

Artículo Original

<https://doi.org/10.22463/0122820X.3479>

### Determination of the use of sterile material for the construction of channels as a drainage system in dumps in the process of forest restoration and compensation: case study Pribbenow mine, Colombia

### Determinación del uso del material estéril para la construcción de canales como sistema de drenajes en las escombreras en proceso de restauración y compensación forestal: caso de estudio mina Pribbenow, Colombia

Decireth Silina Quintero-Laverde<sup>1</sup>, Diana Isabel Giraes-Puerta<sup>2</sup>, Dino Carmelo Manco-Jaraba<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera de minas, [dquintero1@drummondlt.com](mailto:dquintero1@drummondlt.com), <https://orcid.org/0000-0002-4914-9573>, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia.

<sup>2</sup>Ingeniera geóloga, [diana.isabel.guirales@gmail.com](mailto:diana.isabel.guirales@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5646-6334>, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia.

<sup>3</sup>MSc en Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, [dinomancojaraba@gmail.com](mailto:dinomancojaraba@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-8506-094X>, Universidad de La Guajira, Riohacha, Colombia.

**Cómo citar:** : D. S. Quintero-Laverde, D. I. Giraes-Puerta, y D. C. Manco-Jaraba, "Determinación del uso del material estéril para la construcción de canales como sistema de drenajes en las escombreras en proceso de restauración y compensación forestal: caso de estudio mina Pribbenow, Colombia", *Respuestas*, vol. 28, n.º 3, pp. 59-67, sep. 2023. <https://doi.org/10.22463/0122820X.3479>

Received on May 05, 2023 - Approved on August 30, 2023.

#### RESUMEN

##### Palabras clave:

Drummond LTDA;  
Escombreras;  
Material estéril;  
Mina Pribbenow.

La mina Pribbenow, localizada en el departamento del Cesar al nororiente de Colombia, se encuentra unas intercalaciones de areniscas y arcillolitas que suprayace discordantemente la unidad portadora de carbones, específicamente en el Pit Perú (Pit Perú y Pit Perú 3) y Pit Chile (Pit Chile y Pit Chile 2). El objetivo de esta investigación se basa en determinar el uso del material estéril para la construcción de canales como sistema de drenajes en las escombreras en proceso de restauración y compensación forestal en la mina Pribbenow, Colombia. 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 20 muestras aleatorias en los frentes de explotación, aplicándoles ensayos de Slake Durability Test, intemperismo y Washability apreciándose el comportamiento de cada tipo de material. La utilidad para la construcción de canales como sistema de drenajes en las escombreras en proceso de restauración y compensación forestal presenta un rango de durabilidad mayor de 99%, material útil presenta un rango de durabilidad de 98% a 99%, material medianamente útil presenta un rango de durabilidad de 85% a 98%, material con baja utilidad presenta un rango de durabilidad de 60% a 85% y material con muy baja utilidad presenta un rango de durabilidad menor a 60%. En conclusión, los Pit Perú y Pit Perú 3 (Manto Borrego) son óptimo para el enrocado de los canales, principalmente constituido por areniscas y en menor cantidad por limolita y arcillolita, no presenta cambios significativos al estar expuesto a los ensayos de intemperie y Washability manteniendo el índice de durabilidad en el primer ensayo de 80% y en el segundo ensayo del 95%.

#### ABSTRACT

##### Keywords:

Drummond LTDA;  
Waste dumps;  
Waste rock;  
Pribbenow mine.

The Pribbenow mine, located in the department of Cesar in northeastern Colombia, is an intercalation of sandstones and claystones that discordantly overlies the coal-bearing unit, specifically in Pit Peru (Pit Peru and Pit Peru 3) and Pit Chile (Pit Chile and Pit Chile 2). The objective of this research is based on determining the use of sterile material for the construction of canals as a drainage system in the dumps in the process of restoration and forest compensation at the Pribbenow mine, Colombia. Initially, a documentary review was carried out in the different scientific databases; Afterwards, an observational stage in the field was carried out, complemented with the taking of 20 random samples in the exploitation fronts, applying Slake Durability Test, weathering and Washability tests, evaluating the behavior of each type of material. The utility for the construction of channels as a drainage system in the dumps in the process of restoration and forest compensation has a durability range greater than 99%, useful material has a durability range of 98% to 99%, moderately useful material presents a Durability range from 85% to 98%, material with low utility has a durability range of 60% to 85% and material with very low utility has a durability range of less than 60%. In conclusion, the Pit Peru and Pit Peru 3 (Manto Borrego) are optimal for the rocky of the channels, mainly constituted by sandstones and to a lesser amount by siltstone and claystone, it does not present significant changes when exposed to the weathering and Washability tests. maintaining the durability index in the first test of 80% and in the second test of 95%.

\*Corresponding author.

E-mail Address: [dinomancojaraba@gmail.com](mailto:dinomancojaraba@gmail.com)

(Dino Carmelo Manco-Jaraba)

Peer review is the responsibility of the Universidad Francisco de Paula Santander.



This is an article under the license CC BY-NC 4.0

## Introducción

La selección del tipo de material para usos de enrocado en las escombreras en proceso de restauración y compensación forestal está determinada por diversas variables y factores de acuerdo a su aplicabilidad, estructuras, condiciones y uso, destacando criterios técnicos, económicos, recursos naturales, idoneidad, entre otros. En la actividad minera la estructura, geometría, mantenimiento y calidad contribuye al desarrollo óptimo en sus procesos, generando condiciones de seguridad, optimización de tiempo, calidad de equipos, recursos existentes, económicos, entre otros.

Drummond LTD., 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, operatividad, selección aleatoria de material estéril y condiciones geoambientales en la mina Pribbenow, desfavorecen la vida útil de los canales como sistema de drenajes en las escombreras en proceso de restauración y compensación forestal, por lo que es necesario realizar mantenimientos permanentes, generando aumentos de costos de operación y posibles accidentes.

El objetivo de esta investigación es determinar el uso del material estéril para la construcción de canales como sistema de drenajes en las escombreras en proceso de restauración y compensación forestal en la mina Pribbenow (Colombia).

## Localización

El proyecto minero Drummond LTD., se encuentra localizada, 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 y Venezuela y al oeste con el departamento del Magdalena (Figura 1). Los mantos tomados como área de estudio se encuentran ubicados en los Pit Perú (Pit Perú y Pit Perú 3) y Pit Chile (Pit Chile y Pit Chile 2).

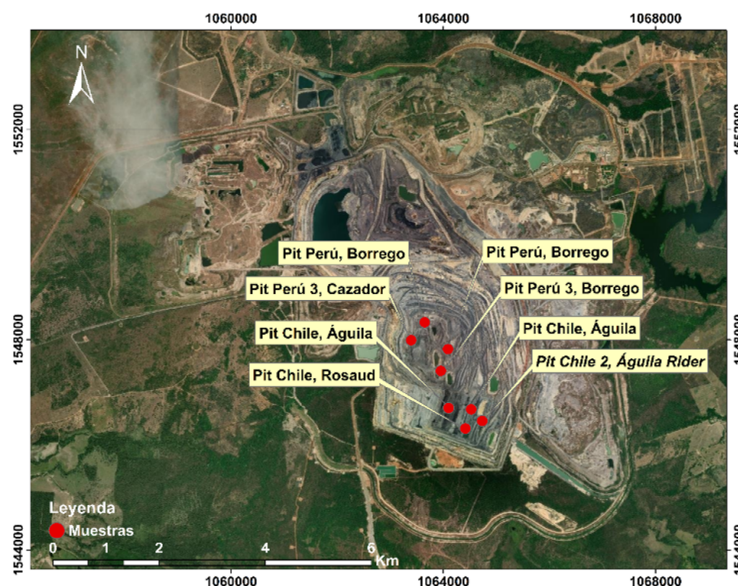


Figura 1. Localización del área de estudio. Fuente: Autores.

## Materiales y Métodos

Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación se llevó a cabo una fase de revisión documental en las diferentes bases de datos; posteriormente una etapa de campo, complementada con la toma manual (Grab sampling) de 20 muestras aleatorias posterior a las voladuras en las partes altas de los mantos Aguila, Rouzaud, Aguila Rider, Borrego ubicados en el Pit Chile, Pit Chile 2 y Pit Perú 3, Pit Perú (Tabla I). A las 20 muestras se le aplicaron ensayos Slake Durability Test [1]–[5] en dos etapas, basándose en voltear 10 piezas de rocas con un peso promedio cada una de 40 a 60 g durante dos ciclos de diez minutos en un tambor de malla sumergida en agua (malla de 2 mm) según [5], para establecer la durabilidad de la roca en ciclos de humedad secado y entre las rocas; ensayos de intemperismo [6]–[9], para conocer las condiciones frente al entorno externo; y ensayos Washability [10], [11], con la finalidad de determinar la resistencia al agua, desgaste que puede sufrir las rocas con un periodo de tres días equivalente a setenta y dos horas.

Tabla I. Coordenadas de las muestras.

COORDENADAS				
No. Muestra	X	Y	Bloque	Manto
1	1064114,436	1546608,732	Pit Chile	Águila
2	1064093,076	1547851,688	Pit Peru 3	Borrego
3	1064344,005	1546153,322	Pit Peru 3	Borrego
4	1064497,228	1546620,659	Pit Peru 3	Cazador
5	1064497,228	1546620,659	Pit Peru 3	Cazador
6	1064497,228	1546620,659	Pit Peru 3	Cazador
7	1064090,094	1546639,424	Pit Chile	Aguila
8	1064495,397	1546560,781	Pit Chile	Aguila
9	1064114,436	1546608,732	Pit Chile	Aguila
10	1064441,770	1546267,040	Pit Chile	Rouzaud
11	1064451,410	1546250,970	Pit Chile	Rouzaud
12	1064441,780	1546202,880	Pit Chile	Rouzaud
13	1063647,780	1548272,950	Pit Peru	Borrego
14	1063641,490	1548263,160	Pit Peru	Borrego
15	1064779,286	1546343,385	Pit Chile 2	Aguila Rider
16	1064753,897	1546389,656	Pit Chile 2	Aguila Rider
17	1064754,471	1546414,981	Pit Chile 2	Aguila Rider
18	1064763,008	1546423,218	Pit Chile 2	Aguila Rider
19	1063433,258	1547924,089	Pit Peru	Borrego
20	1063428,742	1547914,728	Pit Peru	Borrego

## Geología Regional

### Formación Los Cuervos (E1c)

Aflora al noreste, este y sureste del municipio de La Jagua de Ibirico y en La Loma de Los Venados, al suroeste de Boquerón y la zona de la mina Pribbenow de Drummond. En la Formación se pueden identificar tres (3) miembros, el superior constituido por rocas arcillo limosas, alternadas con niveles arenosos de poco espesor y carbón en capas delgadas que oscilan entre centímetros a metros, y a lo largo de todo el miembro, haciéndolo interesante desde el punto de vista económico, el Miembro intermedio compuesto por cuarzo areniscas de cemento ferruginoso con presencia de niveles de hierro (hardground) y costras

de hierro por meteorización y el miembro inferior constituido por areniscas cuarzosas, con presencia de óxidos de hierro por cuarzo, nódulos sideríticos, mica y materia orgánica; con laminaciones interna plano paralelas a ondulosas, continuas. Limolita gris oscura con nódulos sideríticos, hardground, materia orgánica y, en algunas capas, bioturbación; laminación plana paralela continua y estratificación cruzada. Arcillolitas masivas, shales carbonosos y láminas de carbón menores a 40 centímetros. Estratigráficamente el piso esta caracterizado por la predominancia de areniscas, los niveles de limolita y arcillolita aumentan hacia la parte media y techo del miembro, donde se alternan con delgadas capas de areniscas y carbón que permite definir un límite aproximado con el miembro medio [12], [13].

### ***Formación Barco (Eb)***

Compuesta por areniscas naranja amarillentas, de tamaño de grano arena fina, con granos subangulares, poco cementadas, con matriz limo arcillosa con presencia de moscovita; presentan laminaciones en artesa y plano interestratificadas con delgadas de arcillolitas. Con espesor de 0,30 a 20 m. [12]–[14].

### ***Formación Molino (K2m)***

Corresponde a una secuencia homogénea shales gris azulado y gris verde oliva a negros, carbonatados con presencia microfósiles (foraminíferos). Presenta interestratificación con capas delgadas de areniscas glauconíticas, de tamaño de grano arena muy fina, limolitas y calizas grises a negras en capas de poco espesor [12], [13].

### ***Formación Cuesta (Nc)***

Constituida por secuencia con cambios faciales laterales de conglomerado ferruginosos cuneiformes y en lentejones con areniscas poco cementadas que presentan laminaciones cruzadas planas y ondulosas, con tonalidades violetas en el sentido de las laminaciones [12], [13].

### ***Depósitos recientes (Qal)***

Corresponden a sedimentos aluviales y de planicies de inundación es acumulados por las corrientes longitudinales en las áreas plana y semiplana; su expresión morfológica es una superficie horizontal (planicie).

### ***Geología estructural***

Los eventos tectónicos acaecido el parte más septentrional de la cordillera de los Andes están asociados con la actividad geotectónica de la Falla de Oca y la placa caribe [15], que generaron tensiones que ocasionaron una rotación dextral de la región occidental del bloque, afectando la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) [16], la Serranía del Perijá (SP) y la cuenca Cesar – Ranchería [17], ocasionando un encogimiento en la cuenca Cesar – Ranchería, y fragmentación del basamento de la Sierra Nevada y la Serranía del Perijá [18] provocado por la falla Santa Marta-Bucaramanga, que limita la cuenca al Suroeste, que corresponde a una falla de rumbo tipo sinestro-lateral [19]–[21].

La cuenca Cesar – Ranchería, es una depresión intra montañosa, afectada por la interacción de la placa caribe con la placa suramericana, tectónicamente elevada por la Serranía del Perijá, como resultado del movimiento oblicuo y colisión de la placa caribe y suramericana [21].

El Descanso es una estructura tipo sinclinal con un eje de rumbo aproximado N45°E. El flanco oriental es cortado por la Falla El Hatillo, falla de cabalgamiento regional con convergencia Oeste. En el flanco Este del sinclinal, aflora la unidad carbonosa con buzamientos entre 3° y 10° con una extensión aproximada de 13 Km.

La falla “El Hatillo” es una falla de tipo inversa regional con un salto vertical del orden de los cientos de metros interpretado a partir de análisis de líneas sísmicas realizadas por campañas exploratorias de varias empresas realizadas en la zona.

## Resultados y Discusión

### *Slake durability test*

Las 20 muestras seleccionadas para el estudio, fueron clasificadas y categorizadas con base a los resultados del test de durabilidad de roca, estableciéndose diversas utilidades (Muy útil, útil, medianamente útil, baja utilidad y muy baja utilidad) para material de construcción de canales como sistema de drenajes en las escombreras en proceso de restauración y compensación forestal (Tabla II). La utilidad para el material muy útil presenta un rango de durabilidad mayor de 99%, material útil presenta un rango de durabilidad de 98% a 99%, material medianamente útil presenta un rango de durabilidad de 85% a 98%, material con baja utilidad presenta un rango de durabilidad de 60% a 85% y material con muy baja utilidad presenta un rango de durabilidad menor a 60% (Tabla II).

Los resultados de la primera etapa demuestran que la muestra 8 tiene una durabilidad muy útil, la muestra 6 tiene una durabilidad útil, las muestras 2, 3, 7, 9, 13 y 20 tienen una durabilidad medianamente útil, las muestras 1, 4, 5, 10, 14, 17, 18 y 19 tienen una durabilidad baja, y las muestras 11, 12, 15 y 16 tiene una durabilidad muy baja.

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

Nº de muestras	Peso inicial (gr)	Peso seco (A) (gr)	Peso seco (B) (gr)	P. tambor (D)(gr)	Ciclo I - Slake
1	497,7	492,1	395,5	180,0	69%
2	538,1	532,7	518,8	180,0	96%
3	529,5	517,5	504,9	180,0	96%
4	544,2	541,2	471,2	180,0	81%
5	534,4	533,8	474,3	180,0	83%
6	500,0	498,9	493,0	180,0	98%
7	478,4	471,1	434,7	180,0	87%
8	505,4	504,2	501,6	180,0	100%
9	469,0	465,1	453,9	180,0	96%
10	500,7	499,4	407,8	180,0	71%
11	529,0	528,4	260,0	180,0	23%
12	510,8	507,5	292,0	180,0	34%
13	448,2	447,5	418,8	180,0	89%
14	501,9	499,4	413,6	180,0	73%
15	481,2	469,6	172,9	180,0	-2%
16	527,2	524,5	264,1	180,0	24%
17	523,8	519,1	459,6	180,0	82%
18	495,6	493,9	437	180,0	82%

19	496,7	494,7	414	180,0	74%
20	464,6	462,9	427,4	180,0	87%

Al ser sometidas las muestras a un segundo ciclo de Slake Durability Test, se evidencia que algunas mantienen su porcentaje de durabilidad y otras presentan diferentes resultados obtenidos en el primer ciclo, destacando la muestra 15 que pasa de una utilidad muy baja (-2%) a una durabilidad muy útil (101%), la muestra 1 que pasa de una baja utilidad (69%) a una muy baja utilidad -6%. Así mismo, hay algunas que mantienen un alto porcentaje de conservación a lo largo de las dos etapas (muestras 2, 6 y 13) pertenecientes al Pit Perú manto borrego y las muestras 8 y 9 correspondiente al Pit Chile (Tabla III).

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

N° de muestra	Peso seco (A)	Peso seco (B)	P. tambor (D)(gr)	Ciclo 2 - Slake	Ciclo 1 - Slake
1	340,2	169,6	180,0	-6%	69%
2	509,6	453,2	180,0	83%	83%
3	497,0	413,0	180,0	74%	74%
4	470,3	445,1	180,0	91%	91%
5	458,1	384,6	180,0	74%	74%
6	493,1	487,9	180,0	98%	98%
7	466,8	424,6	180,0	85%	85%
8	447,3	446,6	180,0	100%	100%
9	413,7	406,5	180,0	97%	97%
10	408,2	176,5	180,0	-2%	-2%
11	256,5	140,0	180,0	-52%	-52%
12	255,8	154,6	180,0	-34%	-34%
13	417,0	404,2	180,0	95%	95%
14	415,6	406,4	180,0	96%	96%
15	113,1	112,7	180,0	101%	101%
16	251,1	98,7	180,0	-114%	-114%
17	464,5	417,4	180,0	83%	83%
18	430,3	351,2	180,0	68%	68%
19	415,2	411,9	180,0	99%	99%
20	425,0	399,8	180,0	90%	90%

### ***Intemperismo***

Las muestras se sometieron a condiciones naturales extremas expuestas a un periodo de 72 horas. La muestra 13 del Pit Perú perdió peso indicando que es una roca compacta mientras que las demás ganaron peso debido a la absorción de humedad, manteniendo su estructura física; las muestras correspondientes al Pit Perú 3 presentaron fracturamiento y desgaste, disminuyendo su peso inicial e indicando como se ven afectadas al estar expuestas. Las muestras 1, 9 y 12 tomadas en el Pit Chile presentaron alto fracturamiento y desgaste disminuyendo su peso, mientras que las muestras 7, 10 y 11 ganaron peso manteniendo su estructura. Las muestras 15 y 16 del Pit Chile 2 perdieron peso y cambiaron su estructura física inicial, y las muestra 17 y 18 Ganaron peso al estar expuesta presentándose esto por adsorción de humedad o hinchamiento de la roca (Tabla IV).

Tabla IV. Resultados del ensayo de intemperismo.

Nº de muestra	P. inicial (gr)	P. final (gr)	Resultados
1	395,5	354,1	-41,4
2	518,8	511,0	-7,8
3	504,9	502,2	-2,7
4	471,2	471,6	0,4
5	474,3	466,1	-8,2
6	493,0	489,0	-4,0
7	434,7	475,3	40,6
8	501,6	494,6	-7,0
9	453,9	415,5	-38,4
10	407,8	410,0	2,2
11	260,0	273,8	13,8
12	292,0	271,6	-20,4
13	418,8	418,3	-0,5
14	413,6	416,0	2,4
15	172,9	116,0	-56,9
16	264,1	253,3	-10,8
17	459,6	468,2	8,6
18	437	444,2	7,2
19	414	417,5	3,5
20	427,4	429,0	1,6

### ***Washability***

La muestra 20 del Pit Perú perdió peso presentando fracturas y desgaste al estar expuestas al agua, mientras que las muestras 13, 14 y 19 ganaron peso manteniendo su estructura inicial. Las muestras 2, 4 y 5 del Pit Perú 3 perdieron poco peso manteniendo su estructura física inicial, diferente a las muestras 3 y 6 que ganaron poco peso indicando que son rocas poco porosas.

Las muestras tomadas en Pit Chile y Pit Chile 2 en su gran mayoría presentaron fractura, desgaste y disminución en su peso debido a la exposición al agua constante por 72 horas, indicando que no son óptimas para utilizarse en el enrocado debido a la baja tasa de desintegración en cortos periodos de tiempo, posiblemente ocasionando colmatación en las estructuras (Tabla V).

Tabla V. Resultados del ensayo de Washability.

Washability			
Nº de muestra	P. inicial (gr)	P. final (gr)	Resultado
1	169,6	138,6	-31,0
2	453,2	448,3	-4,9
3	413,0	415,9	2,9
4	445,1	444,9	-0,2
5	384,6	376,2	-8,4
6	487,9	496,3	8,4
7	424,6	410,3	-14,3
8	446,6	447,8	1,2
9	406,5	414,0	7,5
10	176,5	168,1	-8,4
11	140,0	137,3	-2,7

12	154,6	131,3	-23,3
13	404,2	405,1	0,9
14	406,4	429,0	22,6
15	112,7	96,2	-16,5
16	98,7	89,3	-9,4
17	417,4	417,7	0,3
18	351,2	323,1	-28,1
19	411,9	464,0	52,1

## Conclusiones

El Pit Perú y Pit Perú 3 manto borrego, son los más óptimo para el enrocado de los canales, están principalmente constituidos por areniscas y en menor cantidad por limolitas y arcillolitas, no presentan cambios significativos al estar expuesto a los ensayos de intemperie y Washability manteniendo el índice de durabilidad en el primer ensayo de 80% y en el segundo ensayo del 95%.

El Pit Chile (mantos Águila, Águila Rider y Rouzaud) constituido principalmente por arcillolitas y en menor cantidad por limolitas, lodolitas y lutitas, presentan valores no favorables para la construcción de canales como sistema de drenajes en las escombreras.

## Agradecimientos

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

## Referencias

- [1] J. C. Gamble, “Durability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks,” University of Illinois, 1971.
- [2] 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
- [3] 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).
- [4] 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>
- [5] NGI, “Engineering geology and rock mechanics | Q-system,” 2015. <https://www.ngi.no/eng/Services/Technical-expertise/Engineering-geology-and-rock-mechanics/Q-system> (accessed Jun. 12, 2021).
- [6] 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>.
- [7] 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>.
- [8] 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).
- [9] 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>.
- [10] C. L. Lin, J. R. Parga, J. Drelich, and J. D. Miller, “Characterization of Washability of Some Mexican Coals,” *Coal Prep.*, vol. 20, no. 3–4, pp. 227–245, Sep. 1999, doi: [10.1080/07349349908945602](https://doi.org/10.1080/07349349908945602).
- [11] M. Shahzad and Z. Ali, “Development of simple techniques for determining the extent of coal cleaning-part 2: Estimating coal washability characteristics and separator performance,” *Int. J. Coal Prep. Util.*, pp. 1–14, Jul. 2018, doi: [10.1080/19392699.2018.1496085](https://doi.org/10.1080/19392699.2018.1496085).
- [12] 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>
- [13] M. Hernández, “Geología de la Plancha 48 La Jagua de Ibirico,” Bogotá D.C., Colombia, 2003. [Online]. Available: <http://nebula.wsimg.com/be3c0751a644da0cbf25ab?AccessKeyId=75F883B260454DDA3D4B&disposition=0&alloworigin=1>
- [14] 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](https://doi.org/10.1130/GSAB-55-1165).
- [15] 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>.
- [16] 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>
- [17] 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>

- [18] 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](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones-y-Poster-Tcnicos/Cesar_Rancheria.pdf)
- [19] 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>
- [20] 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.
- [21] 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. Colomb.*, vol. 34, pp. 3–34, Jan. 2009, [Online]. Available: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/32092>