

## Determinación del uso de la andesita de la Formación Guatapurí en la industria cerámica

### Determination of the usability of andesite from the Guatapurí Formation in the ceramic industry

Andrea Patricia Cuello Orozco , Elías Ernesto Rojas Martínez   
Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia  
Frank David Lascarro Navarro   
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú  
Dino Carmelo Manco Jaraba   
Universidad de la Guajira, Colombia

#### Open Access

#### Recibido:

15 de octubre de 2019

#### Aceptado:

14 de enero de 2020

#### Publicado:

27 mayo de 2020

#### Correspondencia:

[erojas@areandina.edu.co](mailto:erojas@areandina.edu.co)

#### DOI:

<https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3579>



© Copyright: Investigación e Innovación en Ingenierías

#### Resumen

**Objetivo:** Determinar el uso de la andesita de la Formación Guatapurí en la industria de la cerámica. **Metodología:** Se tomaron 15 muestras aleatoriamente a las que se le efectuaron ensayos de fluorescencia de rayos X (FRX), difracción de rayos X (DRX), mecánicos y petrográficos con el fin de determinar la calidad de la roca y su composición. **Resultados:** Se determinó que la andesita está constituida por plagioclasas, feldspatos, en menor proporción por cuarzo, y minerales secundarios como biotita, hornblenda, sanidina y augita. Los ensayos geoquímicos mostraron en promedio concentraciones de sílice (SiO<sub>2</sub>) en un 57,7% wt, seguido de óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en un 17,02% wt, óxido ferroso (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en un 6,32% wt y óxido de potasio (K<sub>2</sub>O) en un 4,76% wt; las fases cristalinas constituyentes de las muestras expusieron la presencia en mayor cantidad de cuarzo, feldespato y cristobalita. De acuerdo a los ensayos mecánicos se evidenció que tiene una densidad de 2,64 gr/cm<sup>3</sup>, resistencia a la mecánica de flexión 30 Mpa, resistencia a la compresión 172 Mpa, resistencia al desgaste 12,61% y coeficiente de absorción 0,22%. **Conclusiones:** La calidad de la andesita mediante los análisis petrográficos, geoquímicos y mecánicos indican que cumple con los parámetros requeridos para uso cerámico en la fabricación de baldosas, según lo establecido en las normas ISO 13006 y 10545.

**Palabras claves:** Andesita, Formación Guatapurí, Geoquímica, ISO 13006/10545, Rocas ornamentales.

#### Abstract

**Objective:** To determine the use of the andesite from the Guatapurí Formation in the ceramic industry. **Methodology:** Fifteen samples were taken at random, and X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD), mechanical, and petrographic tests were conducted to determine the quality of the rock and its composition. **Results:** It was determined that the andesite is composed of plagioclases, feldspars, quartz in smaller proportion, and secondary minerals such as biotite, hornblende, sanidine, and augite. Geochemical tests showed average concentrations of silica (SiO<sub>2</sub>) at 57.7 wt%, followed by aluminum oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) at 17.02 wt%, ferrous oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) at 6.32 wt%, and potassium oxide (K<sub>2</sub>O) at 4.76 wt%. The crystalline phases constituting the samples revealed the presence of quartz, feldspar, and cristobalite in greater amount. Mechanical tests revealed that it has a density of 2.64 gr/cm<sup>3</sup>, resistance to the mechanics of flexion = 30 MPa, resistance to the compression = 172 MPa, wear resistance of 12.61%, and absorption coefficient of 0.22%. **Conclusions:** The quality analysis of the andesite via petrographic, geochemical, and mechanical examination shows that it complies with the parameters required for ceramic use in tile manufacture, as established in standards ISO 13006 and 10545.

**Keywords:** Andesite, Guatapurí Formation, Geochemistry, ISO 13006/10545, Ornamental rocks.

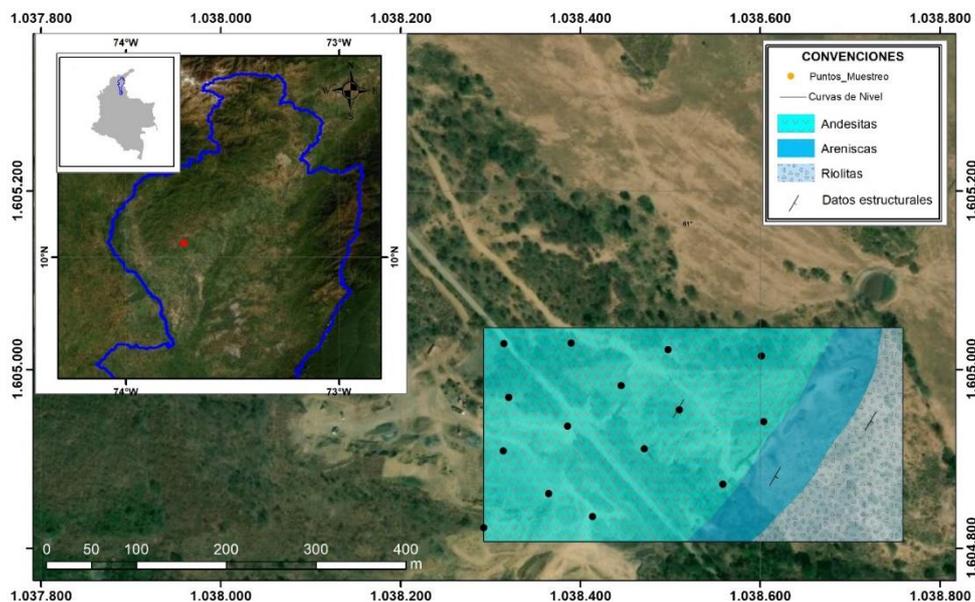
**Como citar (IEEE):** A.P. Cuello Orozco, E.E. Rojas Martínez, F.D. Lascarro Navarro., y D.C. Manco Jaraba, "Determinación del uso de la andesita de la Formación Guatapurí en la industria cerámica", Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 8, n.º. 1, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3579>

## Introducción

La andesita es una roca ígnea, volcánica, de composición intermedia, originada a partir del enfriamiento rápido del magma al llegar a superficie [1]. A nivel mundial es reconocida por su uso como material de construcción, como agregado pétreo en la producción de concreto de mediana y alta resistencia, como un material no-lineal ante la propagación de ondas ultrasónicas, como una roca ornamental en la industria y cerámicas [2, 3, 4, 5]. Sus usos se determinan con base a ensayos geoquímicos que permiten determinar el contenido y la composición elemental de minerales en la roca; y análisis de las propiedades físicas y mecánicas que establecen las condiciones de estabilidad, deformación y resistencia [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Estas investigaciones muestran los resultados obtenidos a partir de análisis petrográficos, geoquímicos y mecánicos realizados a la andesita de la Formación Guatapurí, en la cantera El Amanecer. Con el objetivo de determinar su uso como material cerámico en la fabricación de baldosas, acorde a los parámetros establecidos en la norma ISO 13006/10545 (Figura 1).

**Figura 1.** Localización del área de investigación, litológico y ubicación de los puntos de muestreo en la cantera El Amanecer



**Fuente:** Elaboración propia

## Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación se llevó a cabo una revisión de la cartografía geológica de la zona acompañado con un muestreo aleatorio simple recolectándose 15 muestras, que fueron georreferenciadas.

A cinco de las muestras se le realizaron secciones delgadas para análisis microscópico, cinco para análisis petrográfico macroscópico y otras cinco muestras para análisis geoquímicos (FRX y DRX) y mecánicos (densidad, resistencia a la mecánica de flexión, resistencia a la compresión, resistencia al desgaste y coeficiente de absorción).

## Geología regional

El departamento del Cesar está conformado por tres provincias geológicas, la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), la Serranía del Perijá (SP) y la Cuenca Cesar-Ranchería (CSR), constituidas en su extensión por rocas metamórficas, ígneas, sedimentarias y depósitos recientes cuyas edades varían desde el Precámbrico hasta el Holoceno [13, 14, 15, 16].

La SNSM presenta una configuración tectónica y litológica compleja debido a la interacción entre la placa continental suramericana, las placas oceánicas Caribe y Nazca, se encuentra asociada a la cordillera de los Andes, sin embargo, fue aislada debido a movimientos rotacionales que genero la placa Caribe [17, 18, 19]. La SNSM está limitada hacia el occidente por la cuenca del Valle Inferior del Magdalena (VIM), al este por la cuenca Cesar – Ranchería y al norte por la línea de costa del mar Caribe; demarcada estructuralmente por el sistema de fallas Santa Marta – Bucaramanga (SFSB) al occidente, la Falla de Oca al norte y el lineamiento del Cesar al suroriente.

En general la SNSM geológicamente es descrita por [20], quien argumenta que está constituida por rocas ígneas intrusivas, rocas volcánicas, vulcano-sedimentarias y metamórficas, que abarcan edades desde el Precámbrico hasta el Mesozoico, agrupadas en tres provincias geotectónicas o terrenos que son Sierra Nevada, Sevilla y Santa Marta. La zona de trabajo se localiza sobre el terreno Sierra Nevada, donde afloran rocas ígneas volcánicas y volcanoclásticas comprendidas en la Formación Guatapurí y rocas sedimentarias del Grupo Cogollo, según la plancha geológica 33 del Servicio Geológico Colombiano [21].

## Formación Guatapurí

Constituida por una secuencia volcano sedimentaria en alternancia con una secuencia clástica sedimentaria de tonos rojizos, violáceos y púrpura que se encuentran distribuida en los flancos nororiental, sur y oriental de la SNSM., denominada por [22] por primera vez para referirse a una secuencia de edad Mesozoica de sedimentos rojos aflorando a lo largo del Río Guatapurí al oeste de Valledupar, [21] diferencian esta unidad de las Formaciones Girón y La Quinta definidas en la Serranía del Perijá y Venezuela, que presentan litologías similares, edades y contactos litológicos diferentes.

## Grupo Cogollo

El Grupo Cogollo corresponde a una potente secuencia estratigráfica aleatoria de rocas carbonatadas (calizas grises azuladas y grisáceas) dispuestas en capas delgadas a gruesas con intercalaciones de areniscas, lodolitas calcáreas y ocasionalmente de lutitas bituminosas con alto contenido de fósiles [23].

El Grupo Cogollo se ha dividido en dos segmentos: Cogollo Inferior y Superior por parte de [24]. Siendo subdividida por [25] en dos Formaciones: Formación Lagunitas. Constituida por calizas con fósiles, alternadas con arcillolitas y lutitas carbonatadas; y Formación Aguas Blancas, compuestas por calizas fosilíferas intercaladas con arcillolitas y lutitas bituminosas, areniscas de tamaño de grano arena fina y calizas arenosas. En general, la secuencia es carbonatadas sedimentada en un ambiente de plataforma continental con un mar tropical cálido, que permite la precipitación de lodos ricos en carbonatos y materia orgánica entre el Aptiano y Albiano. El contacto inferior es discordante con la Formación Rio Negro [21].

## Resultados

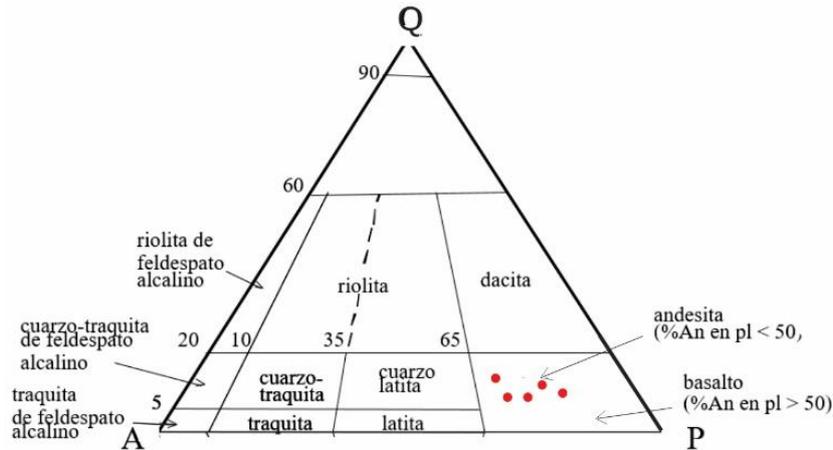
### Petrografía

El análisis petrográfico se realizó a 10 muestras, 5 muestras para análisis macroscópico y 5 para análisis microscópicos, rotuladas como MAC02, MAC05, MAC06, MAC10 y MAC12 para macroscopía y MAC01, MAC03, MAC04, MAC11 Y MAC13 para microscopía. Las coordenadas de muestreo se representan en el mapa de la Figura 1.

El análisis macroscópico indica que son rocas ígneas volcánicas de composición intermedia, con textura afanítica, de color gris oscuro a negro, un bajo grado de meteorización, un grado de oxidación medio y epidotización. Mineralógicamente presenta cristales de cuarzo (Qz) con porcentajes de 5% a 7%, plagioclasas (P) con porcentajes de 45 a 55%, feldespato potásico (A) con un porcentaje de 15 a 20%, y un índice de color (minerales oscuros) de entre un 20% a 35% compuestos por biotita, hornblenda, como accesorio moscovita y epidota.

Con base al diagrama de [26], datos en campo y contenido mineralógico, las rocas se clasifican como andesita, como se muestra en la Figura 2.

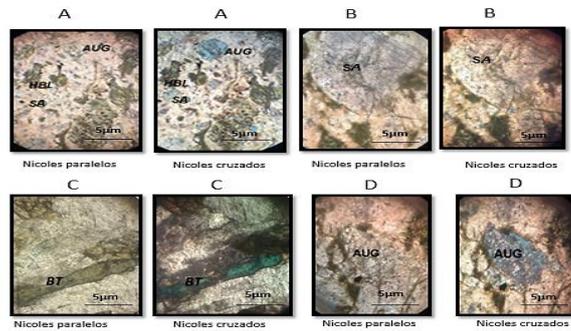
**Figura 2.** Clasificación de las muestras MAC02, MAC05, MAC06, MAC10 Y MAC12



**Fuente:** Adaptado del diagrama de [26]

Microscópicamente las rocas presentan una textura vítrea, con cristales de plagioclasas con maclas polisintéticas con ángulos de extinción de entre 30°-35° parcialmente alterados, además, fenocristales de biotita alterando a clorita con hábitos tabulares (Figura 3C), con un pleocroísmo de marrón pardo a verde opaco. Hornblenda con hábito acicular con una marcada textura de alteración (Figura 3A), los cuales se muestran con colores de interferencia altos. También se identificaron minerales que no se pudieron observar macroscópicamente, como augita, que se encuentra en el rango de los piroxenos, presentando un hábito granular, exfoliación de grado buena-moderada, color verdoso-pálido, relieve moderado y una birrefringencia entre el segundo y el tercer orden (Figuras 3A y 3D); y la sanidina (Figuras 3A y 3B) pertenecientes a la serie de los feldespatos alcalinos, este mineral solo aparece en rocas volcánicas y en su mayoría solo es identificable a través del microscopio, este mineral presenta un hábito tabular, una exfoliación de grado buena, de color incoloro, un relieve bajo y una birrefringencia de primer orden.

**Figura 3.** Microfotografías de las muestras MAC01, MAC03, MAC04, MAC11 Y MAC13 en nicoles paralelos y nicoles cruzados, donde se observan minerales que no se identificaron macroscópicamente como augita (AUG), sanidina (SD) y minerales melanocratos como biotita (BT) y hornblenda (HB), utilizando la abreviatura de [27]



**Fuente:** Elaboración propia

## Geoquímica

De las 5 muestras seleccionadas para la técnica analítica de fluorescencia de rayos X (FRX), dos fueron perfiladas para análisis de difracción de rayos X (DRX). Las muestras analizadas por FRX fueron MAC07, MAC08, MAC09, MAC14 y MAC15, y para DRX las muestras MAC08 y MAC09. Todas las muestras fueron analizadas en el laboratorio ALPHA 1 S.A.S. (servicios analíticos), mediante el método QUANT – EXPRESS en el rango de Sodio (Na) a Uranio (U), con un espectrómetro secuencial de fluorescencia de rayos X de longitud de onda dispersiva de 4kW marca Bruker modelo S8 Tiger, el equipo emplea dos detectores uno de elementos pesados (centello) y otro de elementos livianos (flujo), la fuente de emisión de los rayos X fue a partir de un tubo de Rodio (Rh).

En la Tabla 1, se muestran los resultados del análisis de Fluorescencia de Rayos X. Se observa un gran porcentaje en peso de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) 57,7%, seguido de óxido de aluminio 17,02% ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido ferroso ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 6,32% y óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 4,76%. Los demás elementos presentes se encuentran en porcentajes bajos.

En la Tabla 2, muestra los resultados de la Difracción de Rayos X, identificándose las fases cristalinas de las muestras. Y en la Figura 4 se esquematizan los difractogramas correspondientes a las muestras MAC08 y MAC09. Confirmando la presencia en mayor cantidad de cuarzo en un rango entre el 30-50%, feldespato en un rango entre 15-30% y cristobalita en un rango del 15-30% para la muestra MAC08 y para la muestra MAC09 se reflejó el cuarzo en un rango del 30-50%, el feldespato con un rango entre el 30-50% y la cristobalita del 5-15%.

**Tabla 1.** Resultados de análisis geoquímico de Fluorescencia de Rayos X

Compuestos	MAC07 (% WT)	MAC08 (% WT)	MAC09 (% WT)	MAC14(% WT)	MAC15 (% WT)
MgO	0,8%	0,8%	0,8%	0,6%	0,8%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,5%	16,8%	17,1%	16,9%	16,8%
SiO <sub>2</sub>	56,8%	58,2%	57,5%	58,2%	57,8%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,5%	0,6%	0,5%	0,5%	0,6%
K <sub>2</sub> O	4,8%	4,8%	4,8%	4,6%	4,8%
CaO	7,3%	6,8%	7,1%	7,2%	6,8%
TiO <sub>2</sub>	0,8%	0,8%	0,7%	0,8%	0,8%
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1%	----	---	0,1%	0,1%
MnO	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,3%	6,4%	6,3%	6,2%	6,4%
ZrO <sub>2</sub>	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%
Loss of Ignition (LOI)	4,9%	4,7%	5,0%	4,7%	4,0%

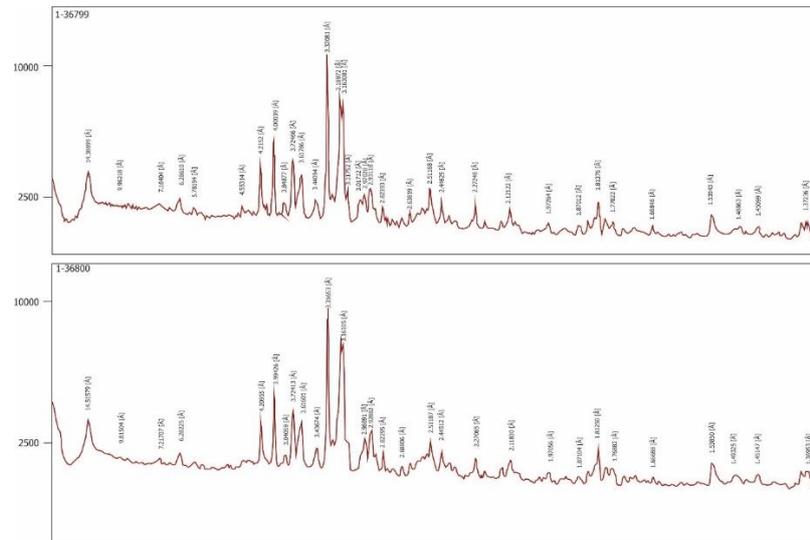
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2.** Resultados del análisis geoquímico de difracción de rayos X (DRX) de las muestras MAC08 Y MAC09

Mineral	MAC08	MAC09
Calcita	5-15%	-
Caolinita	5-15%	5-15%
Cristobalita	15-30%	5-15%
Cuarzo	30-50%	30-50%
Feldespato	15-30%	30-50%
Halita	5-15%	5-15%
Hematita	5-15%	5-15%
Lepidocrocita	5-15%	5-15%
Micas	5-15%	5-15%
Arcilla 14°A	5-15%	5-15%

Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.** Difractograma de las muestras MAC08 (A) y MAC09 (B)



**Fuente:** Elaboración propia

### Análisis mecánicos

Realizados en los laboratorios de la industria Alfacer del Caribe S.A, regida por la norma ISO 13006.

La norma ISO 10545, se ubica dentro de las ISO 13006 y describe específicamente los procedimientos de control y ensayos para determinar las características requeridas por los productos comerciales entendidos como de primera calidad comercial [28].

La Tabla 3, muestra los resultados de los ensayos aplicados a las muestras de andesitas de la Formación Guatapurí. La norma ISO 10545, indican que sí cumplen con los parámetros mecánicos establecidos, que son:

- Resistencia a la mecánica de flexión no inferior a 27 MPA es apta para la fabricación de baldosas cerámicas. Descrita en la norma ISO 10545-4
- El coeficiente de absorción se encuentra en el grupo BIIa que establece un valor menor al 3%, descrita en la norma ISO10545-3.
- La resistencia al desgaste debe ser menor de 15% según la norma ISO 10545-7, para el uso de baldosas de tránsito peatonal intenso.
- La resistencia a la compresión realizada con la máquina de rotura, siguiendo los métodos establecidos de los ensayos descritos en la norma ISO 10545-11, determina que la roca es resistente.

**Tabla 3.** Resultados de los ensayos mecánicos

Densidad	2.64 gr/cm <sup>3</sup>
Resistencia a la mecánica de flexión	30 Mpa
Resistencia a la compresión	172 Mpa
Resistencia al desgaste	12,61%
Coefficiente de absorción	0,22%

**Fuente:** Elaboración propia

## Conclusiones

De acuerdo a los análisis petrográficos, la andesita de la Formación Guatapurí en la cantera El Amanecer presenta textura afanítica, de color gris oscuro a negro, con un bajo grado de meteorización y grado de oxidación medio. Mineralógicamente presentan cristales de cuarzo con porcentajes de 5% a 7%, plagioclasas con porcentajes de 45 a 55%, feldespato potásico con un porcentaje de 15 a 20%, y un índice de color (minerales oscuros) de entre un 20% a 35% compuestos por biotita, hornblenda y como accesorio moscovita; microscópicamente con contenido de minerales de augita y sanidina.

Geoquímicamente las muestras tienen fases cristalinas de cuarzo, feldespato y cristobalita, con concentraciones en promedio de sílice (SiO<sub>2</sub>) 57,7%wt, óxido de aluminio 17,02%wt (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido ferroso (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 6,32%wt y óxido de potasio (K<sub>2</sub>O) 4,76%wt, los demás compuestos presentes se encuentran en porcentajes bajos.

La calidad de la andesita mediante los análisis petrográficos, geoquímicos y mecánicos indica que cumplen con los parámetros requeridos para uso cerámico en la fabricación de baldosas, según lo establecido en las normas ISO 13006 y 10545.

## Referencias bibliográficas

1. V. López, G. Ascanio y V. Guerrero, *Rocas Industriales de Venezuela*, Venezuela: Fundacite Aragua. 2003.
2. T. Lenggono, D. Prakasa, E. Putra, and A. Setianto, "The Quality and Distribution of Andesite Rock for Construction Materials in Kokap and Temon District, Kulon Progo Regency Yogyakarta – Indonesia", *Journal of Applied Geology*, vol. 3, n°. 2, pp. 73–82, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22146/jag.48595>
3. A. J. Bracamonte Miranda, M. L. Vertel Morinson, and J.A. Cepeda Coronado, "Caracterización físico-mecánica de agregados

- pétreos de la formación geológica Toluviejo (Sucre) para producción de concreto,” *Sci. Tech.* Vol. 18, n°. 2, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.22517/23447214.8635>.
4. L. Gaetea, R. Fuentes, Y. Vargasa, J. Gallegob, F. Montoyab, J. Pereirac, O. Quezadac & R. Molinac, “Estudio del Comportamiento no-lineal en Andesita. Primeros Resultados”. V Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA2006, 2006.
  5. D. Filipussi, “Caracterización de daño por “b-value” de eventos de emisión acústica en ensayos de rotura de roca andesita”, *Revista Materia*, Vol. 23, n°. 02, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0404>.
  6. M. Atencio Guerrero y. Britto López, "Caracterización Composicional y de Resistencia a las Calizas Explotadas en las Minas del Municipio de Bosconia, en el Departamento del Cesa", *Ing.USBMed*, vol. 10, n°. 1, pp. 2-7, mar. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21500/20275846.3619>.
  7. J. Martínez, A. Soler, O. Neus y E. Salvado. (2012, julio). “Caracterización Mineralógica y Química de Áridos Ofíticos Sometidos a Ensayos Normalizados de Durabilidad”. *Revista de la sociedad española de mineralogía* [En línea]. n°. 16, 80-81. Disponible en: [http://www.ehu.eus/sem/macla\\_pdf/macla16/Macla16\\_080.pdf](http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla16/Macla16_080.pdf)
  8. A. Chiman, L. Chiman, L. Sanabria Grajales, y J. Correa Avello. (2014, oct.). “Caracterización comparativa de agregados obtenidos de rocas ígneas usados en construcción vial”. *Revista Infraestructura Vial* [En línea], Vol. 16, n°. 28, pp. 5-12. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/14222/15636>
  9. E. Torres, "Determinación de la calidad de la base y sub base del material explotado en la cantera explotado en la cantera explominerales de la costa SA ubicada en la Ciudad de Valledupar," Tesis de pregrado, Pro. Ing. De Minas, Fundación Universitaria del Área Andina, Valledupar, Colombia, 2018.
  10. A. Morice-Sandoval, “Estudio exploratorio para el establecimiento de una metodología para la caracterización geotécnica de material de un tajo, basado en el ensayo de absorción,” Tesis de pregrado, Lic. en Ing. en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2010.
  11. Y. González-Remesal, “Principales rasgos geológico y geofísico de los cuerpos de arena del paleocauce del río Chamba V con vista a

- su asimilación como material de construcción,” tesis de pregrado, Facultad de Geología y Minería, Instituto Superior Minero Metalúrgico de MOA, Departamento de Geología, 2005.
12. J.L. Chacha-Garcés, y C.A. Medina Vallejo. “Proyecto para la producción y comercialización de piedra volcánica andesita para optimizar la rentabilidad en la Fábrica de mármol San Andrés en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, periodo 2016,” tesis de pregrado, Facultad de Administración de Empresas, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2016.
  13. C. Tschanz, C. Jimeno y J. Cruz, Mapa geológico de la Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia, 1:200.000. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras Bogotá, Colombia, 1969.
  14. C. Govea y E. Dueñas., “Informe geológico preliminar de la Cuenca del Cesar”. ECOPEL. Informe, 390, 37. 1975.
  15. M. Hernández, “Geología de las Planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga, Escala 1: 100.000”. Memoria Explicativa. INGEOMINAS, Bogotá D. C., 92 p. 2003.
  16. D. Ward, R. Goldsmith, J. Cruz B. y H. Restrepo, “Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamento de Santander”, *boletingeo*, Vol. 21, n°. 1-3, pp. 1-134, 1973.
  17. A. Taboada, L. A. Rivera, A. Fuenzalida, A. Cisternas, H. Philip, H. Bijwaard, J. Olaya y C. Rivera, “Geodynamics of the Northern Andes: Subductions and intra continental deformation (Colombia)”, *Publicación especial de la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS)*, Bogotá. 28 p. 2000.
  18. F. E. Audemard and F. A. Audemard, “Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America–Caribbean geodynamic interaction,” *Tectonophysics*, vol. 345, n°. 1, pp. 1–26, 2002. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00218-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00218-9).
  19. G. Bayona, G. Jiménez, C. Silva, A. Cardona, C. Montes, J. Roncancio y U. Cordani, “Paleomagnetic data and K–Ar ages from Mesozoic units of the Santa Marta massif: A preliminary interpretation for block rotation and translations,” *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 29, no. 4, pp. 817–831, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2009.10.005>
  20. C. M. Tschanz, R. F. Marvin, J. Cruz B., H. H. Mehnert, And G. T. Cebula, “Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia,” *GSA Bull.*, vol. 85, n°. 2, pp. 273–284,

Feb. 1974. DOI: [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1974\)85<273:GEOTSN>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1974)85<273:GEOTSN>2.0.CO;2).

21. F. Colmenares, A. Mesa, H. Roncancio, E. Arciniegas, P. Pedraza, A. Cardona, A. Romero, C. Silva, S. Alvarado, O. Romero y A. Vargas, Geología de las planchas 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 26, 27, 33 Y 34. PROYECTO: Evolución Geohistórica de la Sierra Nevada de Santa Marta. Ingeominas. Bogotá. 2007.
22. C. M. Tschanz, R. F. Marvin y B. Cruz, Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia). INGEOMINAS, Bogotá. 1969.
23. X. Gómez, Revisión de la interpretación geológica estructural de las áreas Annex y Bruno en el deposito carbonífero del Cerrejón en el departamento de la Guajira, p.29. 2011.
24. J. B. Miller, Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá y partes adyacentes de Venezuela y Colombia. Boletín Geológico, Ministerio de Minas e Hidrocarburo, No. 3, 3er Congreso Geológico de Venezuela, Memoria. Tomo 2, Caracas, 685-718. 1960.
25. C. Govea y E. Dueñas, Informe geológico preliminar de la Cuenca del Cesar. ECOPETROL. Informe 390. 37p. Bogotá. 1975.
26. A. L. Streckeisen, "Classification of the common igneous rocks by means of their chemical composition: a provisional attempt". Neues Jahrbuch fuer Mineralogie, Monatshefte, H, vol. 1, pp. 1-15., 1976.
27. R. Kretz, "Symbols for rock-forming minerals. Journal of American Mineralogist" [En Línea], Vol. 68, pp. 277-279., 1983. Disponible en: [http://www.minsocam.org/ammin/AM68/AM68\\_277.pdf](http://www.minsocam.org/ammin/AM68/AM68_277.pdf). (Artículo de revista electrónica)
28. G. Domato, "Revestimientos cerámicos, definición, clasificación y características - Normas ISO 13006/10545". Asociación Técnica Argentina de Cerámica. 2005. Disponible en: <https://docplayer.es/69841605-Revestimientos-ceramicos-definicion-clasificacion-y-caracteristicas-normas-iso-13006-10545.html>.