 and 260 layers for road uses: case study of El Descanso mine, Colombia. Methodologically, we initially proceeded with a documentary review in the different scientific databases; subsequently, a field observational stage was carried out, complemented with the taking of 150 random samples in the exploitation fronts, applying Slake Durability Test, weathering, simple compression and point load tests, appreciating the behavior of each type of material. The utility for permanent roads presented a durability range of 0.87-0.99 and a dilution percentage of 1%-13%, temporary roads presented a durability range of 0.68-0.84 and a dilution percentage of 32-16%, and dump roads presented a durability range of 0.14-0.58 and a dilution percentage of 42%-86%. In conclusion, the 150, 200 and 260 layers presented favorable characteristics for permanent road uses, with wear of less than 9%, resistance to weathering greater than 15 days of exposure with average losses of less than 36% and resistance in point load laboratories averaging 6.3 MP.

Keywords: Coal; material; open pit mining; mineral resources, via.

1. INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad descentralizada técnico racional que propende del funcionamiento integral de cada uno de los diferentes actores u organismos; dentro de ella está la construcción y mantenimiento de las vías que contribuyen a la normal circulación de sus equipos, optimización de los procesos de acareo y cuidado. Las intensas variaciones climáticas, deficiencia de la programación de mantenimiento y falta de capa de rodadura adecuada en las vías contribuyen a la estructura, geometría y calidad, viéndose directamente reflejado en mayores costos de operación y posibles accidentes.

La selección del tipo de material para usos viales está determinada por diversas variables y factores de acuerdo con su aplicabilidad, condiciones laborales y uso, destacando criterios técnicos, económicos, recursos naturales, idoneidad, entre otros [1]. En la actividad minera la estructura, geometría, mantenimiento y calidad vial contribuye al desarrollo óptimo en sus procesos, generando condiciones de seguridad, optimización de tiempo, calidad de equipos, recursos existentes, económicos, entre otros.

Drummond Intemacional es uno de los complejos mineros (Mina Pribbenow y El Descanso, Rincón Hondo, Similoa y Cerrolargo) a cielo abierto más grande de Colombia, que inició operación aproximadamente en la década de los años 90 y ha extraído carbón por más de 20 años. Actualmente las estructuras y geometrías típicas viales, operatividad, selección de material estéril y condiciones geoambientales en la mina El Descanso, desfavorecen la vida útil de las vías, por lo que es necesario realizar mantenimientos permanentes, generando aumentos de costos de operación y posibles accidentes, no obstante, investigaciones como las efectuadas por [2]–[11], han dado indicios de la importancia de los aspectos técnicos de los materiales para sus usos.

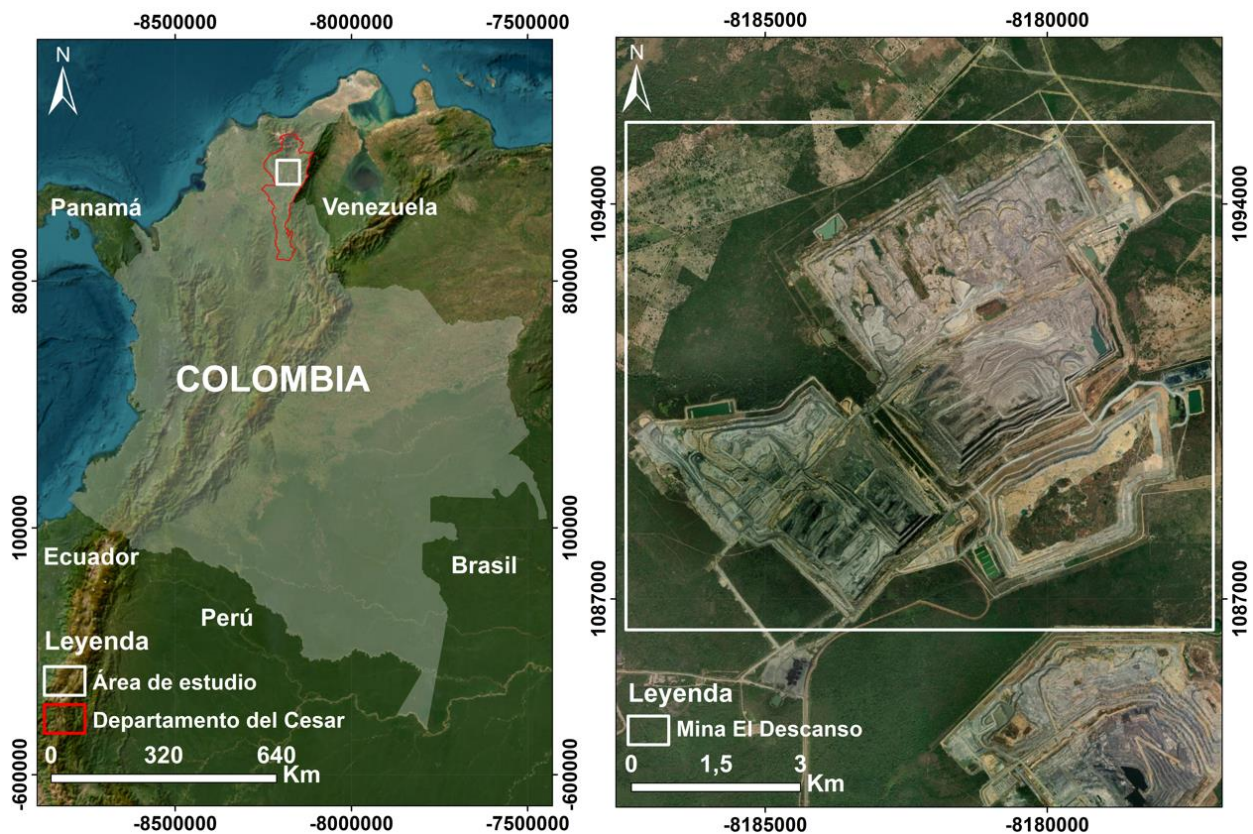
El objetivo de esta investigación es determinar el uso vial del material estéril de los mantos 100, 110, 120, 130, 140, 150, 170, 200, 250 y 260 de la mina El Descanso, Colombia.

2. LOCALIZACIÓN

La Mina Drummond LTDA se encuentra localizada en la Cuenca Cesar – Ranchería, en el centro del departamento del Cesar (Colombia), geográficamente limita al norte con el departamento de La Guajira, sur con el departamento de Santander, este con la Serranía de Perijá (SP) y Venezuela y al oeste con el departamento del Magdalena (Figura 1).

Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Figure 1. Location of the study area.



3. METODOLOGÍA

Este estudio tiene dos fases, la primera basada en la búsqueda, recopilación y revisión exhaustiva de las publicaciones realizadas a nivel nacional e internacional en las diferentes bases de datos académicas y científicas, repositorios institucionales y páginas web. La segunda fase basada en trabajos de campo complementada con toma de 150 muestras aleatorias en las partes altas de los mantos 100, 110, 120, 130, 140, 150, 170, 200, 250 y 260 a los que se le realizó voladura del bloque D pit2. A 150 se le aplicaron ensayos Slake Durability Test [12]–[15], para determinar la durabilidad de la roca en ciclos de humedad secado y entre las rocas; ensayos de intemperismo [16]–[19], para determinar las condiciones frente al entorno externo; y ensayos de carga puntual y compresión simple [20], [21], para determinar cuánto es capaz de soportar la roca teniendo en cuenta los pesos soportados en la vía por los equipos mineros.

4. GEOLOGÍA REGIONAL

Formación Los Cuervos (E1c)

Aflora al sureste, noreste y este del municipio de La Jagua de Ibirico, corredor carbonífero del Cesar, y en la loma de Los Venados, al suroeste de Boquerón y en área de explotación de Drummond. Esta formación presenta tres (3) miembros: Miembro superior compuesta por rocas arcillo limoso, intercaladas con delgadas niveles arenosos y carbón en, el Miembro intermedio presenta areniscas cuarzosas con altos contenidos de hierro y el Miembro inferior por cuarzo, óxidos de hierro en pequeñas costras y nódulos, feldespato, mica y materia orgánica. Limolita gris oscura con nódulos ferruginosos, hardground, materia orgánica y, en algunas capas, bioturbación; laminación plana paralela continua y estratificación cruzada. Arcillosita, shale carbonoso y arcillolitas abigarradas y cintas de carbón menores a 40 centímetros. Estratigráficamente la base se caracteriza por ser arenosa, y los niveles de limolita y arcillosita aumentan hacia la parte media y techo del miembro, donde se intercalan con delgadas capas de areniscas y carbón que permite definir un límite aproximado con el miembro medio [22], [23].

Formación Barco (Eb)

Definida por Notestein et al. (1944), presenta primordialmente areniscas con tonalidades amarillentas, grano fino, subangulares deleznales y ligeramente arcillosas con estratificación cruzada y delgadas intercalaciones de arcillolitas. Las capas varían en espesor de 0,30 a 20 m. Un tipo de arenisca frecuente en esta formación, especialmente en la parte media e inferior, es la llamada arenisca brillante, son areniscas relativamente limpias, de grano fino a medio, en las cuales el crecimiento secundario de granos de arena ha formado un gran número de caras cristalinas que brillan al sol, de aquí su nombre [22], [23].

Formación Molino (K2m)

Es una sucesión monótona de shales gris azulado y gris verde oliva a negros, calcáreos con abundantes microfósiles. Presenta delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino glauconíticas, limolitas y calizas grises a negras en capas delgadas [22], [23].

Formación Cuesta (Nc)

Según Notestein [24] presenta principalmente conglomerados ferruginosos con areniscas deleznales, estratificación cruzada ondulosa y plana evidenciada por tonalidades morados que continua en la estructura sedimentaria y se caracteriza por formar crestas de tono rojizo que enmarcan una estructura sinclinal. Esta formación está constituida por sedimentos semiconsolidados, mal calibrados con algunas intercalaciones de conglomerados, limolitas y arcillolitas, ocasionalmente presenta costas de óxidos de hierro [22], [23].

Depósitos recientes (Qal)

Corresponden a sedimentos recientes acumulados por las corrientes en la zona plana y semiplana; su expresión morfológica es una superficie horizontal (plana) donde sus componentes son observables.

Geología estructural

Eventos trascendentales en el bloque Andes Norte o Norandino están relacionados con la actividad geotectónica de la Falla de Oca y la placa caribe [25], las cuales provocaron esfuerzos que ocasionaron una rotación dextral de la región occidental del bloque, afectando la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) [26], la Serranía del Perijá (SP) y la cuenca Cesar – Ranchería [27], dicha rotación generó un acortamiento en la cuenca Cesar – Ranchería, y la fragmentación del basamento tanto de la Sierra Nevada como la Serranía del Perijá [28]: la falla Santa Marta-Bucaramanga, que limita la cuenca al Suroeste, falla de rumbo tipo sinestrolateral [29]–[31].

La cuenca Cesar – Ranchería, considerada una depresión intra montañosa, afectada por la interacción de la placa caribe con la placa suramericana [31], estructuralmente levantada por la Serranía del Perijá, como resultado del movimiento oblicuo y colisión de la placa caribe y suramericana.

La falla “El Hatillo” es una falla inversa regional con salto vertical del orden de los cientos de metros. Este salto no se ha determinado por perforaciones sino por la interpretación de las líneas sísmicas que se adquirieron en los diferentes planes exploratorios desarrollados por diferentes compañías petroleras en la cuenca.

5. RESULTADOS

Durante el reconocimiento del área de estudio, se evidenció que las vías de la mina El Descanso presentan deformaciones (Figura 2A) por hundimientos y agrietamiento, debido al tránsito constante de maquinaria pesada (Figura 2B) y liviana, calidad de materiales utilizados en las labores de construcción y falta de mantenimiento. Actualmente, cuenta con vías exclusivas para el tránsito de equipo liviano, tránsito de equipo pesado y tránsito de todo tipo de equipo, todas estas por fuera y dentro del Pit.

Figura 2. A. Vías de la mina El Descanso. B. Camiones mineros 793F.

Figure 2. A. El Descanso mine roads. B. 793F mining trucks.

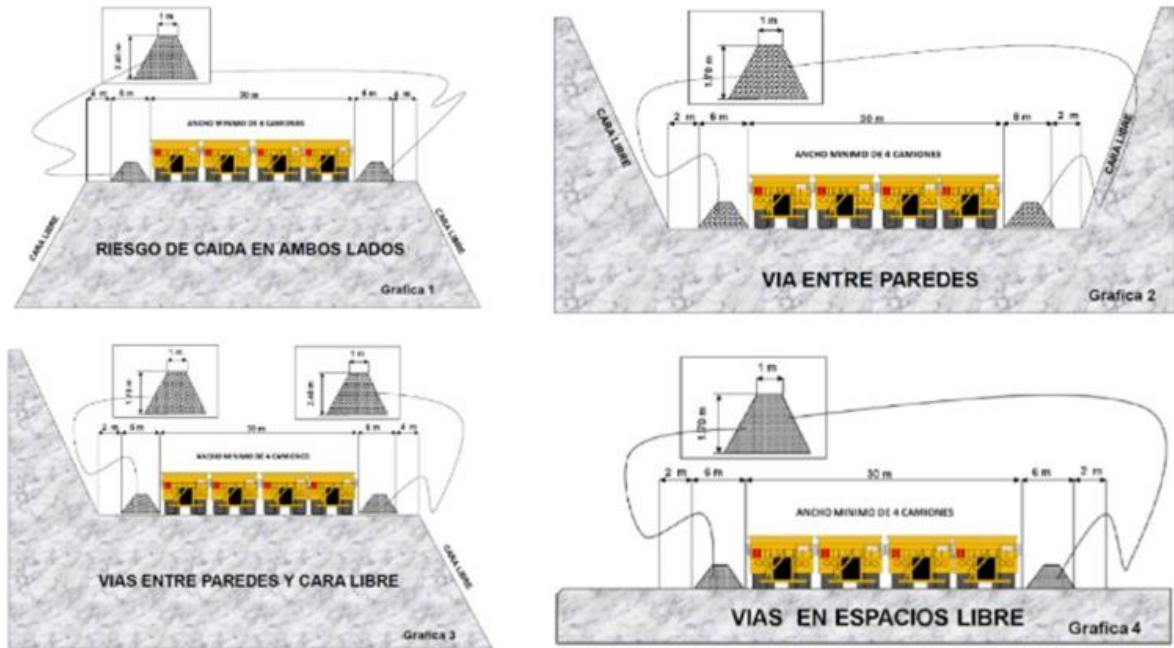


Los principales aspectos del diseño de vías de acarreo son: diseño geométrico y diseño estructural (Figura 3). El diseño geométrico está en función al tamaño de la flota, largo, ancho y capacidad de maniobra, permitiendo el mínimo esfuerzo mecánico de los camiones durante el acarreo de gradientes y tracción, seguridad en la tracción en curvas, visibilidad entre la flota durante su tránsito en interacciones y curvas verticales, y direccionar el agua de escorrentía superficial producto de las precipitaciones hacia las estructuras de drenajes, manteniendo el agua el menor tiempo posible en la superficie de rodadura. El diseño estructural se basa en soportar las cargas a las cuales está sometida durante el tiempo de vida para la cual

está diseñada, permitiendo tracción, la mínima deformación durante el acarreo y la menor frecuencia de mantenimiento con reemplazo de material.

Figura 3. Estándar de vías mina El Descanso.

Figure 3. El Descanso mine road standard.



Fuente: Drummond LTDA.

Slake durability test

Las muestras fueron clasificadas y categorizadas con base a los resultados del test de durabilidad de las rocas, estableciéndose diversas utilidades para vías permanentes, vías temporales y botadero. La utilidad para las vías permanentes presenta un rango de durabilidad de 0,87-0,99 y un porcentaje de disolución de 1%–13%, vías temporales presentan un rango de durabilidad de 0,68-0,84 y un porcentaje de disolución de 16-32%, y vías para botadero presentan un rango de durabilidad de 0,14-0,58 y un porcentaje de disolución de 42%-86% (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados del ensayo estándar internacional society for rock mechanics para evaluar la durabilidad de las rocas arcillosas.

Table 1. Results of the international standard Society for Rock Mechanics test to evaluate the durability of clay rocks.

Seam	Level	Muestras	Slake Durability Index	% Dissolved	Utilidad
100	-35	1	0,56	44%	Botadero
		2	0,58	42%	Botadero
	-45	3	0,51	49%	Botadero
110	-55	1	0,14	86%	Botadero
		2	0,77	23%	Vías temporales
		3	0,84	16%	Vías temporales
		4	0,69	31%	Vías temporales
120	-45	1	0,84	16%	Vías temporales

		2	0,99	1%	Vías permanentes
130	-225	1	0,9	10%	Vías permanentes
		2	0,72	28%	Vías temporales
	-55	3	0,82	18%	Vías temporales
140	-55	1	0,93	7%	Vías permanentes
		2	0,87	13%	Vías permanentes
	-65	3	0,76	24%	Vías temporales
		4	0,79	21%	Vías temporales
150	-65	1	0,94	6%	Vías permanentes
		2	0,94	6%	Vías permanentes
170	-65	1	0,68	32%	Vías temporales
		2	0,82	18%	Vías temporales
200	-65	1	0,87	13%	Vías permanentes
		2	0,84	16%	Vías temporales
		3	0,95	5%	Vías permanentes
250	-65	1	0,97	3%	Vías permanentes
		2	0,82	18%	Vías temporales
	-75	3	0,97	3%	Vías permanentes
		4	0,77	23%	Vías temporales
260	-75	1	0,87	13%	Vías permanentes

Intemperismo

Las muestras se sometieron a condiciones naturales extremas en un rango de tiempo de dos (2) a quince (15) días, evidenciándose que los mantos 150, 200, 250 y 260 presentan una dureza moderadamente media a fuerte y perdida no mayor al 44%, su reacción tiene que ver con su durabilidad, en términos de eficiencia de respuesta (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de intemperismo.

Table 2. Weathering analysis.

DURABILITY ANALYSIS % DISSOLVED					
Overburden	After 48 hours	After 192 hours	After 360 hours	Rock types	Observation after hand pressure
100	92%			Sedimentaria	Arcilla masiva, con presencia de materia orgánica y raíces de platas. Presenta una dureza débil y fractura concoidea
110			83%	Sedimentaria	Arcillolita masiva a ondulosa con una dureza moderadamente débil
120			85%	Sedimentaria	
130			80%	Sedimentaria	
140			75%	Sedimentaria	Arcillolita carbonosa a arenosa, por planos de fisibilidad, tiene una dureza moderadamente débil y una fractura irregular
150			44%	Sedimentaria	Arenisca arcillosa, de grano muy fino a fino, presenta laminación plano-paralela, fractura concoidea y dureza moderadamente fuerte
200			36%	Sedimentaria	

250			33%	Sedimentaria	Arcillolita carbonosa con laminación plano-paralela y dureza media
260			27%*	Sedimentaria	

Carga puntual y compresión simple

Los ensayos de carga puntual y compresión simple permitieron determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, considerando los pesos soportados en la vía por los equipos pesados, identificando este factor como el principal causante del deterioro. Las pruebas de carga puntual se realizaron en muestras con los menores porcentajes de pérdida por intemperismo, correspondientes a los mantos 150, 200, 250 y 260, obteniendo el manto 200 mayor resistencia, alcanzando un valor de 9 MPa, seguido por el manto 250 con 8 MPa (ver Tabla 3); los ensayos de compresión simple se aplicaron a los mantos 100, 110, 130, 140, 150, 200, 250 y 260, presentando un rango de resistencia entre 0,5 y 9 MPa, siendo el manto 250 el que alcanzó el valor más alto, con 9 MPa.

Tabla 3. Compresión simple y carga puntual.
Table 3. Simple understanding and point loading.

COMPRESIÓN SIMPLE		CARGA PUNTUAL	
Manto	Resistencia (Mp)	Manto	Resistencia (Mp)
100	1	150	4
110	0,5	200	9
130	1	250	8
140	1	260	6
150	1		
200	3		
250	9		
260	3		

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa Drummond LTDA y a la Fundación Universitaria del Área Andina sede Valledupar.

5. CONCLUSIONES

Los mantos 150, 200 y 260 demostraron ser los más adecuados para la construcción de vías permanentes en la mina El Descanso, gracias a su bajo porcentaje de desgaste (<9%), alta resistencia al intemperismo (pérdidas promedio inferiores al 36% tras 15 días de exposición) y elevada resistencia mecánica en pruebas de carga puntual (promedio de 6,3 MPa). Estas características los posicionan como opciones ideales para soportar el tránsito continuo de maquinaria pesada, reduciendo la necesidad de mantenimiento frecuente.

Los mantos 110, 120, 130, 140 y 170 mostraron propiedades mixtas, con rangos de desgaste entre el 16% y el 45%, lo que los hace útiles únicamente para vías temporales. Por otro lado, el manto 100, con un desgaste superior al 42% y características predominantemente arcillosas, se considera inadecuado para aplicaciones viales debido a su baja durabilidad y resistencia estructural.

El manto 250 presentó valores favorables para vías permanentes y en algunos casos solo para vías temporales, en términos de resistencia mecánica (9 MPa) y durabilidad (índice de 0,97) su comportamiento fue inconsistente debido a la variabilidad entre muestras oscilaron desde características arcillolíticas hasta areniscas, limitando su aplicabilidad uniforme, requiriendo una evaluación caso por caso para determinar su uso óptimo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] C. Rubio-Gámez, “Innovación en materiales asfálticos para carreteras,” Rev. Obras Públicas Organo Prof. los Ing. caminos, canales y puertos, vol. 3635, pp. 84–91, 2022.
- [2] S. G. A. Paredes, “Evaluación del agregado proveniente de la cantera ‘rio Cajamarquino’ para la elaboración de concreto permeable para pavimentos rígidos, Cajamarca 2015,” Universidad Privada del Norte, 2015. [Online]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7333/AlcaldeParedesSusanGrettel%28TesisParcial%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] B. C. M. Cristina, “Estudio del material afirmado para el terraplén de carreteras chasquitambo,” Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2019. [Online]. Available: [http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3462/BALBOA CHAVEZ MARJORIE CRISTINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/UNJFSC/3462/BALBOA%20CHAVEZ%20MARJORIE%20CRISTINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [4] C. M. J. Franklin and P. Q. R. Alvarino, “Evaluación técnico económica de los agregados producidos por las canteras de la provincia de Chiclayo para fines de obras viales,” Universidad Señor de Sipán, 2018. [Online]. Available: [http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4434/Carranza Morales - Paredes Quintana.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/4434/CarranzaMorales-ParedesQuintana.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [5] L. T. E. Francis, “Estudio de las características físicas y mecánicas de las Canteras Hualango como material de afirmado en carreteras provincia de Utcubamba,” Universidad Señor de Sipán, 2018. [Online]. Available: [http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5301/Lozada Tiglla Edwar Francis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/uss/5301/LozadaTigllaEdwarFrancis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [6] J. R. Mejía Chatilan, “Estudio de las propiedades físicas mecánicas cantera 3M y su utilización como material de afirmado,” Universidad Nacional de Cajamarca, 2018. [Online]. Available: [http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009%0Ahttp://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2987/Tesis completa Ronald Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009%0Ahttp://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2987/Tesis%20completa%20Ronald%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [7] U. D. Pierre, “Análisis de mezclas de materiales de la cantera de Pinos y Tajo La Quinua para su uso en las vías de Minera Yanacocha,” Universidad Nacional de Cajamarca, 2014. [Online]. Available: [http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/558/T 622 U74 2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/558/T622U742014.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [8] C. F. P. Bazán, “Evaluación de cantera para realizar la construcción de trocha a nivel de afirmado Campo Alegre-Peña Balnca, distrito de Namora, provincia de Cajamarca,” Universidad Nacional de Cajamarca, 2013. [Online]. Available: [http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/462/T 625.7 P293 2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/462/T625.7P2932013.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- [9] M. E. J. Ortiz, “Evaluación de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la cantera del Río Huayobamba provincia de San Marcos con fines de uso en la construcción,” Universidad Nacional De Cajamarca, 2018. [Online]. Available: [http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009%0Ahttp://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2987/Tesis completa Ronald Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009%0Ahttp://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2987/Tesis%20completa%20Ronald%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [10] A. R. Ortega Castro, “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles,” Universidad Técnica de Ambato, 2013. [Online]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/4335>
- [11] Z. O. Buleje, “Estudio de la calidad de los agregados de las principales canteras de la ciudad de Andahuaylas y su influencia en la resistencia del concreto empleado en la construcción de obras civiles,” Universidad Tecnológica de los Andes, 2017. [Online]. Available: [http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/100/Tesis-Estudio de la calidad de los agregados de las principales canteras de la ciudad.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/100/Tesis-Estudio%20de%20la%20calidad%20de%20los%20agregados%20de%20las%20principales%20canteras%20de%20la%20ciudad.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [12] J. C. Gamble, “Durability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks,” University of Illinois, 1971.
- [13] J. Martinez-Bofill, J. Corominas, A. Soler, R. Polvoreda, and J. A. Navarro, “Slake Durability Test Para La Caracterización De,” in VIII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables, 2013, pp. 207–218. [Online]. Available: <file:///D:/MIS DOCUMENTOS/Downloads/SLAKE DURABILITY.pdf>
- [14] J. A. Franklin and R. Chandra, “The slake durability test,” *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr.*, vol. 9, no. 3, pp. 325–328, 1972, doi: [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(72\)90001-0](https://doi.org/10.1016/0148-9062(72)90001-0).
- [15] C. Swain, “Determination of rock strength from slake durability tests, protodyakonov impact tests and los angeles abrasion resistance tests,” National Institute of Technology, 2010. [Online]. Available: <https://mail.google.com/mail/u/0/?tab=rm&ogbl#inbox/FMfcgxwJXxqnCgSpJdSmzWmpffvQKhhL?projector=1&messagePartId=0.2>
- [16] J. E. Pickett, O. Kuvshinnikova, L.-P. Sung, and B. D. Ermi, “12 - Design and interpretation of laboratory weathering tests using acceleration parameters of aromatic engineering thermoplastics,” in *Plastics Design Library*, C. C. White, M. E. Nichols, and J. E. B. T.-S. L. P. of P. and C. Pickett, Eds. William Andrew Publishing, 2020, pp. 233–256. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818367-0.00012-6>.
- [17] T. Zindove, T. Van Niekerk, T. Wilm, and P. Mercorelli, “Development of a temperature controlled weathering test box to evaluate the life cycle behaviour of interior automotive components,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 4, pp. 117–122, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.07.018>.
- [18] P. A. Warke and B. J. Smith, “Effects of direct and indirect heating on the validity of rock weathering simulation studies and durability tests,” *Geomorphology*, vol. 22, no. 3, pp. 347–357, 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(97\)00078-0](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(97)00078-0).
- [19] D. A. Sun et al., “Deformation and strength characteristics of weathered soft rock using triaxial tests,” *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 41, pp. 87–92, 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2004.03.024>.

- [20] S. T. Method, “Determination of the Point Load Strength Index of Rock 1,” *Rock Mech.*, vol. 22, no. 2, pp. 1–9, 1985, [Online]. Available: <http://web.mst.edu/~norbert/ge5471/Assignments/Assign 4 - Point Load Test/ASTM D5731-07.pdf>
- [21] ASTM D5731-16, “Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications,” West Conshohocken, 2016. Accessed: Dec. 19, 2020. [Online]. Available: <https://www.astm.org/Standards/D5731>
- [22] M. H. Chaustre, “Geología de Plancha 48 - La Jagua de Ibirico, escala 1:100.000.,” Bucaramanga, 2000. [Online]. Available: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010020444/documento/PDF/0101204441102000.pdf>
- [23] M. Hernández, “Geología de la Plancha 48 La Jagua de Ibirico,” Bogotá D.C., Colombia, 2003. [Online]. Available: <http://nebula.wsimg.com/57e5189642be3c0751a644da0cbf25ab?AccessKeyId=75F883B260454DDA3D4B&disposition=0&alloworigin=1>
- [24] F. B. Notestein, C. W. Hubman, and J. W. Bowler, “Geology of the Barco Concession, Republic of Colombia, South America,” *GSA Bull.*, vol. 55, no. 10, pp. 1165–1216, Oct. 1944, doi: 10.1130/GSAB-55-1165.
- [25] G. Nova et al., “Jurassic break-up of the Peri-Gondwanan margin in northern Colombia: Basin formation and implications for terrane transfer,” *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 89, pp. 92–117, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.11.014>.
- [26] G. Chicangana, A. Kammer, and C. Vargas, “Session: Geodynamics Caribbean tectonic and tectonic evolution Select preferred: Oral La Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, Colombia y Venezuela: ¿Son resultado de la convergencia entre la placa Caribe y el margen suramericano durante e,” in *19th Caribbean Geological Conference - Guadeloupe 2011*, Jan. 2011, p. 51. [Online]. Available: <https://hal.univ-antilles.fr/hal-02139941/document>
- [27] G. C. Montón et al., “El posible origen de la sismicidad somera que se presenta en la región que corresponde a la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía de Perijá y la Península de La Guajira, noreste de Colombia,” *Cap&Cua*, vol. 6, no. 1, Jan. 2011, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3986304>
- [28] M. G. González et al., “Prospectividad de la Cuenca Cesar Ranchería,” 2008. [Online]. Available: http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones y Poster Tcnicos/Cesar_Rancheria.pdf
- [29] A. Arias and C. Morales, *Mapa geológico generalizado del departamento del Cesar - Memoria explicativa* /. Bogotá D.C., Colombia: Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS);, 1999. Accessed: Sep. 21, 2020. [Online]. Available: <https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=14212>
- [30] G. Bayona Chaparro, C. Ojeda Marulanda, A. Cardona Molina, and V. Valencia, “Procedencia de las unidades Paleógenas de la cuenca del Catatumbo y su comparación con las cuencas adyacentes: relación con la convergencia de la placa Caribe,” *Geol. Colomb.*, vol. 37, no. 2, pp. 123–151, 2012.
- [31] G. A. Bayona Chaparro et al., “Estratigrafía y procedencia de las unidades comprendidas entre el Campaniano y el Paleogeno en la subcuenca de Cesar: aportes a la evolución tectónica del área,” *Geol.*

Prospectiva, Vol. 23 N°1 2025.

Colomb., vol. 34, pp. 3–34, Jan. 2009, [Online]. Available:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/32092>