

Caracterización de las arenas verdes en las playas de Piña como información base para el futuro desarrollo sostenible de las comunidades

Characterization of the green sands on the beaches of Piña as baseline information for the future sustainable development of the communities

Misael Smith¹, Dania Pérez¹, Rony De Gracia¹, Rita D. Rodríguez G.^{*,2}, Krisna Samudio¹, Yinela Y. Solís M², Ernesto Martínez²

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

²Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Grupo de Investigación Propuesta de Geoparque Puente de las Américas, Panamá

Fecha de recepción: 11 de octubre de 2025. Fecha de aceptación: 27 de diciembre de 2025.

*Autor de correspondencia: rita.rodriguez1@utp.ac.pa

Resumen. Las arenas verdes se distribuyen en las playas de Costa Abajo, en Colón, teniendo en el corregimiento de Piña una de sus localidades más representativas. Estudios previos señalan que, dependiendo de la zona, estos depósitos pueden contener minerales como olivino, glauconita, serpentina, clorita, entre otros. Esta investigación tuvo como objetivo caracterizar y georeferenciar las arenas verdes de Piña, a fin de determinar su origen, composición mineralógica y su potencial aprovechamiento para el desarrollo sostenible. Se realizó una revisión sobre las formaciones geológicas con potencial de aportar los minerales presentes en las arenas, así como de las oportunidades de uso sostenible en la comunidad de Piña. Para el análisis espacial se utilizó el software ArcGIS Pro 3.4, mediante el cual se elaboraron mapas de distribución de arenas verdes y se relacionaron con las formaciones geológicas cercanas. Además, se ejecutaron ensayos laboratorio, incluyendo granulometría, observación macroscópica y análisis microscópico de las muestras recolectadas. Los resultados indican que el origen de las arenas está vinculado con procesos de erosión y transporte de afluentes que desembocan en Piña, interactuando con las formaciones geológicas de Chagres, Gatún, Caimito y Playa Venado. El análisis mineralógico reveló la presencia de olivino, piroxeno, glauconita, cuarzo y magnetita. Se concluye que las arenas verdes de Piña poseen un valor geológico y estético con potencial de aprovechamiento sostenible, sin embargo, su uso requiere estudios multidisciplinarios orientados a la sostenibilidad, la educación y la preservación del patrimonio natural de la zona.

Palabras clave. Arenas verdes, geología, minerales, sostenibilidad.

Abstract. Green sands are distributed along the beaches of Costa Abajo, in Colón, with Piña district being one of the most representative localities. Previous studies indicate that, depending on the area, these deposits may contain minerals such as olivine, glauconite, serpentine, and chlorite, among others. The objective of this research was to characterize and georeference the green sands of Piña to determine their origin, mineralogical composition, and potential use for sustainable development. A review was conducted on the geological formations with the potential to contribute the minerals present in the sands, as well as the opportunities for sustainable use in the community of Piña. ArcGIS Pro 3.4 software was used for spatial analysis to create maps of green sands and relate them to nearby geological formations. In addition, laboratory tests were performed, including granulometry, macroscopic observation, and microscopic analysis of the collected samples. The results indicate that the origin of the sands is linked to erosion and transport processes of tributaries that flow into Piña, in interaction with the geological formations of Chagres, Gatún, Caimito, and Playa Venado. Mineralogical analysis revealed the presence of olivine, pyroxene, glauconite, quartz, and magnetite. It is concluded that the green sands of Piña have geological and aesthetic value with potential for sustainable use; however, their use requires multidisciplinary studies focused on sustainability, education, and preservation of the area's natural heritage.

Keywords. Green sand, minerals, geology, sustainability.

1. Introducción

El corregimiento de Piña, ubicado en el distrito de Chagres, provincia de Colón, Panamá, cuenta con una población aproximada de 888 habitantes y es reconocido tanto por su actividad agrícola como por la presencia de playas con arenas de distintos colores: blancas, negras y verdes [1], [2]. Entre estas, las arenas verdes resultan de particular interés geológico, ya que su composición mineralógica puede incluir olivino, glauconita, clorita y serpentina, variando con el contexto geológico [3].

El olivino es un mineral de color verde o verde amarillento (tonalidades verdes a verde-amarillentas) que se cristaliza a altas temperaturas y se encuentra principalmente en rocas ígneas, máficas y ultramáficas [4]. Por su parte, la glauconita es una mineral de la familia de las micas, un filosilicato de color verde, verdeazulado o amarillento, que se forma en ambientes marinos poco profundos, especialmente en las plataformas continentales. La glauconita en los ambientes sedimentarios es utilizada como indicador de eventos marinos transgresivos que están asociados a fósiles [5].

El desarrollo sostenible de las comunidades se orienta al aprovechamiento de los recursos naturales de una forma responsable e inclusiva, garantizando beneficios para sus habitantes. Este enfoque resulta relevante en comunidades que aún no han alcanzado un desarrollo pleno que, según su posición geográfica e intereses locales, pueden encontrar en la conservación de sus recursos una oportunidad para generar ingresos [6], [7], [8].

En Panamá se impulsa el Proyecto Geoparque Puente de Las Américas, un territorio orientado al desarrollo económico, la conservación, la educación y la concientización ambiental, entre otras acciones que promueven el desarrollo sostenible. Este proyecto constituye un cimiento para crear un nuevo segmento en el mercado turístico de las playas e impulsa investigaciones que permitan verificar si sus características geológicas poseen el potencial para fomentar el geoturismo [9].

Dentro de este territorio se encuentran las playas de Piña, incluidas en el Geositio Achioite y Piña, como parte del patrimonio geológico de Panamá con valor internacional por sus yacimientos fósiles, los cuales contribuyen a reconstruir la historia del surgimiento del istmo [10], [11], [12], [13].

1.1 Justificación

El interés investigativo en la comunidad de Piña se centra en sus playas, caracterizadas por arenas de tonalidades verdes y oscuras, consideradas parte del patrimonio natural de la zona. Estos depósitos poseen un potencial para contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades costeras, siempre que se implementen estrategias de gestión adecuadas que minimicen los impactos negativos asociados al turismo. Desde la perspectiva geológica, el estudio de estas arenas constituye

una base fundamental para programas educativos y turísticos. Un conocimiento detallado de su origen y composición mineralógica permite añadir un valor científico y cultural al Geositio, fortaleciendo así su aprovechamiento responsable y su reconocimiento dentro del patrimonio geológico nacional.

1.2 Hipótesis

El color característico de las arenas verdes de Piña está determinado por la presencia de minerales como el olivino, cuyo aporte proviene del intemperismo y fragmentación de rocas máficas y ultramáficas localizadas a lo largo de los afluentes cercanos. Estos procesos generan clastos que, al ser transportados por los ríos, llegan a las playas en forma de granos más finos [14].

Asimismo, se plantea la posible relación entre estas arenas y la formación Playa Venado, ubicada al noreste de la zona de estudio, considerando que investigaciones previas han reportado arenas olivínicas en María Chiquita [15].

1.3 Objetivo

Caracterizar y georreferenciar las arenas verdes de Piña para determinar su composición mineralógica, su posible origen y su potencial de aprovechamiento en el marco del desarrollo sostenible.

2. Materiales y métodos

A continuación, se describen los procedimientos realizados para la obtención, el análisis y descripción de las muestras.

2.1 Revisión literaria

Se realizó una revisión de literatura empleando como base el mapa geológico de la República de Panamá, elaborado por la Dirección General de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias, así como documentos de la biblioteca de esta entidad. Adicionalmente, se consultaron diversas plataformas académicas como Google Scholar, Crossref y Scielo. Esta revisión permitió identificar puntos de interés para las giras de campo, establecer la relación con las formaciones geológicas cercanas a Piña y analizar los posibles orígenes de la presencia del olivino en las arenas verdes.

2.2 Giras de campo

Se efectuaron dos giras de campo orientadas a la toma de datos geológicos y a la recolección de muestras de arena. Para estas actividades se emplearon el martillo de geólogo, brújula, GPS, regla y bolsas de polietileno. Todas las muestras fueron etiquetadas para su posterior análisis en el laboratorio. En la primera gira se obtuvieron muestras en dos puntos en la zona de Piña, provincia de Colón con coordenadas $9^{\circ}16'48.31''$ N $80^{\circ}2'52.21''$ W y $9^{\circ}17'14.9''$ N $80^{\circ}02'34.8''$ W. La segunda gira se realizó en Palmas Bellas y Gobea, provincia de Colón en las

coordenadas 9°13'58" N 80°5'10" W y 9°10'13" N 80°14'45" W respectivamente. Ambas giras se realizaron en el primer semestre del 2025.

2.3 Análisis Geoespacial

Mediante el uso del software ArcGIS Pro 3.4, se analizaron los puntos de muestreo, lo que permitió georreferenciar su ubicación y relacionarlos con las formaciones geológicas cercanas. Adicionalmente, se empleó información disponible en el STRI GIS Portal, a partir de la cual se identificaron los principales afluentes de la zona y su conexión con las playas de Piña. Este análisis facilitó la delimitación de áreas potencialmente asociadas a la procedencia de las arenas verdes, así como la evaluación de la influencia de procesos de erosión y transporte fluvial en su acumulación.

2.3 Ensayos de laboratorio

Para la caracterización de las arenas recolectadas, se llevaron a cabo diferentes pruebas de laboratorio, descritas a continuación:

- **Secado:** las muestras de los puntos 1 y 2 fueron secadas a una temperatura de entre 100°C a 120°C durante 24 horas en el laboratorio de Suelos, Geología y Asfaltos de la Universidad Tecnológica de Panamá, con el fin de eliminar humedad y garantizar la homogeneidad del material.
- **Granulometría:** se ejecutó el ensayo granulométrico siguiendo la norma ASTM C136, con el propósito de comparar el tamaño de los granos presentes en las arenas muestreadas.
- **Revisión en microscopio digital:** una porción de la muestra del punto 1 fue analizada mediante microscopio digital TOMLOV DM9 (1200X, 24 MP), lo que permitió la identificación preliminar de los minerales.
- **Ánálisis en microscopio petrográfico:** se analizaron fracciones de arena del punto 1, retenidos en los tamices #40 y #50, utilizando un microscopio petrográfico de luz polarizada de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá. Las observaciones fueron registradas, con una cámara AmScope Serie MU, lo que facilitó la descripción detallada de los minerales constituyentes.

3. Resultados y discusión

La revisión literaria, permitió identificar los posibles minerales presentes en las arenas verdes de Piña, entre los cuales destaca la glauconita. Este mineral se forma en ambientes sedimentarios, coherentes con la ubicación costera de Piña y las formaciones geológicas que afloran en el área. Estudios previos, mediante análisis de fluorescencia de rayos X, han identificado areniscas con glauconita en la comunidad [16].

En las giras de campo se confirmaron varios puntos con la presencia de arenas verdes, estos se pueden distinguir a lo largo de las costas de Piña como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Presencia de arenas verdes en la bahía de Piña.

Los rasgos distintivos de las arenas verdes se observan en la bahía de Playa Piña, donde se asocian con minerales de tonalidad oscura.

3.1 Análisis geoespacial

El análisis geoespacial permitió identificar los afluentes cercanos a los puntos de muestreo y establecer su relación con las formaciones geológicas de la zona como se muestra en la figura 2. Estos cursos de agua constituyen rutas potenciales de transporte de sedimentos desde las formaciones rocosas hacia las playas de Piña, lo cual respalda la hipótesis de que el aporte mineralógico de las arenas verdes está vinculado con procesos de erosión fluvial y depósito costero.

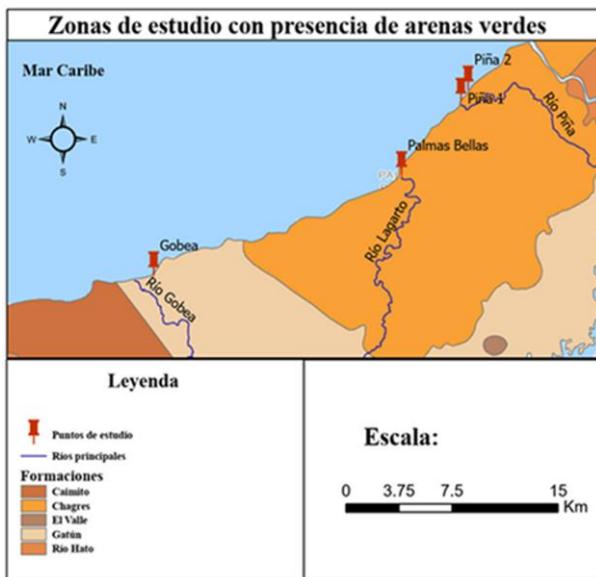


Figura 2. Puntos visitados con arenas verdes y sus afluentes cercanos.

La costa analizada se extiende aproximadamente 26 km, desde el punto 2 de las playas de Piña hasta Gobea, provincia de Colón. En este sector se identificó la presencia de arenas verdes en las playas, acompañadas por depósitos de arenisca.

El río Piña, con una longitud de 16 km, nace en el corregimiento de Cristóbal, cerca del lago Gatún, y desemboca en playa Piña. De acuerdo con el mapa geológico, este río atraviesa la Formación Chagres, caracterizada por areniscas fosilíferas.

El río Lagarto, de 37 km de longitud, nace en el corregimiento de Círcito y desemboca en las playas de Palmas Bellas. Su curso recorre las formaciones Caimito, Gatún y Chagres, que presentan rocas sedimentarias tales como areniscas fosilíferas, lutitas, calizas y areniscas tobáceas [16], [17], [18].

El río Gobea, con 18 km de longitud, nace en el área limítrofe de Gobea, Río Indio y el Guásimo y desemboca en Gobea. Este afluente atraviesa las formaciones de Caimito y Gatún, donde se distinguen lutitas, areniscas fosilíferas y calizas [19].

El análisis geoespacial permitió relacionar los puntos muestreados, con los afluentes cercanos, evidenciando la posibilidad de generación de glauconita en las formaciones sedimentarias recorridas por estos ríos y en las áreas costeras de deposición.

En el caso del olivino, su presencia plantea un escenario distinto: aunque no aflora en el área de estudio, podría asociarse con formaciones más distantes como Playa Venado (30 km al sureste de Piña). En María Chiquita, 37 km al noreste se han reportado arenas olivínicas y las rocas plutónicas de la Formación Mamóní se encuentran a 34 km al noreste [20]. Sin embargo, debido a la alta susceptibilidad del olivino a la

meteorización y a las largas distancias de transporte fluvial, particularmente a través del río Gatún, la probabilidad de preservación del mineral en cantidades significativas es baja. [21], [22].

3.2 Ensayos de laboratorio

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio aplicados a las muestras recolectadas.

3.2.1 Granulometría

El análisis granulométrico permitió comparar la distribución de los tamaños de grano en las muestras recolectadas, con el fin de evaluar las diferencias en su textura sedimentaria.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 1, donde se evidencian variaciones en la proporción de fracciones finas y medianas entre los puntos de muestreo.

Tabla 1. Comparación de las muestras 1 y 2

Comparación mediante granulometría		
Tamiz	Peso retenido, punto 1 (g)	Peso retenido, punto 2 (g)
#30	5	2
#40	90	3
#50	546	1097
#60	170	1
#100	407	134
#200	112	97
Fondo	1	9
Total	1331	1343

El análisis granulométrico mostró diferencias en el comportamiento de las muestras (tabla 1). En el tamiz #50, la muestra del punto 2 retuvo una proporción considerable con respecto a su peso total, mientras que la muestra del punto 1, presentó valores más bajos.

La ubicación de las muestras explica estas diferencias. El punto 1 corresponde a la Bahía Piña, un ambiente de baja energía en el que predominan granos más finos capaces de atravesar el tamiz #50. En contraste, el punto 2 fue recolectado cerca de una pared de arenisca en la costa, un ambiente de mayor energía que favorece la presencia de granos más gruesos incapaces de sobrepasar el tamiz [23], [24].

3.2.2 Revisión en microscopio digital

Tras el secado de las muestras, se observó un cambio en la tonalidad de las arenas hacia un color marrón, acompañado por pequeños cristales verdes. Este cambio cromático se asocia a la propiedad de la glauconita de oxidarse al estar a más de 100 C, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Muestra de arena en vista macroscópica.

En la muestra analizada se identificaron los siguientes minerales: cuarzo, magnetita, hematita, olivino y glauconita.

- Cuarzo: cristales subangulosos a subredondeados, de color translúcido, consistente con su elevada resistencia al transporte y meteorización.
- Magnetita: fragmentos pequeños, subredondeados a subangulosos, de color oscuro. Se reconoció como el mineral de menor tamaño, lo que sugiere una mayor resistencia mecánica durante el transporte.
- Hematita: grano subanguloso a subredondeado con tonalidades rojas a pardas. Su presencia se asocia a procesos de oxidación secundarios, probablemente derivados del intemperismo de minerales ferromagnesianos [4].
- Glauconita: granos subredondeados a redondeados, de colores verde oscuro a pardo. El cambio de tonalidad hacia pardo se relaciona la oxidación del hierro en su estructura, fenómeno que explica el cambio observado en las arenas tras el secado a temperaturas superiores a 100°C [25].
- Olivino: granos subredondeados a subangulosos, de colores verdes translúcidos y tonos amarillos. A diferencia de la glauconita, la tonalidad verde aún se mantiene luego de exponerse al proceso de secado, evidenciando la presencia del mineral.

3.2.3 Análisis en microscopio petrográfico

En el microscopio petrográfico se confirmaron minerales de origen ígneo, principalmente piroxeno y olivino:

- Piroxeno: a nícoles paralelos se observó con hábito granular subangular a subredondeado, de tonalidad opaca. A nícoles cruzados presentó alta birrefringencia, con interferencias en colores rosados, verdes y grisáceos (figura 4).
- Olivino: a nícoles paralelos se distinguió como cristales subredondeados, translúcido, con bordes parcialmente opacos producto del tamaño y alteración. A nícoles

cruzados presentó maclas bien definidas y alta birrefringencia, mostrando colores de interferencia que varían entre azules, morados, verdes y pardos (figura 4).

La presencia de olivino y piroxeno confirma el aporte de minerales provenientes de rocas ígneas básicas y ultrabásicas. No obstante, su proporción es menor en comparación con la magnetita y el cuarzo, lo que refuerza la idea de que las arenas verdes de Piña presentan una composición heterogénea, dependiente tanto de la mezcla mineralógica como de procesos de intemperismo y oxidación.

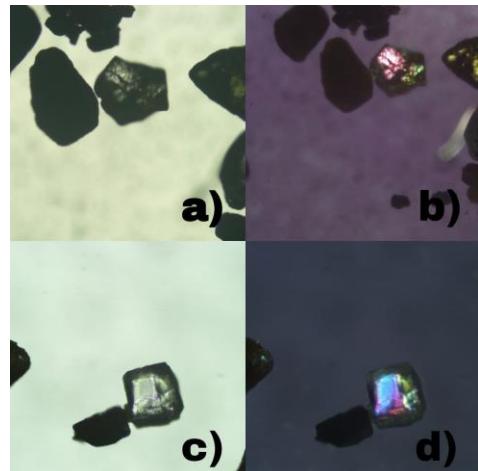


Figura 3. a) Mineral piroxeno en nícoles paralelo con objetivo 4x/0.1, b) mineral de piroxeno vista a nícoles cruzados con objetivo 4x/0.1, c) mineral de olivino vista a nícoles cruzados con objetivo 4x/0.1, d) mineral de olivino vista a nícoles cruzados con objetivo 4x/0.1.

3.2.4 Arenas verdes y su relación con el desarrollo sostenible de las comunidades y el ODS 11

Las arenas verdes poseen un valor geológico y estético, que puede convertirse atractivo para el turismo responsable. La información generada en esta investigación puede emplearse para enriquecer los programas de educación ambiental y geoturismo, fortaleciendo la oferta de los guías locales mediante la explicación del origen y los procesos de formación de estos minerales.

La implementación de giras académicas, talleres educativos y actividades de divulgación en la comunidad permitiría integrar el conocimiento científico con la educación y el turismo [10]. Asimismo, la preservación de las arenas verdes contribuiría a la gestión del patrimonio natural de Piña, potenciando un turismo especializado y sostenible [26].

En la práctica, este aprovechamiento podría generar empleos directos (guías turísticos, personal de centros de interpretación, talleres educativos) e indirectos (fotografía, servicios comunitarios), diversificando la economía del corregimiento, que actualmente se centra en la agricultura, la ganadería y la pesca [2], [27], [28].

4. Conclusiones

El origen de las arenas verdes de playa Piña responde a diversos factores vinculados con la erosión, el transporte y la deposición de los sedimentos. Se identificaron como principales afluentes responsables del aporte de material: el río Piña, río Gobea, río Lagarto y río Gatún, los cuales atraviesan formaciones geológicas portadoras de minerales como olivino, cuarzo, glauconita y magnetita.

El ambiente sedimentario de las formaciones adyacentes a Piña son evidencia clara de la formación de glauconita. En el caso del olivino y piroxeno es necesario considerar formaciones geológicas más distantes, como Playa Venado y Mamoní, que contienen rocas ígneas básicas y ultrabásicas. La lejanía de estas formaciones respecto a las costas de Piña explica la bajo proporción de estos minerales en las muestras analizadas.

Se identificó el comportamiento de las muestras al exponerse a altas temperaturas, cambiando de color verde a marrón debido a la oxidación del hierro que contiene la glauconita. El reconocimiento del tamaño de las partículas en relación con la baja o alta energía que se presenta en algunos depósitos como en lugares cercanos a las costas y directamente en las bahías.

El interés geológico de las playas de Piña no solo radica en su mineralogía, sino también reposa en su valor paleontológico, lo que refuerza la importancia del Geositio dentro del patrimonio geológico de Panamá. Esta investigación contribuye a destacar el valor mineralógico y a promover su reconocimiento como recurso natural y educativo.

El desarrollo de la investigación presentó limitaciones relacionadas con las condiciones climáticas de la región, restricciones presupuestarias para las giras de campo y la escasez de estudios científicos previos en el área. Por lo tanto, se recomienda continuar con investigaciones futuras que integren enfoques multidisciplinarios orientados al aprovechamiento sostenible de los patrimonios naturales presentes en las zonas.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá por el uso del laboratorio de Suelos, Geología y Asfalto y los equipos para las giras de campo. A la Profesora Eufemia Lam por las enseñanzas en la materia de Geología de Campo y el constante acompañamiento.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censo, “Superficie, población y densidad de población en la república, según provincia, comarca indígena, distrito y corregimiento: Censos de 2000, 2010 y 2023,” 2023. Accessed: Sep. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.inec.gob.pa/archivos/P0705547520231109105354 CUADRO%2010.pdf>
- [2] E. Valdez and C. Estrada, “Corregimiento de Piña celebra su centenario | Panamá América,” <https://www.panamaamerica.com.pa/provincias/corregimiento-de-pina-celebra-su-centenario-200764>, Panamá, May 09, 2005. Accessed: Sep. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.panamaamerica.com.pa/provincias/corregimiento-de-pina-celebra-su-centenario-200764>
- [3] S. Boggs, “Petrology of Sedimentary Rocks,” *Petrology of Sedimentary Rocks, Second Edition*, vol. 9780521897167, pp. 1–600, Jan. 2009, doi: 10.1017/CBO9780511626487.
- [4] W. A. Deer, R. A. Howie, and J. Zussman, “An Introduction to the Rock-Forming Minerals,” *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, 2013, doi: 10.1180/DHZ.
- [5] S. Fernández-Landero and J. C. Fernández-Caliani, “Mineralogical and Crystal-Chemical Constraints on the Glauconite-Forming Process in Neogene Sediments of the Lower Guadalquivir Basin (SW Spain),” *Minerals* 2021, Vol. 11, Page 578, vol. 11, no. 6, p. 578, May 2021, doi: 10.3390/MIN11060578.
- [6] Naciones Unidas, “Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023,” New York, 2023. Accessed: Sep. 22, 2025. [Online]. Available: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023_Spanish.pdf
- [7] M. A. L. do Nascimento, C. S. C. D. Gomes, and A. dos S. S. de Brito, “Geoparque como forma de gestão territorial interdisciplinar apoiada no geoturismo: o caso do Projeto Geoparque Seridó,” *Revista Brasileira de Ecoturismo (RBECOTUR)*, vol. 8, no. 2, May 2015, doi: 10.34024/RBECOTUR.2015.V8.6451.
- [8] M. Á. Tavera-Escobar and D. Álvarez-Ramírez, “Geoparques en Colombia: una estrategia para la aplicación de los objetivos de desarrollo sostenible - caso: Magdalena Medio antioqueño,” *Boletín de Geología*, vol. 41, no. 2, pp. 103–121, Jun. 2019, doi: 10.18273/revbol.v41n2-2019006.
- [9] E. Martínez, Y. Y. Solís M., R. D. Rodríguez G., H. Sandoval, E. Lam, and A. G. Sánchez G., “Potencial de las arenas negras de la Riviera Pacífica de Panamá para el desarrollo del geoturismo,” *Prisma Tecnológico*, vol. 16, no. 1, pp. 31–39, Feb. 2025, doi: 10.33412/PRI.V16.1.3870.
- [10] T. De Destro, R. Rodríguez, E. Martínez, H. Sandoval, and J. Sánchez, “Importancia de la implementación de geoparques en Panamá: Proyecto Geoparque Puente de Las Américas,” *Prisma Tecnológico*, vol. 13, no. 1, pp. 17–26, Feb. 2022, doi: 10.33412/PRI.V13.1.2993.

- [11] E. Stiles, C. Montes, C. Jaramillo, and M. K. Gingras, “A shallow-water depositional interpretation for the upper Miocene Chagres Formation (Caribbean coast of Panama),” *GSA Bulletin*, vol. 134, no. 11–12, pp. 2971–2985, Nov. 2022, doi: 10.1130/B36291.1.
- [12] D. I. Vigil and C. A. Laurito, “Nuevos restos de un odontocetí fósil (mammalia: Cetacea, physeteroidea) para el mioceno tardío de Panamá, América Central,” *Revista Geológica de América Central*, vol. 50, no. 50, pp. 213–217, 2014, Accessed: Jan. 26, 2026. [Online]. Available: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0256-70242014000100010&lng=en&nrm=iso&tlang=es
- [13] D. I. Vigil Pimentel, “Curación y comparación de un fósil de mamífero acuático (Odontoceti; iniidae) extraído de la formación Chagres, piña, Costa Abajo de Colón, Panamá,” Unversidad de Panamá, 2021. Accessed: Jan. 26, 2026. [Online]. Available: <https://up-rid.up.ac.pa/6387/>
- [14] S. Boggs Jr., *Principios de sedimentología y estratigrafía*, 4th ed. Scientific Research Publishing, 2006. Accessed: Sep. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.kufunda.net/publicdocs/principles-of-sedimentology-and-stratigraphy-by-sam-jr-boggs.pdf>
- [15] Swedish Geological International, “Geología y Ocurrencias de Minerales en Tres Sectores de Panamá,” Panamá, 1990.
- [16] A. Zamora and D. Hernández, “Descripción petrográfica y elemental de los espejos de mosaicos de teselas de El Caño (750-1100 E.C.), y análisis de trazas de manufacturas y su relación con los tipos de roca ,” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PANAMÁ, Panamá, 2024.
- [17] A. O’Dea, E. G. Leigh Jr, and G. J. Vermeij, “Historia natural de los mares panameños,” *HISTORIA NATURAL*, p. 29, 2015.
- [18] A. O’Dea, F. Rodríguez-Mejía, C. De Gracia, and A. Coates, “La Paleontología Marina en el Istmo de Panamá,” *Canto Rodado*, vol. 2, pp. 149–179, Jan. 2007.
- [19] A. J. W. Hendy, “Spatial and stratigraphic variation of marine paleoenvironments in the middle-upper miocene Gatun Formation, isthmus of Panamá,” *Palaios*, vol. 28, no. 4, pp. 210–227, Apr. 2013, doi: 10.2110/PALO.2012.P12-024R.
- [20] F. Barat, B. Mercier de Lépinay, M. Sosson, C. Müller, P. O. Baumgartner, and C. Baumgartner-Mora, “Transition from the Farallon Plate subduction to the collision between South and Central America: Geological evolution of the Panama Isthmus,” *Tectonophysics*, vol. 622, pp. 145–167, May 2014, doi: 10.1016/J.TECTO.2014.03.008.
- [21] D. M. Buchs *et al.*, “Volcanic contribution to emergence of Central Panama in the Early Miocenes,” *Sci. Rep.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–16, Dec. 2019, doi: 10.1038/S41598-018-37790-2;SUBJMETA.
- [22] O. José González Clemente *et al.*, “Caracterización de las arenas y arcillas minerales de depósitos de canal y planicie de inundación del río Portuguesa, Venezuela,” *Investigaciones Geográficas*, vol. 85, no. 85, pp. 18–32, 2014, doi: 10.14350/RIG.35291.
- [23] R. K. Schwartz and W. A. Birkemeier, “Sedimentology and morphodynamics of a barrier island shoreface related to engineering concerns, Outer Banks, NC, USA,” *Mar. Geol.*, vol. 211, no. 3–4, pp. 215–255, Oct. 2004, doi: 10.1016/J.MARGEOL.2004.05.020.
- [24] H. E. Clifton, R. E. Hunter, and R. L. Phillips, “Depositional structures and processes in the non-barred high-energy nearshore,” *Journal of Sedimentary Research*, vol. 41, no. 3, pp. 651–670, Sep. 1971, doi: 10.1306/74D7231A-2B21-11D7-8648000102C1865D.
- [25] Q. Zhang, A. N. Awolayo, M. J. Nightingale, and B. M. Tutolo, “Kinetics of glauconite dissolution in anoxic conditions as a function of pH and temperature,” *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 336, pp. 78–91, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.GCA.2022.09.004.
- [26] J. Brilha, “Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review,” *Geoheritage*, vol. 8, no. 2, pp. 119–134, Jun. 2016, doi: 10.1007/S12371-014-0139-3/METRICS.
- [27] D. Newsome, R. Dowling, and Y. F. Leung, “The nature and management of geotourism: A case study of two established iconic geotourism destinations,” *Tour. Manag. Perspect.*, vol. 2–3, pp. 19–27, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.TMP.2011.12.009.
- [28] A. M. Ramírez Medina, V. R. Oliva Aguilar, J. R. Sáenz Pardo, and E. Castro Solís, “Geoturismo como alternativa de desarrollo para las comunidades del municipio de Zapotitlán,” *Tendencias en la Investigación Universitaria, Una Visión desde Latinoamérica*, vol. 22, 2023, doi: 10.47212/tendencias2023vol.xxii.2.