

Petrografía y diagénesis de la secuencia clástica heterolítica asociada al límite Cretácico-Paleógeno de la Isla Gorgonilla: una contribución al conocimiento geológico del pacífico colombiano

Petrography and diagenesis of the clastic heterolytic sequence associated to the Cretaceous-Paleogene boundary of Gorgonilla Island: contribution to the geological knowledge of colombian pacific

Jenny García González¹; Dino Carmelo Manco-Jaraba²

¹Geóloga, M. Sc., Ciencias de la Tierra, Fundación Universitaria del Área Andina. ORCID: <https://orcid.org/000-0001-7395-6466>.

²Ingeniero de Minas, M. Sc. Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, Universidad de La Guajira.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8506-094X>.

Cite this article as: J. García-Gonzalez, D. C. Manco-Jaraba "Petrografía y diagénesis de la secuencia clástica heterolítica asociada al límite Cretácico-Paleógeno de la Isla Gorgonilla: una contribución al conocimiento geológico del pacífico colombiano", *Prospectiva*, Vol. 21 N° 2 2023

Recibido: 04/01/2023 / Aceptado: 31/05/2023

<http://doi.org/10.15665/rp.v21i2.3156>

RESUMEN

En la costa Pacífica colombiana existe un complejo de islas e islotes con una altura aproximada de 90 a 338 metros sobre el nivel del mar (msnm), declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, forjada por diversos procesos geotectónico entre las placas oceánica del Pacífico (actual Nazca) y Sudamericana; constituida por rocas sedimentaria, volcanosedimentarias e ígnea. Esta investigación tiene como objetivo analizar la petrografía y diagénesis de la secuencia clástica heterolítica asociada al límite cretácico-paleógeno de la Isla Gorgonilla: una contribución al conocimiento geológico del pacífico colombiano. Conllevando a concluir que la petrografía refleja una variación composicional, comportamientos bimodales, alta afinidad con las rocas del basamento de la isla, procesos de cambios en la fuente y retrabajamiento dentro de la cuenca. La facilidad del reconocimiento óptico de los constituyentes que componen estas rocas indica un escaso grado de alteración, ningún tipo de cambios significativos postdeposicionales y procesos diagenéticos tempranos.

Palabras clave: *Diagénesis; Isla Gorgonilla; Pacífico colombiano; Petrografía.*

ABSTRACT

On the Colombian Pacific coast there is a complex of islands and islets with an approximate height of 90 to 338 meters above sea level (masl), declared a World Heritage Site by UNESCO, forged by various geotectonic processes between the Pacific oceanic plates. (current Nazca) and South American; made up of sedimentary, volcanosedimentary and igneous rocks. This research aims to analyze the petrography and diagenesis of the heterolithic clastic sequence associated with the Cretaceous-Paleogene boundary of Gorgonilla Island: a contribution to the geological knowledge of the Colombian Pacific. Leading to the conclusion that the petrography reflects a compositional variation, bimodal behaviors, high affinity with the basement rocks of the island, processes of changes in the source and reworking within the basin. The ease of optical recognition of the constituents that make up these rocks indicate a low degree of alteration, no significant postdepositional changes and early diagenetic processes.

Keywords: *Diagenesis; Gorgonilla Island; Colombian Pacific; Petrography.*

1. INTRODUCCIÓN

Según Serrano [1] las mesetas oceánicas son las provincias ígneas más grandes y voluminosas de la tierra y generalmente se consideran el resultado de períodos breves (pocos Ma) de vulcanismo submarino intenso que marcan la llegada de las plumas del manto a la base de la litosfera [2]. En la costa Pacífica colombiana existe un complejo de islas e islotes con una altura aproximada de 90 a 338 metros sobre el nivel del mar (msnm), declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, forjada por diversos procesos geotectónico entre las placas Sudamericana y Oceánica del Pacífico (actual Nazca); formada en el Mioceno por la fragmentación de la placa Farallones incluyendo diversos elementos como dorsales oceánicas, centros de expansión y montes submarinos, que forman parte de una corteza oceánica previamente acrecionada [3], [4].

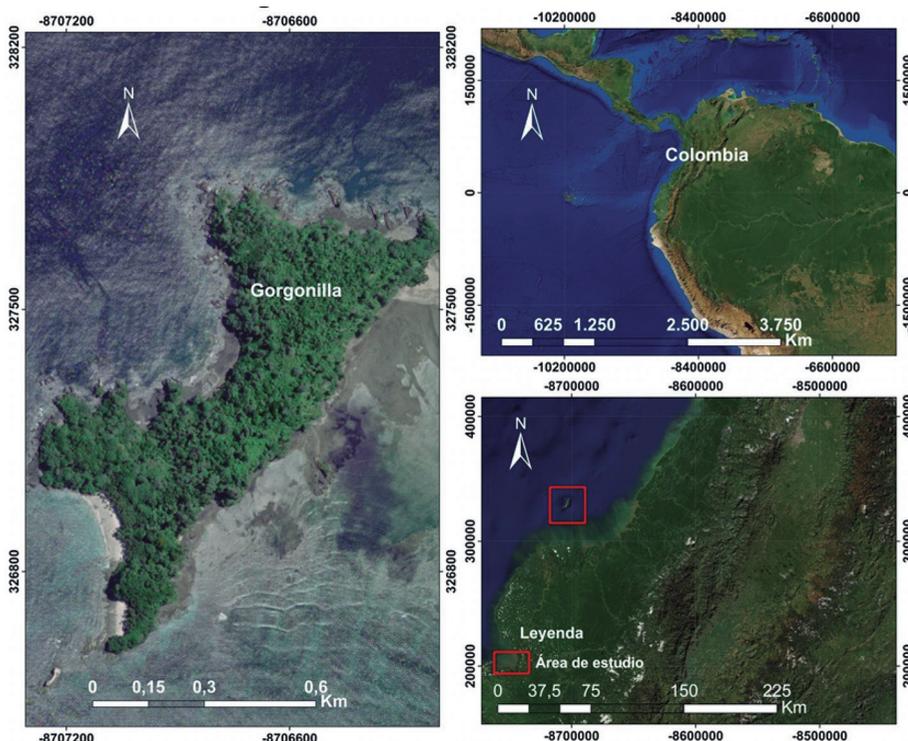
La isla de Gorgona, en la costa oeste de Colombia, es una de las piezas menos deformadas y las últimas acrecentadas de la meseta caribeña [1], constituida por rocas sedimentaria, volcanosedimentarias e ígnea. Actualmente, el pacífico colombiano ha sido poco y limitadamente estudiado debido a su aislamiento, inseguridad, difícil acceso y pobre expresión superficial.

En el año 2014 la empresa Paleoexplorer S.A.S., impulsó una investigación privada en las Islas Gorgona y Gorgonilla, reportando características estratigráficas y bioestratigráficas únicas de las rocas que conforman estas Islas [5]–[9]. Este estudio tiene como objetivo analizar la petrografía y diagénesis de la secuencia clástica heterolítica asociada al límite Cretácico-Paleógeno de la Isla Gorgonilla: una contribución al conocimiento geológico del pacífico colombiano.

2. LOCALIZACIÓN

La Isla Gorgonilla está ubicada al SW de la Isla Gorgona, separadas por el paso del Estrecho de Tasca aproximadamente con 300 metros de ancho y poca profundidad; ambas Islas se encuentran a 35 km al W del litoral Pacífico Colombiano, partiendo del Municipio de Guapi (Cauca). La Isla Gorgonilla tiene un ancho de 700 metros y 1.600 metros de largo con orientación NE-SW y una altura máxima de 90 m.s.n.m. (Figura 1).

Figura 1. Localización del área de investigación.
Figure 1. Location of the research area.



3. METODOLOGÍA

Inicialmente se realizó revisión del estado del arte en bases de datos académicas y científicas. Posteriormente, fases de campo para toma de 9 muestras, identificar variaciones texturales, mineralógicas y composicionales de la sección en general, y levantamientos cartográficos a escala 1:25000 permitiendo conocer e identificar aspectos geológicos, geomorfológicos y características generales. El análisis petrográfico se realizó por medio de microscopio petrográfico binocular Carl Zeiss (AXIO LAB A1. POL). Se realizó un conteo de mínimo 300 puntos por sección (dato estándar para análisis en sección delgada) siguiendo el método de Gazzi-Dickinson [10]. Para la clasificación composicional de las rocas terrígenas y carbonatadas se empleó las propuestas de Folk [11]–[13], las tobas se clasificaron utilizando Schmidt [14] y Le Maitre [15], por último la clasificación de las esferulitas se hizo con base en Smit and Romein [16], Glass and Burns [17] y Glass and Simonson [17].

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 geología regional

La evolución geológica de esta región se encuentra estrechamente relacionada con la historia geológica de la placa oceánica del Pacífico (actual Nazca) y Sudamericana. Esta placa formada en el Oligoceno por la fragmentación de la placa Farallones incluye diversos elementos oceánicos como ridges, centros de expansión, montes marinos, Cordillera de Carnegie y Cordillera de Cocos [3] (Figura 2). La cuenca de Tumaco y Tumaco offshore (Figura 2), que incluyen las Islas Gorgona y Gorgonilla han permanecido en una posición de antearco desde el Oligoceno y su basamento se encuentra relacionado con diferentes fragmentos de afinidad oceánica que fueron acrecionados al continente en el Cretácico tardío y el Paleógeno [18]. Hasta el momento este basamento es definido como un bloque alóctono formado por escamas del plateau oceánico acopladas con fragmentos de un arco de islas del Santoniano-Campaniano, además es correlacionado con los bloques de basamentos de las cuencas de “fore arc” Ecuatorianas [19]–[22].

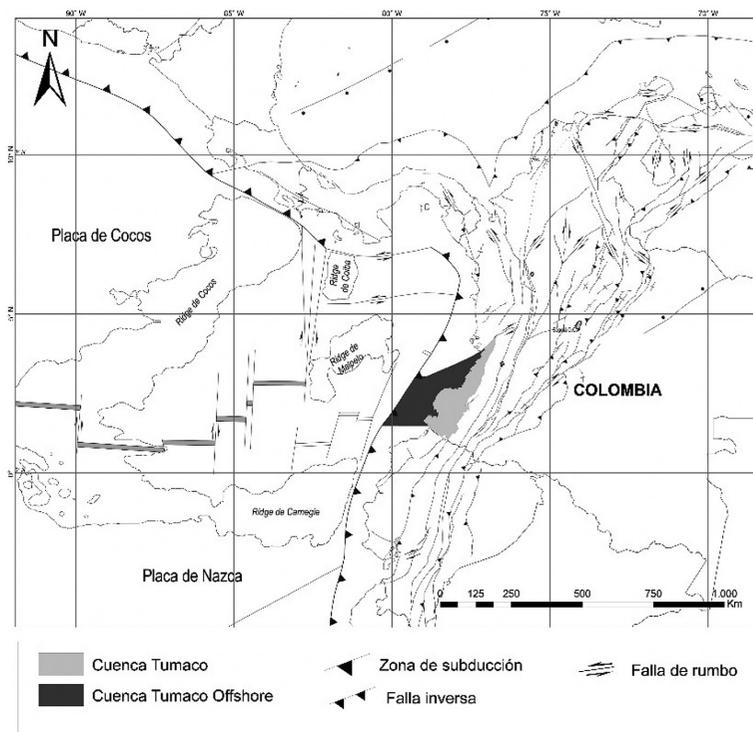
La génesis de la isla Gorgonilla, al igual que Gorgona está asociada a la pluma mantélica de la Isla Galápagos generada aproximadamente hace 90 MA [1], [19], [20], [24]. El basamento de ambas islas corresponde a una suite ígnea heterogénea formada por komatiitas, peridotitas serpentizadas, gabros, basaltos masivos, basaltos pillow y andesitas con edades que varían desde 64.4±5 Ma hasta 98.7±7.7 Ma [1], [24], [25], suprayacidas por sedimentos terrígenos, brechas volcánicas, picritas y tobas cuyos rangos de edades varían desde el Cretácico Superior hasta el Eoceno [5], [26].

4.2 Estratigrafía

La sección analizada corresponde a una sucesión clástica con un espesor de 38,6 m compuesta por una intercalación de arenitas, lodolitas y en menor proporción tobas, basaltos, micritas fosilíferas y una delgada capa de esferulitas de edad Maas-

Figura 2. Elementos tectónicos y configuración actual de las placas Cocos, Nazca y Sur Americana (Tomado y modificado por [23]).

Figure 2. Tectonic elements and current configuration of the Cocos, Nazca and South American plates (Taken and modified by [23]).



trichtiano–Daniano obtenida a partir de análisis bioestratigráficos de foraminíferos planctónicos [9]. Los estratos presentan geometría tabular y lenticular de espesores decimétricos a métricos (Figura 3). Las rocas presentan una coloración verde, gris oscuro y amarillo pálido, los contactos entre los diferentes estratos son netos a irregulares. Dentro de las estructuras sedimentarias se encontró estratificación plana paralela, estratificación plana de bajo ángulo, intraclastos de lodo, lentes de arena y gradación normal. El ambiente de deposición interpretado para esta secuencia corresponde a un ambiente marino profundo batial o pelágico influenciado por cambios energéticos en el medio probablemente asociado a corrientes de turbidez [9].

4.3 Características petrográficas y diagenéticas

Petrográficamente las arenitas fueron clasificadas con base en sus componentes detríticos [13] como arcosas líticas y litoarenitas feldespáticas (Figura 4). Entre las características texturales presentan porosidad baja (1-3%), granos angulares a muy angulares en contactos longitudinales; los granos presentan tamaños que varían entre 0,5 y 2 mm, baja esfericidad, mala selección, matriz es escasa a moderada (menor al 10%), cemento calcáreo de tipo esparítico (3-5%) y patinas de óxidos de hierro (1-2%). La armazón de las litoarenitas feldespáticas está compuesta por líticos volcánicos de composición basáltica y algunos líticos sedimentarios de arenitas y lodolitas en proporciones semejantes, seguido por plagioclasas cálcicas y en menor cantidad por fragmentos de cuarzo, piroxeno y opacos (Figura 5A). Las arcosas líticas están compuestas en su mayoría por fragmentos de cuarzo monocristalino, plagioclasas cálcicas y líticos sedimentarios con pocos o ningunos líticos ígneos. Diagenéticamente las areniscas presentan procesos como precipitación de cemento calcáreo y ferruginoso, desvitrificación del vidrio por clorita en los líticos volcánicos y corrosión de cuarzo por carbonato.

Figura 3. Sección estratigráfica de la secuencia clástica heterolítica aflorante al SW de Gorgonilla. (A y C) Vista del afloramiento y ubicación de algunas de las muestras colectadas. (B) Fotografía de la capa de esferulitas y ubicación de la muestra GOR15-06 (Tomado y modificado de [9]).

Figure 3. Stratigraphic section of the heterolitic clastic sequence outcropping to the SW of Gorgonilla. (A and C) View of the outcrop and location of some of the samples collected. (B) Photograph of the spherulite layer and location of sample GOR15-06 (Taken and modified from [9]).

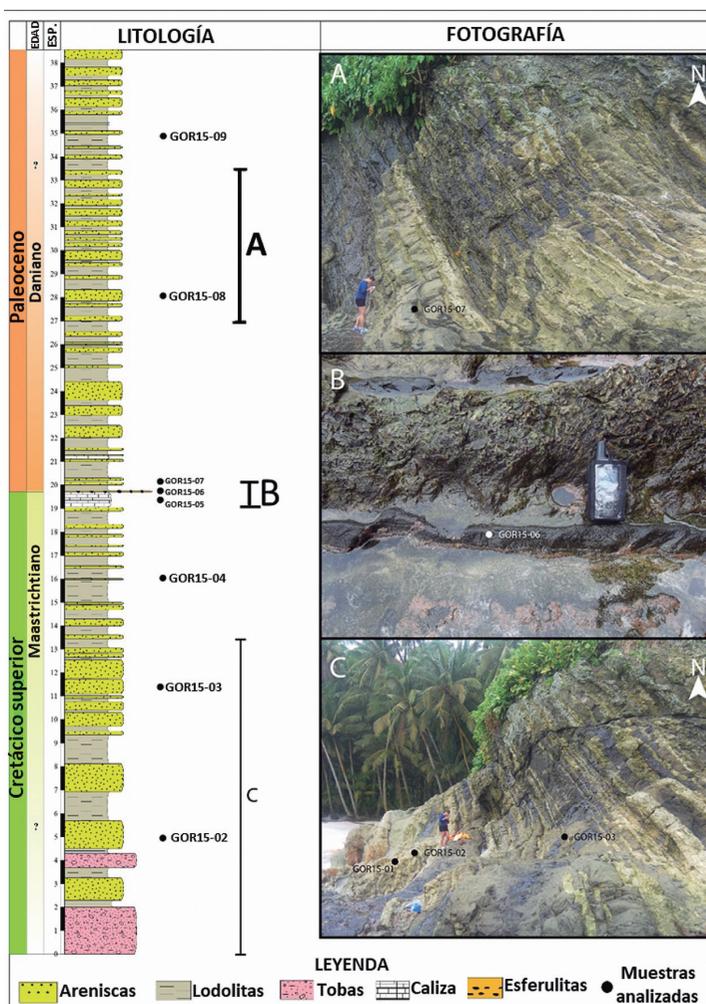


Figura 4. Diagramas ternarios de clasificación modal de las areniscas de la secuencia clástica heterolítica del SW de la Isla Gorgonilla ($Q=Qm+Qp$; $F=Fp+Ff$) de Folk [13] y líticos totales ($L=Li+Lm+Ls$) de Folk (1974); (siendo Q: cuarzo total, Qm: cuarzo monocristalino, Qp: cuarzo policristalino, F: feldespatos totales, Fp: plagioclasas, Ff: feldespato, L: líticos totales, Li: líticos ígneos, Lm: líticos metamórficos, Ls: líticos sedimentarios).

Figure 4. Ternary diagrams of modal classification of the sandstones of the heterolithic clastic sequence of SW Gorgonilla Island ($Q=Qm+Qp$; $F=Fp+Ff$) of Folk (1974) and total lithics ($L=Li+Lm+Ls$) from Folk [13]; (where Q: total quartz, Qm: monocrystalline quartz, Qp: polycrystalline quartz, F: total feldspars, Fp: plagioclase, Ff: feldspar, L: total lithics, Li: igneous lithics, Lm: metamorphic lithics, Ls: sedimentary lithics).

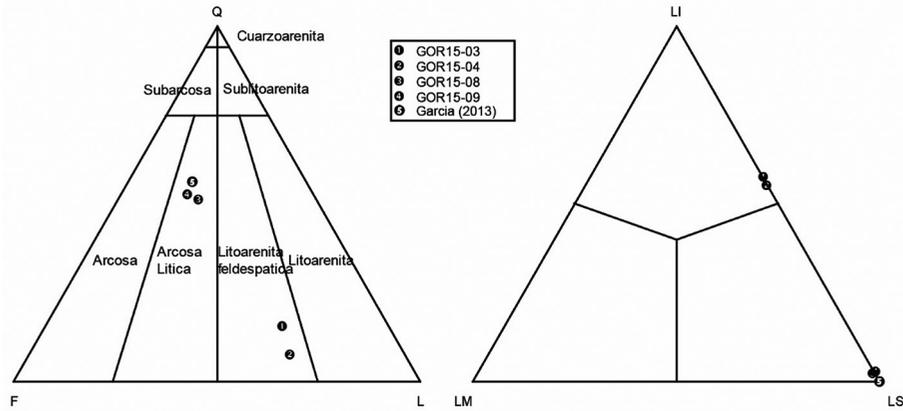
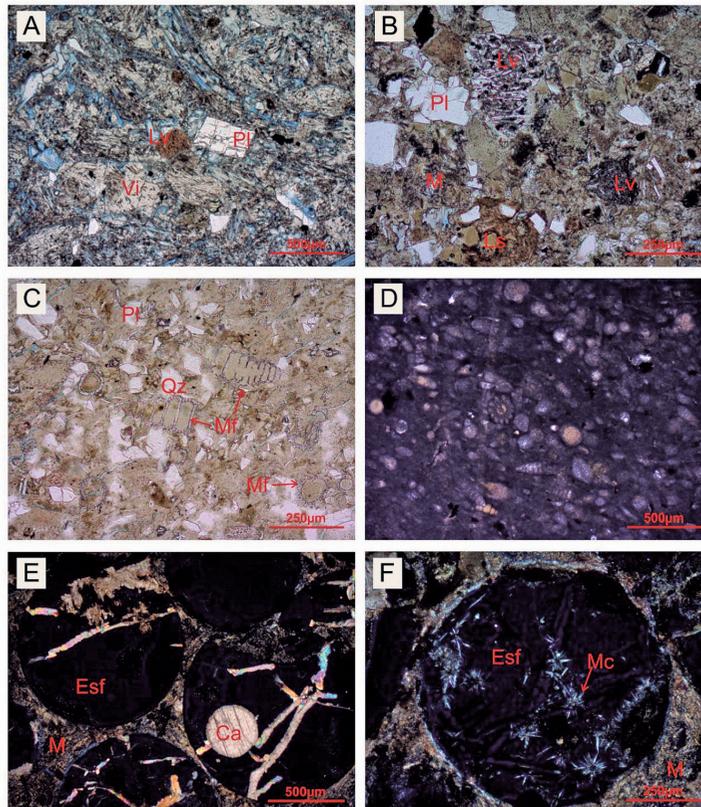


Figura 5. Microfotografías de las rocas de la secuencia clástica heterolítica del SW de Gorgonilla. (A) GOR15-01: Toba vitro-cristalina en N//. (B) GOR15-04: Arcosa litica, nótese los líticos volcánicos en N//. (C) GOR15-0X: Lodolita arenosa, nótese la presencia de microfósiles. (D) Micrita fosilífera, nótese la abundante cantidad de microfósiles en NX. (E y F) GOR15-05: Esferulitas, microtektitas y microkristitas en NX; (siendo NII: nicoles paralelos y NX: nicoles cruzados). LV: lítico volcánico, Vi: vidrio, Pl: plagioclasa, M: matriz, Qz: cuarzo, Mf: microfósil, Esf: esferula, Ca: calcita, Mc: microcristal.

Figure 5. Photomicrographs of the rocks of the SW Gorgonilla heterolithic clastic sequence. (A) GOR15-01: Vitro-crystalline tuff in N//. (B) GOR15-04: Lithic arkose, note the volcanic lithics in N//. (C) GOR15-0X: Sandy mudstone, note the presence of microfossils. (D) Fossiliferous micrite, note the abundant amount of microfossils in NX. (E and F) GOR15-05: Spherulites, microtektites and microkristites in NX; (being NII: parallel nicols and NX: crossed nicols). LV: volcanic lithic, Vi: glass, Pl: plagioclase, M: matrix, Qz: quartz, Mf: microfossil, Esf: spherule, Ca: calcite, Mc: microcrystal.



Los niveles lodosos corresponden a limolitas y limolitas arenosas [11], predominando la fracción de limo y arcilla (75-80%) sobre arena muy fina (20-25%). Se caracterizan por presentar fragmentos angulares de cuarzo y feldespato, tamaños arena muy fina embebidos en una matriz limo-arcillosa, además de esto es posible reconocer abundantes microfósiles de foraminíferos y radiolarios (Figura 5C).

Los niveles de rocas volcanosedimentarias identificados a la base de la secuencia fueron clasificadas de acuerdo a la nomenclatura y clasificación propuesta por Schmidt [27] como tobas vitro-cristalinas de composición basáltica [15]. Las tobas presentan una textura vitroclástica con vesículas y un grado de fragmentación de cristales medio a alto. El vidrio es el mayor constituyente de la roca (90-95%) presentando poca o ninguna alteración a clorita, seguido de cristales rotos de plagioclasas y algunos piroxenos tipo augita (3%) y en menor proporción líticos volcánicos de composición basáltica (<2%) (Figura 4A).

A la altura de 19,5 y 19,85 metros de la sección se identificaron niveles de micritas fosilíferas, que presentan una gran cantidad de componentes aloquímicos de microfósiles de foraminíferos, diatomeas y algunos radiolarios (85-90%). La mayoría de los microfósiles identificados preservan su estructura original como el caso de los foraminíferos (Figura 5D) y no presentan ninguna deformación por compactación. Además, fragmentos terrígenos angulares de cuarzo y plagioclasas (<1%) y materia orgánica puntualizada, envueltos en una matriz micritica (10-15%) con poco cemento tipo esparita (<1%). Predominan entre los granos contactos longitudinales y flotantes. Diagenéticamente las calizas no presentan cambios significativos, dentro de sus rasgos más característicos esta la formación de cemento esparítico, corrosión de cuarzo, feldespatos por carbonato, poca porosidad secundaria de tipo biomóldica y cemento ferruginoso pelicular.

La delgada capa de esferulitas se encuentra a 19,7 metros de la secuencia, con espesores variables entre 2 y 5 cm con gradación normal, tamaños de grano entre 1 mm hasta 0,1 mm. Las esférulas (65-68%) presentan forma de esfera ocasionalmente fracturadas, embebidas en una matriz arcillosa (30-32%) generando contactos de tipo flotantes y puntuales (Figura 5C). Están compuestas predominantemente de vidrio de afinidad básica [9] poco alterado, incoloro visto en NII e isotrópico visto en NX. Además, algunas esférulas presentan desarrollo interno de diminutos cristales (<6µm) de composición máfica (piroxenos), con hábitos acicular radial, que representan microlitos primarios lo que permite clasificar las esferulitas como microtectitas y microkristitas [16], [17], [28] (Figura 4E y 4F). Las características diagenéticas están marcadas por la presencia de cemento carbonatado en block, isópaco hojoso, pigmento ferruginoso y pseudomorfismo de cemento ferruginoso-esférula y corrosión.

5. CONCLUSIONES

La petrografía refleja una variación composicional, comportamientos bimodales, alta afinidad con las rocas del basamento de la isla, procesos de cambios en la fuente y retrabajamiento dentro de la cuenca. La facilidad del reconocimiento óptico de los constituyentes que componen estas rocas indican un escaso grado de alteración, ningún tipo de cambios significativos postdeposicionales y procesos diagenéticos tempranos.

La presencia de esferulitas (microkristitas y microtectitas) sugieren un origen asociado a un impacto meteorítico para esta capa, representando el primer depósito bien preservado y conocido de eyectas, que registran el límite Maastrichtiano-Daniano en el Pacífico Colombiano y Sur América. Además, las micritas y lodolitas con abundantes microfósiles hacen de esta área un blanco potencial para análisis bioestratigráfico que pueden aportar datos valiosos sobre la evolución, ambiente de depositación, ubicación y potencial hidrocarbúfero de la secuencia sedimentaria aflorante en la Isla Gorgonilla.

En este trabajo aportan nuevos datos sobre los aspectos petrográficos y diagenéticos de “la sección del límite K/Pg de la Isla Gorgonilla” o “Unidad Gorgonilla”, permitiendo describir como una secuencia heterolítica compuesta principalmente por una intercalación de arcosas líticas, litoarenitas feldespáticas, lodolitas y lodolitas arenosas con pocos niveles ricos en material volcánico, calcáreo y esferulitas.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Grupo de Investigación Paleoexplorer por apoyar, asesorar y financiar esta investigación. Gracias a Hermann Darío Bermúdez, Liliana Bolívar, Vicente Rodríguez, Luz Stella Bolívar, Victoria Elena Corredor y Alejandro Numpaque por ser nuestro equipo de campo. Agradecemos a Parques Nacionales Naturales de Colombia, en particular a María Ximena Zorrilla y Luis Fernando Payán, por su apoyo durante el trabajo de campo y por permitir el acceso al Parque Nacional Natural Gorgona. Gracias a los geólogos Ana María Osorio y Edward Osorio por sus correcciones y contribución en el estilo del manuscrito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] L. Serrano, L. Ferrari, M. Martínez, C. Petrone, and C. Jaramillo, "An integrative geologic, geochronologic and geochemical study of Gorgona Island, Colombia: Implications for the formation of the Caribbean Large Igneous Province," *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 309, no. 3, pp. 324–336, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2011.07.011>.
- [2] A. C. Kerr and J. J. Mahoney, "Oceanic plateaus: Problematic plumes, potential paradigms," *Chem. Geol.*, vol. 241, no. 3–4, pp. 332–353, 2007, doi: [10.1016/j.chemgeo.2007.01.019](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2007.01.019).
- [3] P. Lonsdale, "Creation of the Cocos and Nazca plates by fission of the Farallon plate," *Tectonophysics*, vol. 404, no. 3, pp. 237–264, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.05.011>.
- [4] M. Moreno-Sanchez and A. Pardo-Trujillo, "Stratigraphical and Sedimentological Constraints on Western Colombia: Implications on the Evolution of the Caribbean Plate," *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation and Plate Tectonics*, vol. 79. American Association of Petroleum Geologists, p. 0, Jan. 01, 2003. doi: [10.1306/M79877C40](https://doi.org/10.1306/M79877C40).
- [5] H. Bermúdez *et al.*, "XV Congreso Colombiano de Geología," in *Nuevos aportes a la estratigrafía de las secuencias sedimentarias aflorantes en las Islas de Gorgona y Gorgonilla*, 2015, pp. 1–6.
- [6] J. García, J. V. Rodríguez, H. . Bermúdez, and W. Stinnesbeck, "Microkristitas de la Isla de Gorgonilla: primer registro de esferulitas asociadas al límite K/Pg en Colombia, Sur América y el Pacífico Oriental," in *Memorias del XV Congreso Colombiano de Geología. "Innovar en Sinergia con el Medio Ambiente,"* Bucaramanga, Colombia, 2015, p. 1165.
- [7] H. . Bermúdez *et al.*, *Nuevos aportes a la estratigrafía de las secuencias sedimentarias aflorantes en las Islas de Gorgona y Gorgonilla*. Bucaramanga, Colombia, 2015.
- [8] G. Pineda-Salgado, H. . Bermúdez, and F. . Vega, "Primer reporte de moluscos Neógenos en la Isla de Gorgona, Pacifico Colombiano," *Memorias del XV Congr. Colomb. Geol. "Innovar en Sinerg. con el Medio Ambient.,* p. 1165, 2015.
- [9] H. D. Bermúdez *et al.*, "The Cretaceous-Palaeogene boundary at Gorgonilla Island, Colombia, South America," *Terra Nov.*, vol. 28, no. 1, pp. 83–90, Dec. 2016, doi: [10.1111/ter.12196](https://doi.org/10.1111/ter.12196).
- [10] R. V Ingersoll, T. F. Bullard, R. L. Ford, J. P. Grimm, J. D. Pickle, and S. W. Sares, "The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method," *J. Sediment. Res.*, vol. 54, no. 1, pp. 103–116, Mar. 1984, doi: [10.1306/212F83B9-2B24-11D7-8648000102C1865D](https://doi.org/10.1306/212F83B9-2B24-11D7-8648000102C1865D).
- [11] R. L. Folk, "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)," 1962.
- [12] R. L. Folk, "Practical petrographic classification of limestones," vol. 43, pp. 1–38, 1959, [Online]. Available: <http://archives.datapages.com/data/bulletns/1957-60/data/pg/0043/0001/0000/0001.htm?doi=10.1306%2F0BDA5C36-16BD-11D7-8645000102C1865D#purchaseoptions>
- [13] R. L. Folk, *Petrologie of sedimentary rocks*. 1974.
- [14] R. Schmid, "Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments," *Geol. Rundschau*, vol. 70, no. 2, pp. 794–799, 1981, doi: [10.1007/BF01822152](https://doi.org/10.1007/BF01822152).
- [15] R. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin, M. Le Bas, B. Bonin, and P. Bateman, *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. doi: DOI: [10.1017/CBO9780511535581](https://doi.org/10.1017/CBO9780511535581).
- [16] J. Smit and A. J. T. Romein, "A sequence of events across the Cretaceous-Tertiary boundary," *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 74, no. 2, pp. 155–170, 1985, doi: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(85\)90019-6](https://doi.org/10.1016/0012-821X(85)90019-6).
- [17] B. P. Glass and C. A. Burns, "Microkrystites-A new term for impact-produced glassy spherules containing primary crystallites," in *Lunar and Planetary Science Conference Proceedings*, 1988, vol. 18, pp. 455–458.
- [18] D. Villagómez, R. Spikings, T. Magna, A. Kammer, W. Winkler, and A. Beltrán, "Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central cordilleras of Colombia," *Lithos*, vol. 125, no. 3, pp. 875–896, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.05.003>.
- [19] F. Cediél, R. Shaw, and C. Cáceres, "Tectonic Assembly of the Northern Andean block, in The Circum-Gulf of Mexico and the Ca-

- ribbean: Hydrocarbon Habitats, Basin Formation and Plate Tectonics,” *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.*, vol. 79, pp. 815–848, 2003.
- [20] A. C. Kerr, “La Isla de Gorgona, Colombia: A petrological enigma?,” *Lithos*, vol. 84, no. 1, pp. 77–101, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2005.02.006>.
- [21] L. D. A. Luzieux, F. Heller, R. Spikings, C. F. Vallejo, and W. Winkler, “Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence,” *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 249, no. 3, pp. 400–414, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.008>.
- [22] C. Vallejo, W. Winkler, R. A. Spikings, L. Luzieux, F. Heller, and F. Bussy, “Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador,” in *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision*, vol. 204, S. M. Kay, V. A. Ramos, and W. R. Dickinson, Eds. Geological Society of America, 2009, p. 0. doi: 10.1130/2009.1204(09).
- [23] J. Gómez, Á. Nivia, N. E. Montes, M. F. Almanza, F. A. Alcárcel, and C. A. Madrid, “Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015,” *Bogotá. Serv. Geológico Colomb. Publicaciones Geológicas Espec.*, vol. 33, 2015.
- [24] L. M. Echeverría, “Tertiary or Mesozoic komatiites from Gorgona Island, Colombia: Field relations and geochemistry,” *Contrib. to Mineral. Petrol.*, vol. 73, no. 3, pp. 253–266, 1980, doi: 10.1007/BF00381444.
- [25] V. J. Dietrich, A. Gansser, J. Sommerauer, and W. E. Cameron, “Palaeogene komatiites from Gorgona Island, East Pacific - A primary magma for ocean floor basalts?,” *Geochem. J.*, vol. 15, no. 3, pp. 141–161, 1981, doi: 10.2343/geochemj.15.141.
- [26] J. García, “Procedencia de los sedimentos Neógenos de Tumaco Onshore y Gorgona: Una contribución a la tectónica de antearco del Pacífico Sur de Colombia,” Universidad de Caldas, 2013.
- [27] R. Schmid, “Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks,” *Geology*, vol. 9, no. 1, pp. 41–43, Jan. 1981, doi: 10.1130/0091-7613(1981)9<41:DNACOP>2.0.CO;2.
- [28] B. P. Glass and B. M. Simonson, “Distal Impact Ejecta Layers: Spherules and More,” *Elements*, vol. 8, no. 1, pp. 43–48, Feb. 2012, doi: 10.2113/gselements.8.1.43.