

DETERMINATION OF THE INDUSTRIAL USE OF THE LIMESTONES OF THE LAGUNITAS FORMATION, OUTCROPS TO THE EAST OF THE MUNICIPALITY OF AGUSTÍN CODAZZI, CESAR-COLOMBIA

DETERMINACIÓN DEL USO INDUSTRIAL DE LAS CALIZAS DE LA FORMACIÓN LAGUNITAS, AFLORANTES AL ESTE DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI, CESAR-COLOMBIA

González, D. J.¹; González, O. J.²; Manco, J. D.³; Rojas, M. E. ⁴; Lascarro, N. F.⁵

¹ *Ing. José Alberto González Delgado, Ingeniero Geólogo, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail: jgonzalez19@estudiantes.areandina.edu.co*

² *Ing. Jaqueline González Olaya, Ingeniero Geólogo, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail: jgonzalez107@estudiantes.areandina.edu.co*

³ *MSc. Dino Carmelo Manco-Jaraba, Ingeniero de Minas, Universidad de La Guajira, e-mail: dinomancojaraba@gmail.com*

⁴ *M.Sc. Elias Ernesto Rojas-Martínez, Geólogo, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail: eliaser@hotmail.com*

⁵ *M.Sc. Frank Lascarro Navarro, Ingeniero Geólogo, Fundación Universitaria del Área Andina, e-mail: flascarro@areandina.edu.co*

Recibido: 09/02/2022 / Aceptado: 20/06/2022

Resumen

La roca caliza desde la antigüedad ha sido de gran utilidad e importancia, debido a sus características fisicoquímicas que permiten su utilización con fines industriales. En el municipio de Agustín Codazzi, afloran calizas intercaladas con shales, correspondientes a la Formación Lagunita. Esta investigación tiene como objetivo conocer su distribución geográfica, composición química y uso potencial como material industrial, mediante técnicas geoquímicas (FRX), cartografía, análisis estratigráfico, y las Normas Técnicas Colombianas 5163 y 4915. Texturalmente corresponden a wackestone, según Dunham 1962, con presencia de equinodermos, algas, espinas de pescado, foraminíferos y bivalvos, que permiten establecer una edad relativa entre Barremiano al Aptiano; en general están constituidas por SiO₂ en un 3,1%wt; P₂O₅ en 2,7%wt y CaO en un 77 %wt.; MgO en un 0,7%wt, Al₂O₃ en un 0,6%wt y Fe con 0,25%wt; y su utilidad primordial es para la fabricación de cemento y cal.

Palabras clave: Cal; Caliza; Cemento; Fluorescencia de Rayos X; Geología; Petrografía.

Abstract

The Limestone rock has been of great utility and importance since ancient times, due to its physicochemical characteristics that allow its use for industrial purposes. In the municipality of Agustín Codazzi, limestones intercalated with shales outcrop, corresponding to the Lagunita Formation. The objective of this research is to know their geographic distribution, chemical composition and potential use as industrial material, by means of geochemical techniques (FRX), mapping, stratigraphic analysis, and Colombian Technical Norms 5163 and 4915. Texturally they correspond to wackestone, according to Dunham 1962, with presence of echinoderms, algae, fish bones, foraminifera and bivalves, which allow establishing a relative age between Barremian to

Aptian; in general, they are constituted by SiO₂ in 3.1%wt; P₂O₅ in 2.7%wt and CaO in 77 %wt. MgO in 0.7%wt, Al₂O₃ in 0.6%wt and Fe with 0.25%wt; and its main use is for the manufacture of cement and lime.

Keywords: Lime; Limestone; Cement; X-Ray Fluorescence; Geology; Petrography.

1. INTRODUCCIÓN

La Serranía del Perijá (SP), sistema montañoso localizado en la región nort-noreste de Colombia. Corresponde a una estructura montañosa alargada originada por la orogénesis andina, constituida por rocas con edades desde el Cámbrico-Ordovícico al reciente. Formada esencialmente por rocas metamórficas y predominantemente por rocas sedimentarias en superficie (Ayala-Calvo, 2009; De Los Reyes-Díaz *et al.*, 2020; Etayo & Rodríguez, 1985; Haught *et al.*, 1945; Taboada *et al.*, 2000).

La litología que constituyen la Serranía de Perijá, han sido de gran importancia económica para la región, debido a interacción Mesozoica Medio - Cenozoica entre la placa Caribe y los bloques continentales de la placa suramericana que han originado una compleja configuración estructural que incluye de oeste a este, la Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM), la cuenca de Cesar-Ranchería, la Serranía del Perijá (Bayona *et al.*, 2011; Niño Rondón *et al.*, 2021), y procesos petrogenéticos que la han enriquecidos en mineralizaciones y asociaciones mineralógicas permitiendo extracción rentable de cobre (Cardeño *et al.*, 2015; Manco-Jaraba *et al.*, 2019; Ortega *et al.*, 2012), caliza (De Los Reyes-Díaz *et al.*, 2020; Manco-Jaraba *et al.*, 2014), hierro (Daza *et al.*, 2018; Gelvez *et al.*, 2020) y otros minerales. Siendo la caliza materia prima en diferentes industrias (construcción, agricultura, metalurgia, manufactura.), ya que es usada para la fabricación de yeso, cal, cemento, concretos, estucos, y como roca

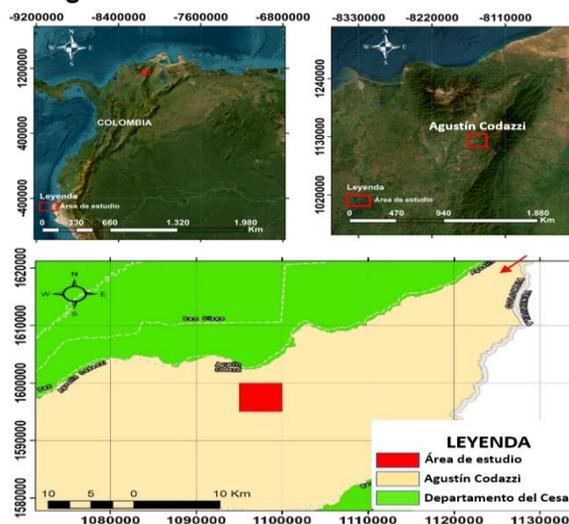
ornamental (Alvarez-Rozo *et al.*, 2018).

Existen afloramientos de caliza (wackestones intercaladas con areniscas) asociadas a la Formación Lagunitas del Grupo Cogollo, al oriente del municipio de Agustín Codazzi (Colmenares *et al.*, 2007; Instituto Colombiano de Geología y Minería *et al.*, 1988). El centro de esta investigación es determinar la distribución espacial de la Formación Lagunitas, las características químicas de la roca caliza en el sector y su potencial uso como material industrial, de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5163 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, 2003).

2. LOCALIZACIÓN

El área se ubica al oriente del municipio Agustín Codazzi, departamento del Cesar. Limitando al norte con el departamento de La Guajira, sur departamento Norte de Santander, este departamento del Magdalena y oeste con la Serranía del Perijá y Venezuela (Figura 1).

Figura 1. Localización del área de estudio.



3. METODOLOGÍA

En la ejecución de la investigación se efectuó la cartografía geológica del sector a escala 1:25.000, a partir de transectos definidos mediante sensores remotos y teledetección que permitieron identificar, localizar y evaluar las diferentes unidades aflorantes, como la Formaciones Lagunita (K1l), Formación Rio Negro (K1r) y la Formación La Quinta (Jq), tomándose doce (12) especímenes en total de rocas de la secuencia sedimentaria aflorantes, asumiéndose que poseen continuidad lateral y son representativas del sector, con un peso promedio de 2 kilogramos cada una y con bajo grado de alteración, para la prueba analítica de fluorescencia de rayos X (FRX) y caracterización petrográfica.

La caracterización geoquímica fue realizada por la técnica analítica de fluorescencia de rayos X (FRX), mediante la herramienta Niton™ XL3t XRF Analyzer - Thermo Fisher Scientific, para cuantificar y cualificar cada uno de los elementos químicos constituyente de las rocas, principalmente, elementos mayoritarios, minoritarios y trazas, para evaluar la calidad y potencial como fuente de materiales de construcción.

En la caracterización petrográfica de las se implementó el método cuantitativo para determinar los constituyentes modales, basándose en la observación microscópica y conteo de puntos de (Stoltman, 1989) de las secciones o láminas delgadas en un microscopio petrográfico, clasificándose textural y composicionalmente.

El uso de las calizas se determinó contrastando los resultados químicos con los parámetros expuestos por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5163 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y

Certificación - ICONTEC, 2003; Guerrero *et al.*, 2021).

4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL Y LOCAL

El departamento del Cesar está comprendido por tres zonas geológicamente importantes, la Sierra Nevada de Santa Marta, la Serranía del Perijá y la zona de planicie del Valle del Rio Cesar. La Serranía de Perijá cuenta con una extensión de 425 Km aproximadamente, presentando una altitud de 500 m.s.n.m. a 3550 m.s.n.m, ubicada al noroccidente de Suramérica, entre el territorio colombiano y parte de Venezuela, sus límites están dados al norte por la Falla de Oca y al sur por la Falla Santa Marta- Bucaramanga (Taboada *et al.*, 2000; Araujo & Rivera, 2020).

La geología en la Serranía del Perijá es muy variable respecto a las edades de las Unidades litológicas, lo que conlleva a que se realicen diferentes consideraciones al respecto; como la realizada por (Miller, 1960), que sugiere que las rocas presentes en esta región se formaron desde el Jurásico hasta el Terciario, mientras que (Castro, 2009), consideran que la edades de la Unidades están comprendidas desde el Paleozoico hasta el Cuaternario y que es posible encontrar sedimentos marinos y continentales en afloramientos de la región. A continuación, se expone la descripción litoestratigráficas de las Formaciones presente en el sector de Agustín Codazzi-Cesar.

Grupo Cogollo

El Grupo Cogollo fue descrito inicialmente por (Miller, 1960), agrupando una serie de rocas carbonatadas (calizas, calizas arenosas y areniscas) de edad Barremiano-Aptiano que hacen parte del borde occidental de la Serranía de Perijá. Caracterizado por

presentar su contacto inferior con la Formación La Quinta de forma discordante, y gradacional con la Formación Río Negro (Castro, 2009; González *et al.*, 2008).

Este Grupo es dividido litológicamente en las Formaciones Lagunitas (Base) y Aguas Blancas (Techo) que a su vez se subdivide en tres miembros conocidos como, Ánimas, Tucuy y Maracas (González *et al.*, 2008; Hernández, 1996; Lozada-Molina *et al.*, 2019).

Formación Lagunita

Descrita como una sucesión de calizas masivas de coloración gris oscura con alto contenido en fósiles, con alternaciones pequeñas de lodolitas calcáreas y calizas lumaquéticas (Hernández, 1996) con un espesor máximo medido de 290 metros (Cáceres *et al.*, 1980).

Formación Aguas Blancas

Agrupada de base a techo a tres Miembros caracterizado por Ánimas: constituido por un conjunto lodolítico carbonatado con abundante materia orgánica intercalado con calizas micríticas de color negro que gradan horizontalmente a areniscas carbonatadas de grano tamaño arena fina; su espesor es de 285 metros. Tucuy: conformado por limolitas arenosas carbonatadas, areniscas de grano tamaño arena fina y arcillolitas carbonatadas, su espesor es de 450 metros; y Maracas: compuesto por calizas lumaquéticas masivas, con espesor de 217 metros (González *et al.*, 2008; Lozada-Molina *et al.*, 2019).

Formación La Luna

Descrita inicialmente por (Garner, 1927), y según (García-González *et al.*, 2010), consta de paquetes de capas medias y gruesas de calizas negras packstone color

gris oscuro, alternando con capas delgadas y muy delgadas de lodolitas carbonatadas negras con restos fosfáticos y pirita, algunas veces muestran fósiles completos de bivalvos. Al sur de Manaure (García-González *et al.*, 2010), reporta que la Formación La Luna yace en contacto paraconforme con las calizas macizas y arenitas calcáreas de la parte superior del Grupo Cogollo, constituida básicamente de lodolitas negras calcáreas en capas delgadas con contactos netos, interestratificadas con paquetes de capas medianas de calizas gris oscuro; hacia la parte más superior de la unidad las capas de lodolitas calcáreas y calizas mudstone se hacen más ocurrentes y forman niveles con concreciones de hasta 1 m de diámetro, con intercalaciones de capas delgadas de chert negro.

Su espesor medido es de 150m, y su edad según informes de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (González *et al.*, 2008; Bonilla *et al.*, 2021), se ubica entre el Turoniano y el Coniaciano.

Formación Río Negro

Datada del Berriasiano al Aptiano inferior (Instituto Colombiano de Geología y Minería *et al.*, 1988), se encuentra aflorando en las estribaciones de la SP al oriente de Manaure en el páramo Sabana Rubia, al suroriente de Codazzi por el Río Sicarare, al sur del Río Fernambuco, entre Codazzi y Casacará; en la hacienda Carrizal, Arroyo Arena, al oriente de Casacará; 4 km al norte de la hacienda Betulia, al nororiente de Becerril; en los cerros Cabellera, América, La Pista y Puente Tierra, al oriente de Codazzi (Arias & Morales, 1999; Villamizar *et al.*, 2020).

Constituida por areniscas y conglomerados de granulometría y composición variada con

esporádicas intercalaciones de arcillolitas y limolitas grises y pardas alcanzando espesores de hasta 250m (Hernández, 2003); según Arias & Morales, (1999) alcanza 3000m de espesor en la sección tipo en la Serranía del Perijá, Venezuela y para (Hernández-Pardo *et al.*, 2009), suprayace discordantemente capas de la Formación La Quinta e infrayace de forma transicional al Grupo Cogollo.

Formación La Quinta

Se encuentra ampliamente representada en el flanco occidental de la Serranía de Perijá, datada del Triásico superior al Jurásico Inferior (Forero, 1970); y según Barrett *et al.*, (2008) citado por Montañó C, (2009), es ubicada en el Jurásico Temprano a Tardío, según evidencia fósil de ornithischian *Lesothosaurus* sp y restos de reptiles. Se encuentra aflorando cerca al Municipio de Manaure y se prolonga hacia el sur hasta la quebrada San Antonio, al oriente de La Jagua de Ibirico, con predominio, en su mayoría, de rocas sedimentarias (Arias & Morales, 1999).

Depósitos Aluviales (Qal)

Corresponden a depósitos recientes que se encuentran distribuidos entre los valles intramontañosos de los drenajes de la zona, formados por la acumulación de depósitos aluviales. Se encuentran en menor proporción que las demás unidades. Están conformados por materiales provenientes de Formaciones aledañas que han sido transportados por las redes de drenajes predominantes en la zona, por lo que su composición es heterogénea.

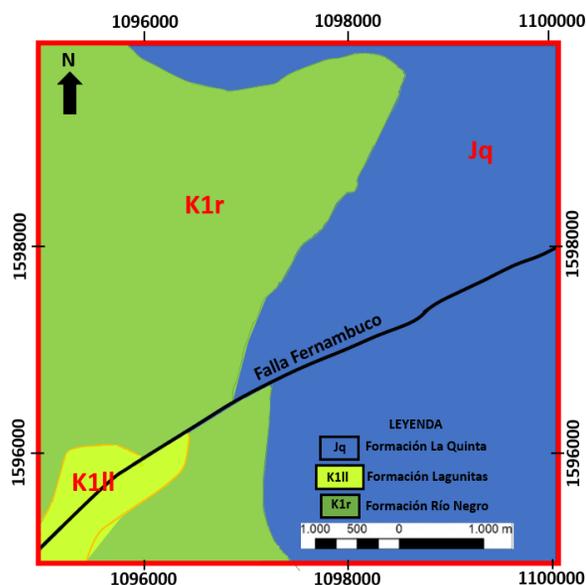
5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Petrografía

Formación Lagunita

Yace aflorando al occidente del municipio de Agustín Codazzi, y en el área de estudio en una porción al suroriente (Figura 2). Las rocas de esta unidad fueron descritas por Colmenares *et al.*, (2007), como calizas y shales indiferenciados. Las observaciones de campo, secciones estratigráficas levantadas en los afloramientos y análisis petrográficos macro y micro, permitieron establecer que corresponden a la Formación Lagunita del Grupo Cogollo, debido que sus características litológicas coinciden con las descrita por Cáceres *et al.*, (1980), quien especifica que están compuesta por calizas fosilíferas en capas gruesas de color gris claro a gris oscuro, interestratificadas con shales (De Los Reyes-Díaz *et al.*, 2020).

Figura 2. Cartografía geológica del área de estudio.

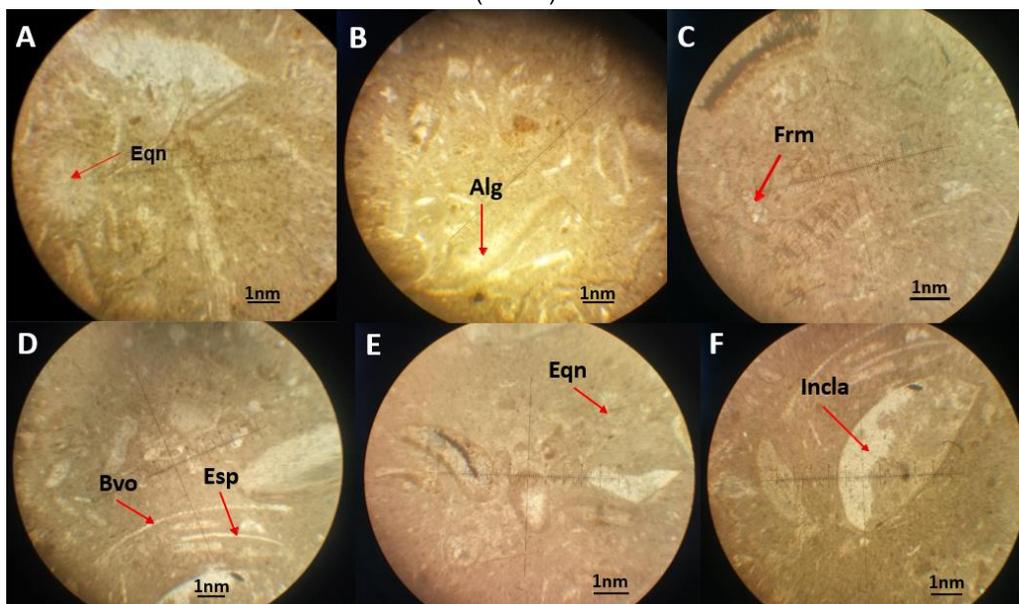


Macroscópicamente las muestras de caliza de esta Formación presentan una apariencia masiva microcristalina con fósiles visibles, y composicionalmente clasificadas como biomicrocristalinas según la clasificación de (Folk, 1962, 1974), equivalentes a wackestone según (Folk, 1974), presentan micrita, están

vagamente empaquetada, lodosoportada. Exhiben fósiles de equinodermos, algas, espinas de pescado, foraminíferos y bivalvos (Figura 3A), que le asigna una edad relativa del Barremiano al Aptiano (Cretácico Inferior) y a su vez se correlaciona con la establecida en (Ayala-Calvo, 2009;

Dunham, 1962). Además, se encuentran calizas densamente empaquetada, bioclastosoportada con intraclastos en 16% Además, un 50% de lodo carbonatado, 4% de esparita y 30% de alquímicos principalmente bioclastos (Dunham, 1962).

Figura 3. Microfotografía de los bioclastos constituyentes de la Formación Lagunitas en nicos cruzados. Equinodermo (Eqn), algas (Alg), Foraminífero (Frm), Bivalvo (Bvo), Espina de pescado (Esp), intraclásto (Ancla).



Formación Río Negro (K1r)

Esta unidad se encuentra en la parte central de la zona de estudio (Figura 2), conformada por arenitas subarcóicas con laminaciones cruzadas, en capas cuneiformes, arenitas conglomeráticas, conglomerados clastos soportados con laminaciones cruzadas, conformando secuencias grano decrecientes incompletas (GEOESTUDIOS LTDA, 2006). Yace en contacto paraconforme con la Formación La Quinta y en contacto concordante transicional con la Formación Lagunitas (GEOESTUDIOS

LTDA, 2006, 2014; Bermúdez *et al.*, 2020).

Formación La Quinta (Jq)

Esta unidad aflora al este de la zona de estudio, constituida principalmente por rocas volcánicas tobaceas de composición riolíticas, andesíticas y dacíticas, limolitas rojas y violáceas, areniscas y conglomerados (Figura 2). Su columna estratigráfica muestra en general intercalaciones de areniscas rojas y areniscas verdosas de grano tamaño arena medio (Figura 4).

Figura 5. Subarcosa rojiza de la Formación La Quinta.



Areniscas síliceas verdosas

Afloran en la vereda La Gloria, sobre el Río Fernambuco, aproximadamente a 800m del Colegio Fernambuco en dirección SW; presentan tonalidades rojas intercaladas con areniscas verdosas mineralizadas de carbonatos, como producto de la reacción con fluidos hidrotermales que provenían del Grupo Cogollo, areniscas conglomeráticas con laminación ondulosa continua (ver Figura 6A), areniscas rojas con laminaciones cruzadas en artesa sobre el Río Fernambuco, específicamente en la intersección con la vía de acceso principal (ver Figura 6B) y areniscas rojas con vetillas de cuarzo hacia el SE del Colegio

Fernambuco (ver Figura 6C), identificándose una mayor concentración de sílice hacia el tope de la unidad.

Esta litología presenta un 10% de matriz lodosa con granos tamaño arena muy fina de 1/16 a 1/8 mm, 90% de armazón constituido por granos tamaño arenas finas de 1/8 a 1/4 mm; de morfología esférica subredondeada, empaquetamiento cerrado, moderadamente calibrado, con cemento síliceo, texturalmente inmadura; composicionalmente posee 88% de cuarzo, 5% de feldespatos y 7% de fragmentos líticos, con laminaciones estratificación planoparalela y clasificada según Folk, (1974) como una Sublitoarenita.

Figura 6. A. arenisca verdosa. B. Areniscas conglomeráticas con estratificación ondulosa continua. C. Areniscas rojas con estratificación cruzada en artesa.



Geoquímica

Para el ensayo de fluorescencia de rayos-X (FRX), fueron seleccionadas (2) especímenes (Ca101 y Ca201) de la secuencia estratigráfica al oriente del municipio de Agustín Codazzi, con la finalidad de establecer la composición y porcentajes de elementos mayores y trazas presentes en las rocas.

La Tabla 1 expone los resultados de laboratorio FRX realizado a las muestras de caliza. Como elementos mayores se encuentran los que van en el rango de 1% a 99%, los elementos menores que van del 0.1% a 1% y las trazas que son inferiores 0.1%.

Tabla 1. Resultados de fluorescencia de rayos X (FRX).

Código de muestra	Peso (gr)	Fe ₂ O ₃ (%wt)	CaO (%wt)	P ₂ O ₅ (%wt)	Al ₂ O ₃ (%wt)	SiO ₂ (%wt)	Fe (ppm)	MgO (%wt)	MgCO ₃ (%wt)
Ca101	7,3	0,14	78,32	2,85	0,67	3,16	0,35	0,71	1,41
Ca 201	6,78	0,12	75,18	2,52	0,52	2,98	0,12	0,7	1.34

Con base a los resultados, las muestras están constituidas mayoritariamente por óxido de calcio (CaO), silicio (SiO₂) y fósforo (P₂O₅). De manera general el CaO se encuentra dentro del rango 75,18%wt – 78,32%wt, el CaO con un rango de 78,32%wt-75,18%wt, y el P₂O₅ dentro de un rango de 2,52%wt – 2,85%wt.

Con menor porcentaje se encuentra el Fe₂O₃ con un rango de concentración de 0.12 – 0,14 %wt, Al₂O₃ con un rango de concentración de 0,52 – 0,67 %wt y como traza el hierro (Fe) con un rango de 0,35 – 0,12 ppm.

Uso de la caliza

A partir de las propiedades mineralógicas y químicas de la caliza se puede definir el uso ideal que pueden tener en el campo industrial, para esto se reúnen conceptos de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5163 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, 2003).

Por su importancia comercial, los principales derivados de las calizas son la cal, cemento

y el carbonato de calcio.

Las normas técnicas colombianas (NTC) define la terminología de la caliza de acuerdo a los porcentajes de magnesio así (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, 2003):

- 1) caliza dolomítica: caliza que contiene de 35 % a 46 % de carbonato de magnesio (MgCO₃).
- 2) caliza magnesiana: caliza que contiene de 5 % a 35 % de carbonato de magnesio (MgCO₃).
- 3) caliza de alto calcio: caliza que contiene de 0 % a 5 % de carbonato de magnesio (MgCO₃).

Los resultados geoquímicos obtenidos frente a la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5163 corresponde a la terminología relacionada con cal y caliza, el término oportuno a la roca es el de caliza de alto calcio, debido a que contienen entre 0 % a 5 % de carbonato de magnesio (MgCO₃), estableciéndose que la utilidad fundamental de las calizas de la Formación Lagunitas en el sector de La

Tomita es para la fabricación de cemento y cal.

6. CONCLUSIONES

Al Oriente del Municipio Agustín Codazzi, en el departamento del Cesar, los afloramientos estratigráficos de calizas se caracterizan por presentar wackestone de la Formación Lagunitas con presencia de especies de equinodermos, algas, espinas de pescado, foraminíferos y bivalvos que le asigna una edad relativa del Barremiano al Aptiano (Cretácico Inferior).

Cuantitativamente las calizas están constituidas en promedio por SiO₂ en un 3,1%wt; P₂O₅ en 2,7%wt y CaO en un 77 %wt.; MgO en un 0,7%wt, Al₂O₃ en un 0,6%wt y Fe con 0,25%wt.

A través de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 5163 y 4915, se determinó que la utilidad de las calizas localizadas en el sector suroriental del municipio de Agustín Codazzi es para la fabricación de cemento y cal.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez-Rozo, D. C., Sánchez-Molina, J., Corpas-Iglesias, F. A., & Gelves, J. F. (2018). Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta (Colombia). *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 57(6), 247–256. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bscv.2018.04.002>

Araujo, T. C. y Rivera, M. E. (2020). Índices de sequía para la cuenca del Río Cesar – Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/19009178.v2.n2.2020.4671>

Arias, A., & Morales, C. J. (1999). *Mapa geológico generalizado del departamento del Cesar* (I. N. de I. G. M. (INGEOMINAS) (ed.)). Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras (INGEOMINAS). <https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=14212>

Ayala-Calvo, R. C. (2009). *Análisis tectonoestratigráfico y de procedencia en la Subcuenca de Cesar: relación con los sistemas petroleros* [Universidad Simón Bolívar]. [http://www.cgares.org/Directorio/Archivos/6276_8 tesis final_cayala.pdf](http://www.cgares.org/Directorio/Archivos/6276_8%20tesis%20final_cayala.pdf)

Barrett, P. M., Butler, R. J., Moore-Fay, S. C., Novas, F. E., Moody, J. M., Clark, J. M., & Sánchez-Villagra, M. R. (2008). Dinosaur remains from the La Quinta Formation (Lower or Middle Jurassic) of the Venezuelan Andes. *Paläontologische Zeitschrift*, 82(2), 163–177. <https://doi.org/10.1007/BF02988407>

Bayona, G., Montes, C., Cardona, A., Jaramillo, C., Ojeda, G., Valencia, V., & Ayala-Calvo, C. (2011). Intraplate subsidence and basin filling adjacent to an oceanic arc–continent collision: a case from the southern Caribbean–South America plate margin. *Basin Research*, 23(4), 403–422. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2117.2010.00495.x>

Bermúdez, N., Gallegos, D. S. y Botello-Suárez W. A. (2020). Desarrollo de un dispositivo autónomo para el mejoramiento de la calidad del agua en el humedal córdoba (Bogotá, Colombia). *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.355>

Bonilla, C. A., Rubio, Y. M. y Bonilla, S. A. (2021). Afectación por derrames de crudo

- ocasionados por acciones subversivas al oleoducto Caño Limón Coveñas. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2).
<https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572>
- Cáceres, H., Camacho, R., & Reyes, J. (1980). *The Geology of the Rancheria Basin. Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists. Geological Field – Trips Colombia, 1980 – 1989.*
- Cardeño, K. V., Martínez, E. R., Jaraba, D. M., & Cardenas, R. L. (2015). Identificación de las mineralizaciones de cobre aflorantes en el Cesar. *Ingeniare*, 10(18), 11.
- Castro, E. (2009). *Aspectos geológicos y principales consideraciones de la evaluación ambiental estratégica (diagnóstico ambiental) del distrito minero La Jagua, departamento del Cesar.*
- Colmenares, F., Mesa, A., Roncancio, J., Arciniegas, E., Pedraza, P., Cardona, A., Romero, A., Silva, C., Alvarado, S., Romero, O., & Vargas, A. (2007). *Geología De La 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". Ministerio de Minas y Energía, Instituto Colombiano de Geología y Ministerio de Ingeominas.
<http://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008010018162/documento/pdf/2105181621101000.pdf>
- Daza, Y. M., Robles, J. M., Márquez, G. M., Martínez, E. R., Corzo, A. C., & Manco-Jaraba, D. (2018). Evidencias mineralógicas y geoquímicas de las manifestaciones de hierro hospedadas en La Unidad Riodacita de los Tábanos sector de Corral de Piedras, San Juan del Cesar, La Guajira/Mineralogical and geochemical evidence of the iron manifestations... *Prospectiva*, 16(1), 67–75.
<https://doi.org/10.15665/rp.v16i1.1129>
- De Los Reyes-Díaz, G., Mendoza-Mejía, Z., Mosquera-Nieves, E., Rojas-Martinez, E., Manco-Jaraba, D., & Lascarro-Navarro, F. (2020). Geoquímica de las calizas del sector La Tomita, municipio de Manaure-Cesar. Aporte a la determinación de su uso como material industria. *Prospectiva*, 18(2).
<https://doi.org/http://doi.org/10.15665/rp.v18i2.219>
- Dunham, R. J. (1962). Clasificación de las rocas de carbonatos de acuerdo con la textura de deposición. en: jamón. In *Clasificación de las rocas de carbonatos de acuerdo con la textura de deposición. en: jamón* (Asociación americana de geólogos de petróleo).
- Etayo, F., & Rodriguez, G. (1985). *Proyecto Cretácico. Edad de la Formación Los Santos.* <https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12357>
- Folk, R. L. (1962). Clasificación de las rocas de carbonatos de acuerdo a las proporciones relativas de los tres constituyentes básicos: granos (aloquímicos), matriz micrítica y cemento, esparítico (ortoquímicos). In *Boletín Asociación Americana de Geólogos del Petróleo* (Vol. 43).
- Folk, R. L. (1974). Petrologie of sedimentary rocks. In *Hemphill Publishing Company, Austin.*
- Forero, A. (1970). Estratigrafía del Precretácico en el flanco occidental de la Serranía de Perijá. *Geología Colombiana*, 7, 139–145.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/30383>
- García-González, M., Cruz-Guevara, L. E., & Mier-Umaña, R. (2010). Evolución

- térmica de la Subcuenca de la Baja Guajira. *Boletín de Geología*, 32(2), 55–71.
- Garner, A. H. (1927). General Oil Geology of Colombia. *Bul. Ame. Assoc. Petr. Geol*, 11, 151–156.
- Gelvez, S. D., Rivera, M. E. y Solano, O. F. (2020). Análisis estadístico de parámetros hidrometeorológicos, físicoquímicos y microbiológicos incidentes en la calidad de la quebrada Monte dentro. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(2). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i2.872>
- GEOESTUDIOS LTDA. (2006). *Cartografía Geológica Cuenca Cesar – Ranchería*. <https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/ESTUDIOS-GENERALES/CARTOGRAFIA-GEOLOGICA-CESAR-RANCHERIA-2005.pdf?ID=9>
- GEOESTUDIOS LTDA. (2014). *Cartografía geológica y muestreo en tres áreas de Colombia: Santander, Tolima y Cesar (Contrato HC-101 2014)*. https://www.academia.edu/10363846/Avance_informe_bosconia
- González, M. G., Umaña, R. M., Arias, R. A. F., Cortes, P. Y. M., Moreno, C. M. A., Salazar, C. O. M., & Jiménez, J. M. F. (2008). *Prospectividad de la Cuenca Cesar Ranchería*. http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones_y_Poster_Tcnicos/Cesar_Rancheria.pdf
- Guerrero, J., Hernández, B. y Castellanos, L. (2021). Calidad del agua para sistemas de riego en Colombia. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2573/3137>
- Haught, L., Colley, B., & Belding, H. (1945). *Geology of the Cesar-Rancheria Valley and commissary of Guajira* (Geol. Report, 449).
- Hernández-Pardo, O., Jaramillo, J. M., Parra, M., Salazar, A., Donelick, R., Blandón, A., Gómez, D., Ruiz, R., Abreu, Y., Acero, D., Abreu, A., Rodríguez, S., Montaña, P., & Nova, G. (2009). *Reconstrucción de la historia termal en los sectores de Luruaco y Cerro Cansona – Cuenca del Sinú-San Jacinto y en el piedemonte occidental de la Serranía del Perijá entre Codazzi y La Jagua de Ibirico – Cuenca Cesar-Ranchería*. https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/Reconstruccion_historia_termal_sector_de_Sinu_San_Jacinto_2009.pdf
- Hernández, M. (1996). *Geología de las planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga*. <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024387/Documento/pdf/010124387102000.pdf>
- Hernández, M. (2003). Geología de la Plancha 48 La Jagua de Ibirico. In *Ingeominas*. <http://nebula.wsimg.com/57e5189642be3c0751a644da0cbf25ab?AccessKeyId=75F883B260454DDA3D4B&disposition=0&alloworigin=1>
- Instituto Colombiano de Geología y Minería, Fondo para la Reconstrucción y Desarrollo Social del Eje Cafetero, Espinosa, A., González-Iregui, H., Núñez-Tello, A., Orrego-López, A., Etayo-Serna, F., Mendoza-Forero, J. H., Vargas-Higuera, R., Duque-Caro, H., & Paris, G. (1988). *Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1.500.000*. <http://adminmiig.sgc.gov.co/Lists/RecursosSGC/DispForm.aspx?ID=3212>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (2003). *terminología relacionada con cal y caliza*

NTC-5163.

- Lozada-Molina, M., Lascarro-Navarro, F., León-Díaz, L., Rojas-Martínez, E., Carrillo-Bolaño, F., Tapia-Tavera, L., & Manco-Jaraba, D. C. (2019). Contribución al conocimiento geológico de la Serranía del Perijá mediante cartografía a escala 1:25.000 del Grupo Cogollo, en el sector oriental del municipio de Becerril, Cesar. *Boletín Geológico*, 45, 49–59. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/boletingeo.45.2019.487>
- Manco-Jaraba, D., Ariño-Díaz, K., & Rojas-Martínez, E. (2019). Prospección y caracterización del yacimiento de cobre, en la vereda Los Cueros, Villanueva, departamento de La Guajira-Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 27(2), 288–294. <https://doi.org/10.4067/s0718-33052019000200288>
- Manco-Jaraba, D., Rojas-Martínez, E., & Gomez, B. A. (2014). Petrographic study of the limestone deposit in the municipality of la Paz, department of Cesar. *Prospectiva*, 12(2), 82–89. <http://www.scielo.org.co/pdf/prosp/v12n2/v12n2a09.pdf>
- Miller, J. B. (1960). Directrices tectónicas en la Sierra de Perijá y partes adyacentes de Venezuela y Colombia. *Bol. Geol. Minist. Min. Hidroc., Publ. Esp.*, 3, 685–718.
- Montaño C, P. (2009). Caracterización petrográfica y geocronología detrítica de las rocas aflorantes en el Arroyo Alberto (Serranía del Perijá), infra yacentes a la Formación Río Negro. In *Trabajo de Grado, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá*. [https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/bibliotecaTesisDeGrado/Carac](https://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/bibliotecaTesisDeGrado/Caracterizacion_petrografica_y_geocronologia_detrítica_en_la_Serranía_del_Perija.pdf)
- terizacion_petrografica_y_geocronologia_detrítica_en_la_Serranía_del_Perija.pdf
- Niño Rondón, C. V., Castro Casadiego, S. A. y Ortíz Fonseca, D. M. (2021). Análisis de herramientas para desarrollar un sistema de apoyo ambiental para identificar residuos sólidos. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 12(2). <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/aaas/article/view/2572/3136>
- Ortega, C., Rojas-Martínez, E., & Manco-Jaraba, D. (2012). Mineralización de cobre en el sector de San Diego, Serranía del Perijá. *Geología Colombiana*, 37(2), 51–62.
- Peñaloza, L. K., Carvajal, F. A. y Hernández, N. J. (2020). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal de la microcuenca El Volcán a partir de la compra de áreas estratégicas. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.381>
- Stoltman, J. B. (1989). A quantitative approach to the petrographic analysis of ceramic thin sections. *American Antiquity*, 54(1), 147–160. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/281336>
- Taboada, A., Rivera, L., Fuenzalida, A., Cisternas, A., Philip, H., Bijwaard, H., Olaya, J., & Rivera, C. (2000). Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19(5), 787–813. <https://doi.org/10.1029/2000TC900004>
- Villamizar, Y., Ramón, J. D. y López, L. A. (2020). Análisis de las condiciones del recurso hídrico en la quebrada escorial, Pamplona Norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo (RAAAS)*, 11(1). DOI: <https://doi.org/10.24054/aaas.v11i1.38>

