

Geological itinerary of the coastal strip between the Simon Bolivar International Airport and the Taganga Bay, Santa Marta Geotectonic Province

Julie Andrea Säenz-Reyes ^a, Carlos Alberto Ríos-Reyes ^a & Oscar Mauricio Castellanos-Alarcón ^b

^a Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia, jsaenz@gmail.com, carios@uis.edu.co

^b Programa de Geología, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia, oscarerca@yahoo.es

Received: August 13th, 2014. Received in revised form: December 12th 2015 Accepted: May 08th, 2017

Abstract

The Geological Itinerary of the coastal strip between the “Simón Bolívar” International Airport and the Taganga Bay, Santa Marta Geotectonic Province, represents a natural geological laboratory of great importance for the understanding of the geological evolution of the northwestern margin of South America. This work is the result of research conducted by the authors for several years and contains an updated and extensively illustrated the state of knowledge of the geological attractions of this region, with a significant contribution to the literature of regional geological. For the first time a job of this nature to the scope of the Massif Sierra Nevada de Santa Marta is presented, highlighting geological evidence of phenomena that have affected our planet. The large variety of outcrops (of stratigraphic, geomorphological, mineralogical, petrological, tectonic, etc. interest), together with the quality of exposure, makes them a great scientific and educational potential. The geological attractions included in this work in addition to their scientific and educational value, have added value thanks to its scenic appeal. Its uniqueness and beauty makes some of these places are utilized as geotourism resource.

Keywords: geological itinerary; Santa Marta; sites of geological interest; scientific; educational; landscape.

Itinerario geológico de la franja costera entre el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar y la Bahía de Taganga, Provincia Geotectónica de Santa Marta

Resumen

El Itinerario Geológico de la franja costera comprendida entre el aeropuerto Internacional “Simón Bolívar” y la Bahía de Taganga, Provincia Geotectónica de Santa Marta, representa un laboratorio geológico natural de gran importancia para el entendimiento de la evolución geológica del margen noroccidental de Sur América. Este trabajo surge como resultado de las investigaciones realizadas por los autores durante varios años y contiene una síntesis actualizada y ampliamente ilustrada del estado de conocimiento de los lugares de interés geológico de esta región, siendo una contribución significativa para la literatura de la geología regional. Por primera vez se presenta un trabajo de tal naturaleza para el ámbito del Macizo Sierra Nevada de Santa Marta, en el que se destacan evidencias geológicas de fenómenos que han afectado nuestro planeta. La gran variedad temática de sus afloramientos (de interés estratigráfico, geomorfológico, mineralógico, petrológico, tectónico, etc.), junto a la calidad de exposición, hace que tengan un gran potencial científico y didáctico. Los lugares de interés geológico incluidos en el presente trabajo tienen, además de su valor científico y didáctico, un valor añadido gracias a su atractivo paisajístico. Su singularidad y belleza hace que algunos de estos lugares sean aprovechados como recurso geoturístico.

Palabras clave: itinerario geológico; Santa Marta; lugares de interés geológico; científico; didáctico; paisajístico.

1. Introducción

Actualmente, los términos geodiversidad, patrimonio geológico, georecurso o geoconservación, están restringidos

a un escaso grupo de geocientíficos que periódicamente alertan sobre la poca importancia que se brinda al patrimonio geológico en las políticas de conservación [1]. A nivel mundial, se pone de manifiesto que el escaso patrimonio

How to cite: Säenz-Reyes, J.A., Ríos-Reyes, C.A. and Castellanos-Alarcón, O.M., Itinerario geológico de la franja costera entre el Aeropuerto Internacional Simón Bolívar y la Bahía de Taganga, Provincia Geotectónica de Santa Marta. Boletín de Ciencias de la Tierra, 42, pp. 5-24, Julio, 2017.

geológico legalmente protegido, lo ha sido de manera casual o indirecta entre los valores "biológicos, paisajísticos, estéticos o culturales" de un determinado espacio natural, declarado protegido en razón de su valor biológico, ecológico o cultural [1]. La definición de "patrimonio geológico" es quizás la más precisa y aceptada: conjunto de elementos geológicos, cuyo valor geológico les hace destacar del entorno circundante por su interés científico, cultural y/o educativo, tales como formaciones y estructuras geológicas, paisajes geomorfológicos, yacimientos paleontológicos y mineralógicos, suelos, y otras manifestaciones geológicas de significativo valor para reconocer, estudiar e interpretar el origen y evolución de la Tierra, los procesos que la han modelado, los climas y paisajes del pasado y presente, y el origen y evolución de la vida [2]. Como se deduce de esta definición, el estudio de este patrimonio es complejo porque en él se conjugan aspectos científicos, técnicos, culturales, económicos, estratégicos, recreativos y sociales, pero siempre en relación con procesos y elementos naturales de origen geológico. El término "geodiversidad" es un concepto joven y mal definido todavía, pero de amplia utilización y difusión, existiendo una marcada tendencia a considerarla como sinónimo de "diversidad geológica", acepción que hoy se muestra muy restrictiva [3-4]. Estos autores presentan una síntesis de la evolución del término geodiversidad en sus vertientes teórica y aplicada, concluyendo con una nueva definición de carácter integrador. A pesar de la amplia utilización y aplicaciones del término geodiversidad, son todavía muy escasos los esfuerzos realizados en el desarrollo de metodologías para su evaluación y valoración, y las existentes hasta el momento presentan carácter cualitativo. Por lo tanto, la geodiversidad es un concepto útil para la gestión y conservación del patrimonio abiótico, cuya incorporación es necesaria en políticas locales de desarrollo sostenible y de valoración de recursos naturales. Este concepto se ha considerado como idóneo para la gestión y aproximación geocológica de espacios naturales [5]. Por otra parte, la geodiversidad es una idea vital para la gestión eficaz del patrimonio geológico [6], y por lo tanto requiere una definición muy adecuada. Muchos puntos de vista pueden ser considerados en el estudio de la geodiversidad y su comprensión debe ser diversa en sí misma [7]. Según este autor, aunque la evaluación de cada patrimonio geológico regional puede involucrar aspectos de paisaje, culturales, históricos y otros, así como la percepción humana de los objetos naturales, una evaluación del número de tipos de lugares de interés geológico (LIGs) es esencial, ya que mide el número de fenómenos geológicos representados a escala regional. La geodiversidad y el patrimonio geológico se consideran conceptos paralelos a los de biodiversidad y patrimonio biológico e íntimamente relacionados. La geodiversidad de un territorio concreto es uno de los factores esenciales que favorece su biodiversidad [8]. El patrimonio geológico es un recurso natural no renovable que constituye un bien común y forma parte inseparable del patrimonio natural y cultural de la humanidad [9]. El patrimonio geológico ya se convirtió en algo más que un recurso científico y educativo: se estima también como un recurso

económico (georecurso) de creciente interés en las estrategias de desarrollo sostenible (geoturismo), especialmente en los espacios naturales protegidos [1]. Por lo tanto, el término "georecurso" amplía el horizonte de definición respecto al de patrimonio geológico y se relaciona íntimamente con el de geodiversidad: una mayor geodiversidad en un territorio va a proporcionar, sin duda, un mayor elenco de georecursos potencialmente aprovechables en el mismo [10]. Un georecurso podría definirse como el elemento (de carácter extraíble o no), conjunto de elementos, lugares o espacios de alto valor geológico con un elevado interés científico y/o didáctico, susceptible de uso y gestión, y capaz de incrementar la capacidad de atracción del territorio en el que se ubica [11]. Existen diferentes iniciativas nacionales e internacionales de identificar y catalogar LIGs, entre las cuales destaca el proyecto "Geosites" [12] iniciado por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS). Otras iniciativas se orientan más en objetivos de valorización económica que en la conservación. La "geoconservación" define a una corriente de pensamiento que aboga por la necesidad de poner en práctica políticas activas de conservación de la geodiversidad y del patrimonio geológico, del mismo modo y con la misma intensidad que las ya avanzadas en materia de conservación del patrimonio biológico y de la biodiversidad, y, preferentemente, de manera no disociada de éstas [10]. La geoconservación es esencial para el mantenimiento del patrimonio geológico. Un "itinerario geológico" se define como la dirección y descripción de un recorrido a través del cual se divulga el conocimiento sobre algunos de los elementos básicos del patrimonio geológico de una región. A nivel mundial son numerosos los itinerarios geológicos elaborados, dentro de los que se destacan, entre otros, aquellos con fines didácticos y geoturísticos [13-29]. En nuestro país, Castellanos y Ríos [30], realizan un primer esfuerzo por desarrollar itinerarios geológicos. La Provincia Geotectónica de Santa Marta (PGSM) representa un laboratorio geológico natural de gran importancia para el entendimiento de la evolución geológica del margen noroccidental de Sur América. La gran variedad temática de sus afloramientos (de interés estratigráfico, geomorfológico, mineralógico, petrológico, tectónico, etc.), junto a la calidad de exposición, hace que tengan un gran potencial científico y didáctico. Los LIGs incluidos en el presente trabajo tienen, además de su valor científico y didáctico, un valor añadido gracias a su atractivo paisajístico. Su singularidad y belleza hace que algunos de estos lugares sean aprovechados como recurso geoturístico. El Itinerario Geológico a lo largo de la franja costera comprendida entre el Aeropuerto Internacional "Simón Bolívar" (AISB) y la Bahía de Taganga (BT) es el resultado de las investigaciones realizadas por los autores durante varios años. En este trabajo se presenta una síntesis actualizada y ampliamente ilustrada del estado de conocimiento geológico de esta región, siendo una contribución significativa para la literatura de la geología regional. El conocimiento de la geología del macizo Sierra Nevada de Santa Marta (SNSM) es fundamental para entender la compleja evolución de la esquina noroccidental de Sur América. Los autores presentamos este trabajo, el cual

representa una herramienta de divulgación científica de la geología de esta franja costera del Caribe Colombiano. Los resultados del presente trabajo son de importancia para especialistas en el tema, profesores y estudiantes de Geología que participen en el itinerario geológico con el fin de compartir las experiencias que científicos de las Geociencias ofrecen a los participantes. Este trabajo igualmente es el resultado de un inventario del patrimonio geológico de esta región, para lo cual fue necesario un riguroso proceso de investigación, evaluación y selección de los LIGs. Este trabajo está dividido en dos secciones. En la primera parte, se realiza una síntesis del panorama geológico actual de la SNSM, particularmente de la PGSM, contexto dentro del cual se enmarca el área de estudio, la cual constituye un laboratorio natural espectacular para el aprendizaje y entendimiento de procesos geológicos que han afectado nuestro planeta. La base fundamental de este trabajo y que justifica su publicación, son los LIGs, ilustrados a través de fotografías y esquemas de una forma didáctica y explicativa, revelando los rasgos geológicos de mayor importancia registrados a lo largo del recorrido, haciendo énfasis en los diferentes tipos de rocas que afloran en el sector de interés y la influencia que estas han tenido en combinación con los agentes geológicos que han actuado en el modelaje del paisaje actual. En la segunda parte, se presenta el itinerario geológico con la descripción de cada una de las paradas a realizar, las cuales incluyen fotografías de afloramientos y panorámicas, destacando su contexto geológico, y atendiendo especialmente a sus rasgos litoestratigráficos, mineralógicos, petrológicos, estructurales y geomorfológicos. A lo largo del recorrido visitaremos los LIGs, observaremos las rocas del basamento cristalino, las cuales preservan importantes evidencias acerca de la evolución geológica de la SNSM, y tendremos la posibilidad de admirar la fascinante geomorfología costera. Trataremos de hacer de este trabajo una guía autosuficiente para la geología de la región objeto del presente estudio, brindando información precisa sobre los LIGs a visitar, lo cual es importante para descifrar su valor científico, didáctico y cultural. Algunas de las paradas incluirán caminatas cortas. A través de ejemplos se darán explicaciones a problemas relacionados con tópicos como la evolución temprana de la corteza terrestre, los procesos magmáticos, tectónicos y fuerzas superficiales que contribuyen a dicha evolución cortical, la relación entre metamorfismo, magmatismo y deformación, así como la historia tectonotermal que ha ocurrido en este cinturón orogénico, la fusión parcial en el desarrollo tectónico de cinturones orogénicos, incluyendo arcos magmáticos, los procesos de exhumación y denudación tectónica que han favorecido el extenso metamorfismo retrógrado que ha afectado a las rocas metamórficas en su historia más reciente, la historia hidrotermal de los paleofluidos que han circulado a través de la corteza terrestre, las manifestaciones minerales asociadas a procesos ígneos y metamórficos, la historia de la dinámica fluvial relativamente reciente que ha contribuido en gran medida al modelado del paisaje costero. Los autores nos sentimos orgullosos de este trabajo fruto no solo de nuestra experiencia investigativa sino

también del esfuerzo de cada uno de quienes tomaron parte de las jornadas de campo, y confiamos en que su lectura puede satisfacer las expectativas de todos y contribuya a difundir los valores geopatrimoniales de las costas del Caribe Colombiano, con la esperanza de que en el lector se despierte la curiosidad y el interés en ir a visitar y conocer los LIGs que debemos respetar y conservar para nuestro beneficio y el de futuras generaciones.

2. Geología regional

La SNSM está integrada por las provincias geotectónicas de Sierra Nevada, Sevilla y Santa Marta con basamento cristalino característico y diferentes edades (Fig. 1). La Provincia Geotectónica de Sierra Nevada (PGSN) está limitada por el Lineamiento de Cesar al Este y por el Lineamiento de Sevilla al Oeste; presenta un basamento conformado por rocas metamórficas de edad Grenvilliana, las cuales han sido intruidas por rocas magmáticas de edad Jurásica [31]. La mayor parte de esta provincia geotectónica está igualmente cubierta de rocas volcánicas de la misma edad [32-36]. La Provincia Geotectónica de Sevilla (PGS) está limitada por el Lineamiento de Sevilla al Este y por la Falla de Guachaca al Oeste; presenta un basamento compuesto de granitoides miloníticos y esquistos anfíbólicos y micáceos de edad Paleozoica [32-33,37]. La PGSM está limitada por la Falla de Guachaca al Este y por la línea costera del Caribe al Noroeste y se encuentra en la confluencia de las fallas de Bucaramanga – Santa Marta y Oca; está conformada por dos cinturones metamórficos [32-33], separados por un extenso cinturón de granitoides de edad Paleógena [32]. El cinturón interior está constituido por anfibolitas, esquistos bimicáceos y ortoneises (Esquistos de Gaira, EGA; Esquistos de San Lorenzo, ESA; Esquistos sin diferenciar, ESD). El cinturón exterior está constituido por anfibolitas, esquistos verdes y filitas (Esquistos de Santa Marta, ESM), que han sido considerados como posibles fragmentos alóctonos probablemente acrecionados durante el Meso-Cenozoico [32-33,37-38]. Este último fue subdividido en cuatro unidades principales con connotación estratigráfica, denominadas formaciones Concha (FCO), Punta Betín (FPB), Cinto (FCI) y Rodadero (FRO) [38], la cual es seguida en el presente trabajo.

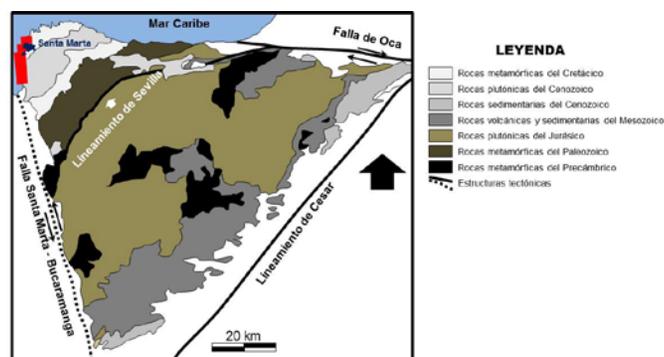


Figura 1. Mapa geológico generalizado de la SNSM (adaptado y modificado de Tschanz *et al.* [33] y Bustamante *et al.* [31]). El área en color rojo representa la franja costera objeto del presente estudio.

Fuente: Los autores.

3. Geología del itinerario geológico

Desde el punto de vista geológico regional, la franja costera comprendida entre el AISB y la BT forma parte de la PGSM, hacia el extremo Noroeste de la SNSM. A continuación, se describen los principales rasgos estratigráficos, tectónicos y geomorfológicos de este relieve costero, el cual presenta evidencias muy importantes para deducir no sólo la evolución geológica de esta importante provincia geotectónica sino también la dinámica de su evolución costera. En esta franja costera afloran rocas metamórficas de los ESA, rocas ígneas pertenecientes al Batolito de Santa Marta (BS) de edad eocena y depósitos recientes. Las rocas metamórficas pertenecientes a los ESA fueron mapeadas por Doolan [38] divididas en formaciones Concha, Punta Betín, Cinto y Rodadero en función de sus características litoestratigráficas y grado de metamorfismo. Las características geoquímicas e isotópicas de las rocas metabásicas sugieren que los protolitos fueron formados en ambientes intraoceánicos, mientras que la presencia de metasedimentos con alto contenido de cuarzo indican una fuente continental para los protolitos sedimentarios [39]. Restricciones geocronológicas para estas unidades metamórficas, incluyendo las posibles edades de sedimentación y la intrusión del BS, sugieren que la evolución metamórfica de estas rocas podría estar limitada temporalmente entre ca. 60 y 80 Ma [33,39-40]. La FCO incluye una intercalación de esquistos cuarzofeldespáticos y esquistos actinolíticos cloríticos calcáreos y delgadas intercalaciones de esquistos grafitosos y talcosos. Según Cardona et al. [39], anfibolitas de grano grueso son intercaladas tectónicamente y asociadas a algunas zonas de falla principales. Según Doolan [38], el contacto con la FPB al sur es fallado y el límite entre ambas unidades es definido por la aparición de anfíbol en esta unidad geológica. Sin embargo, Bustamante et al. [31] sugieren que el contacto coincide con un incremento continuo en el metamorfismo. La FPB comprende principalmente esquistos actinolíticos y anfibolitas con menor cantidad de esquistos moscovíticos. Doolan [38] reporta la existencia de metacherts y cuarcitas. El contacto con la FCO es considerado como tectónico y relacionado al cabalgamiento hacia el sur de la FPB [40]. El grado de metamorfismo en ambas unidades no es muy diferente, alcanzando en ambos casos la facies de los esquistos verdes. La FCI es una secuencia metasedimentaria en la que predominan los esquistos moscovíticos con granate. Esta presenta contactos estratigráficos con los esquistos básicos de la FPB al norte y con las anfibolitas y los esquistos micáceos de la FRO al sur. La FRO suprayace la FCI y es intruida por el BS al sur. Esta unidad presenta predominantemente esquistos anfibólicos y anfibolitas intercalados con esquistos bimicáceos con granate. La presencia de piroxeno en las anfibolitas indica condiciones de metamorfismo de la facies de la anfibolita alta. Las rocas ígneas afloran principalmente hacia el sur del área de trabajo, tomando dirección NE, intruyendo las rocas metamórficas. En general, estas rocas presentan composición predominantemente granodiorítica, textura fanerítica

inequigranular de grano medio a grueso aumentando en dirección sur-este, con presencia de enclaves máficos de formas elipsoidales y de composición gabroide, con gran contenido de biotita, de textura fanerítica de grano fino a medio con una leve orientación de los máficos. Es común la presencia de venas cuarzofeldespáticas de textura pegmatítica. Algunos cuerpos más pequeños de rocas ígneas ocurren como silos o diques de composición andesítica, dacítica y diabásica que siguen o cortan, respectivamente, la foliación metamórfica. Las rocas sedimentarias están ausentes en el área de estudio, aunque es posible reconocer depósitos Cuaternarios relacionados con los drenajes que depositaron sedimentos en las llanuras costeras y playas formadas por el transporte de sedimentos causados por el mar. Los depósitos de playa ocurren en varios sectores, incluyendo las bahías de Taganga, Santa Marta y Gaira, los cuales son algo estratificados y semi-consolidados, con niveles de arena de grano fino y arcilla. La edad de estos depósitos ha sido asignada como Holoceno [33]. Es común la aparición de sedimentos limosos y arcillosos, principalmente en las zonas de inundación, que resultan de los períodos de lluvia intensa. Desde el punto de vista estructural, lo más característico es la existencia de la Falla Jordán, la cual es una estructura de dirección NE de tipo inverso que se bifurca en tres fallas (Taganga, Punta Betín y Santa Marta). Existen también diferentes fallas satélites y lineamientos importantes que afectan al Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta (DTCHSM), los cuales se manifiestan en la presencia de ganchos de falla, sillars de montar y colinas desplazadas. En general, el patrón estructural de la foliación metamórfica principal que presentan las rocas metamórficas que constituyen las diferentes formaciones presenta un rumbo de N15-50°W y un buzamiento de 20-45°SE. Las rocas metamórficas generalmente no muestran una foliación constante dentro de las unidades cartografiadas. Una crenulación sobreimpuesta sin recristalización (desarrollo de una nueva esquistosidad) está presente en todas las formaciones y estaría relacionado con la deformación más tardía durante la exhumación o fases deformacionales más jóvenes [31]. Las estructuras internas son en su mayoría de plegamiento y fractura, con áreas fuertemente plegadas que constituyen las características más destacadas. Los pliegues pueden ser paralelos, ptigmáticos o inarmónicos sin presentar una distribución específica. Una de las características estructurales más evidentes es la presencia de un gran número de venas hidrotermales que pueden presentar un espesor de escala milimétrica a métrica. Su morfología y relación con la foliación regional es igualmente variada. Con base en sus relaciones estructurales con la roca adyacente fue posible identificar varias topologías principalmente de venas de cuarzo (y en menor proporción calcita) reconocibles a escala de afloramiento. A continuación, se describen los rasgos generales de las unidades geológicas que afloran en el área de estudio. El área de estudio se caracteriza por presentar una geomorfología representada por zonas frágiles e inestables, donde actúan diversos fenómenos (olas, corrientes, mareas, descarga de sedimentos, escorrentía, deslizamientos y cambios en el

paisaje debido a la acción humana). Estas zonas, gracias a su belleza paisajística, han causado que el hombre las aproveche en beneficio propio, aunque no respetándoles y deteriorándolas, en la mayoría de los casos. A pesar de los cambios a los que está sujeta dicha área, contiene gran interés geocientífico, brindando aportes importantes al estudio de la evolución geológica de la zona. El alto relieve del interior alcanza una altitud de 200 m, mientras que las tierras bajas (llanuras costeras) se truncan en algunas zonas donde el litoral rocoso se extiende en la costa, lo cual se manifiesta en la presencia de bahías y puntas (a menudo se encuentran juntas en el mismo tramo de costa) que destacan la generación de una variedad de accidentes geográficos que le dan una gran belleza al paisaje. Las bahías se forman donde las rocas más débiles (menos resistentes) se erosionan, mientras que las rocas más fuertes y resistentes forman puntas. Por otra parte, se generan colinas y terrazas debido a que las costas bajas son interrumpidas por macizo montañoso de gran magnitud. La continua evolución de la plataforma continental, los aportes fluviales y la dinámica marina a escala local y global, están relacionados con los procesos geomorfológicos (dinámicos y estructurales) que inciden en ambientes costeros [41]. Otra condición que ayudo a que la riqueza geológica fuera mayor en el área de estudio fueron los efectos tectónicos, que han causado levantamientos y/o hundimientos, sumado a esto, en el Caribe colombiano ocurre un evento de diapirismo de lodo que aporta al tectonismo del área [42-43]. En el área de estudio, aparentemente existe un equilibrio, el cual está siendo afectado, causando un desbalance en los procesos naturales. La erosión del litoral se ha acelerado debido al calentamiento global, deteriorando la geodiversidad y con ella los ecosistemas que de ella dependen, tales como manglares, arrecifes de coral y playas estuario. Según Codignotto [44], entre los principales factores que modelan las costas se encuentran: factores geológicos (ejercen un control litológico y estructural), factores del océano (oleaje, mareas y corrientes litorales), factores propios de un sector de costa (acción eólica, acción fluvial, y acción antrópica), oscilaciones del nivel del mar de orden global (cambio climático global) y oscilaciones del nivel del mar de orden local (tectonismo-vulcanismo). Las geoformas presentes en el área de estudio se han dividido en dos zonas diferentes según su ubicación: la primera comprende la zona montañosa y de planicie aluvial, las cuales son formadas por procesos endógenos y posteriormente modificadas por factores exógenos, como la erosión, como por ejemplo la extensa planicie aluvial, donde se encuentran ubicados el DTCHSM y el corregimiento de Gaira, con pequeñas elevaciones que se presentan como parte del desgaste erosivo proveniente de la SNSM, y en la cuchilla de Taganga al norte de Santa Marta; La segunda zona comprende las geoformas costeras como playas elipsoidales (forma de bolsillo) producto de la erosión, bio-erosión e influencia marina, acantilados de playa, formación de futuras salientes, y finalmente formas antrópicas como espolones y rompeolas presentes en la bahía de Santa Marta. A continuación, se describen los diferentes geoformas identificadas: domos, acantilados, facetas triangulares,

abanicos aluviales, zonas de baja inundación, llanuras costeras, manglares, dunas, playas, playas elipsoidales (playa de bolsillo), plataformas de abrasión litoral, pilares o *stacks* y *stumps*, cuevas, rompeolas. El dominio estructural presente en la zona de estudio, representado en las fallas y algunos pliegues sobre el terreno hace parte de los rasgos geomorfológicos importantes presentes en el área. Se observan algunas facetas triangulares, interrupción de la pendiente topográfica por sillares de falla, la torsión de divisorias de agua originando ganchos como en el río Manzanares, control de algunos drenajes, generación de deslizamientos y un trazado rectilíneo marcado que evidencian zonas de falla, lo que genera diaclasamiento que intensifica la erosión diferencial en el área. Las zonas más bajas son la expresión de los depósitos cuaternarios, la zona acrecional de relieve plano a ondulado se asocia a la llanura de inundación y sus afluentes, donde se deposita el material aluvial erodado de la SNSM, el cambio hacia la parte montañosa es gradual en algunos sectores y en otros abrupto.

4. Objetivos del itinerario geológico

Los objetivos específicos del itinerario geológico son: (1) Realizar el estudio y la observación de los rasgos geológicos más destacados del paisaje costero, interpretando el modelado costero; (2) Destacar la riqueza del medio geológico a partir de la ruta geológica, acercando al visitante algunos de los elementos básicos del patrimonio geológico; (3) Describir los LIGs a nivel elemental para quienes están en proceso de aprendizaje de las geociencias y complejo para profesionales de la geología; (4) Facilitar la observación de fenómenos geológicos estudiados teóricamente en el aula a través de la aplicación práctica de sus conocimientos en un laboratorio natural; (5) Crear un instrumento didáctico, dirigido a todos los interesados en las Geociencias que permita dar a conocer el valioso patrimonio geológico que forma parte del recurso natural de nuestro país; (6) Brindar una base para el desarrollo de itinerarios geológicos en otras regiones del país que sirvan no solo para divulgar su geología sino también para incentivar actitudes de conocimiento, respeto y conservación del patrimonio geológico.

5. Descripción general del itinerario geológico

El recorrido a lo largo del Itinerario Geológico (Fig. 2) cuenta con LIGs para conocer los diferentes tipos de rocas, para comprender cómo influye cada tipo de roca en la formación del paisaje que vemos en la actualidad. El desarrollo de diversas investigaciones en esta región ha contribuido al conocimiento no solo de su geología sino también de su evolución histórica. Para la realización del recorrido, se tomará la Transversal del Caribe (Ruta Nacional 90), vía paralela a la costa sobre el Mar Caribe que une a las ciudades de Turbo (Antioquia) y Paraguachón (La Guajira). Sobre esta vía, aprox. 16 km después de atravesar el municipio de Ciénaga, se encontrará una desviación a la izquierda que conduce al AISB, desde donde comenzará el recorrido, observándose los LIGs 1 y 2. A partir de la intersección entre esta desviación y la Ruta Nacional 90, se continuará hasta

el LIG 3, cerca de las instalaciones de Ecopetrol. Adelante de Ecopetrol y cruzando el puente elevado sobre la vía del ferrocarril se encontrará una desviación a la izquierda que conducirá al condominio Sierra Laguna (LIG 4), desde donde se realizará una caminata a Punta La Gloria. A 6,5 km de la desviación al terminal aéreo se encontrará la Y, a partir de la cual, la desviación a la derecha (Ruta Nacional 90) conduce al DTCHSM y la desviación a la izquierda conduce a El Rodadero, un destino turístico bastante popular entre los turistas colombianos y extranjeros. Al sur de este se visitará Playa Salguero (LIG 5). Posteriormente, se tomará la carrera 17 que conduce a El Rodadero (LIGs 6-7), atravesando el Corregimiento de Gaira, se ascenderá a el Alto de Ziruma (LIG 8) a partir del cual se descenderá hasta el Batallón “José María Córdova”, ingresándose a Santa Marta por la carrera 4 hasta alcanzar la calle 22 (LIG 9), intersección a partir de la cual se ingresará a través de una caminata a la Bahía de Santa Marta. Al final de esta bahía se encontrará la Sociedad Portuaria desde donde podrá accederse al Mirador de Punta Betún (LIG 10). El recorrido continuara a lo largo de la calle 2A hasta alcanzar la carrera 11 en el barrio Pescadito (LIG 11) desde donde se toma la vía a Taganga, la cual atraviesa el Alto de Taganga (LIG 12) y el Mirador de Taganga (LIG 13). El recorrido terminará en el LIG 14, a partir del cual se realizará una caminata por una zona acantilada en dirección a Playa Grande.



Figura 2. Mosaico de imágenes satelitales mostrando la franja costera entre el AISB y la BT
Fuente: Adaptado y modificado de Google Earth [45], así como el itinerario geológico.

LIG 1. Plataforma de abrasión elevada en Punta Brava

Localización: El AISB está ubicado a 16,5 km del DTCHSM. Aquí se llega tomando una desviación a la izquierda que parte de la Transversal del Caribe (Ruta Nacional 90), aprox. 16 km después de atravesar el municipio de Ciénaga. A este LIG se tiene acceso desde la zona de parqueo del terminal aéreo.

Coordenadas: X = 1.721.255; Y = 982.956; Z = 9 msnm

Características: Este LIG se caracteriza por la presencia de una saliente geográfica que constituye Punta Brava (Fig. 3a) en donde ocurre una plataforma de abrasion de pendiente irregular debido a la apariencia esferoidal como consecuencia del diaclasamiento y la meteorización que han sufrido las rocas igneas que la constituyen (Fig. 3b), las cuales han sido cubiertas por una delgada capa de corales, los cuales son tapizados por alfombras algales de color verde y café (Figs. 3b-3c). Los corales generalmente presentan una tonalidad verde palido. Estas rocas son de composición granodiorítica y presentan foliación metamórfica y textura fanerítica a porfirítica con tamaño de grano promedio de 5 mm y fenocristales de hornblenda de hasta 0.8 cm. Localmente se observan enclaves de composición mafica de formas circulares, elipsoidales y elongados, aunque también algunas veces son de forma irregular. También se aprecia un pequeño xenolito de esquisto bimicáceo de forma irregular. La granodiorita es cortada por venas de pegmatita de hasta 4 cm de espesor y geometría tabular. Pequeños acantilados bajos de hasta 1 m de altura constituidos de material no consolidado se aprecian sobre la rasa costera. Desde este aquí se observa la saliente frente al extremo sur de la pista de aterrizaje del terminal aéreo. Las Figs. 3d-3e ilustran la plataforma de abrasion mostrando venas de pegmatita de geometría tabular y 7.5 cm de espesor, la cual ha sido afectada por un diaclasamiento que ha producido su desplazamiento vena de pegmatita. Enclaves maficos de geometría usualmente elipsoidal ocurren aquí (Figs. 3f-3g), en algunos casos con desarrollo de meteorización esferoidal. La plataforma de abrasion termina a la altura de la entrada al parqueadero del terminal aéreo donde empieza una playa, frente a la cual se observa un enrocado de marmol para proteger la vía (Fig. 3h). Este LIG es importante desde el punto de vista estratigráfico como quiera que abanicos aluviales se encuentran cubriendo una plataforma de abrasión elevada labrada en rocas del BS, definiendo una superficie de inconformidad [46]. La plataforma de abrasión elevada se extiende entre Punta Ebano y La Paz, presentando una superficie suavemente ondulada a colinada, levemente inclinada al occidente. Esta geoforma esta asociada a acantilados bajos constituidos de material no consolidado de los abanicos aluviales. Dentro de los abanicos aluviales se presentan colinas bajas (remanentes del BS) con pendientes suaves a moderadamente inclinadas [46]. Estos autores describen también pequeñas playas de longitud variable y poca amplitud, compuestas de arena de tamaño de grano fino a medio, las cuales desarrollan segmentos cortos y curvilíneos ubicados entre las salientes rocosas. A manera de protección de la pista de aterrizaje del terminal aéreo, se realizaron obras a fin de detener o desacelerar el proceso de erosión costera.



Figura 3. (a) Saliente geográfica de Punta Brava y plataforma de abrasión. (b) Granodiorita y alfombras algales en la plataforma de abrasión. (c) Alfombras algales sobre corales. (d) Plataforma de abrasión. (e) Granodiorita cortada por vena de pegmatita afectada por diaclasamiento de poco desplazamiento. (f) Enclave máfico de forma elipsoidal dentro de granodiorita. (g) Enclaves máficos de diferente geometría dentro de granodiorita. (h) Enrocado para la protección de la vía al terminal aéreo. Fuente: Los autores.

LIG 2. Arrecife coralino sobre plataforma de abrasión en Punta La Loma

Localización: Punta La Loma, aprox. a 0.6 km del LIG anterior en dirección norte y por la línea de costa, frente al Centro Vacacional de la Aerocivil.

Coordenadas: X = 1.721.649; Y = 983.070; Z = 7 msnm

Características: Este LIG está caracterizado por la presencia de una saliente geográfica que constituye Punta La Loma, la cual presenta una plataforma de abrasión y arrecife coralino. Las siguientes geoformas pueden distinguirse desde aquí: abanico aluvial, colinas bajas, rasa costera, acantilados bajos y playas. El abanico aluvial corresponde a la misma unidad descrita en la parada anterior. Las colinas bajas sobresalen dentro del abanico aluvial a manera de remanentes de rocas ígneas intrusivas del BS, con pendientes suaves a moderadamente inclinadas, desarrollando crestas redondeadas y sinuosas y laderas rectilíneas con pendientes moderadamente inclinadas [46]. Las Figs. 4a-4b ilustran excelentes panorámicas de esta saliente geográfica y rasgos geológicos asociados a la zona de playa. La Fig. 4c ilustra la ocurrencia de arrecife coralino bordeando la plataforma de abrasión elevada casi horizontal. Detalles de este arrecife coralino en el extremo de la saliente geográfica y en la zona de playa se muestran en las Figs. 4e-4f. El arrecife coralino se encuentra tapizando la granodiorita (Figs. 4f-4g). En la Fig. 4h se observa una especie desconocida de coral, mientras que en la Fig. 4i se ilustra un excelente ejemplo del coral cerebro (*Colpophyllia natans*). Alrededor de esta saliente geográfica se observan acantilados bajos (hasta de 1 m de altura) constituidos por granodiorita (Fig. 5j) con socavamiento en capas y acantilados bajos (hasta de 2 m de altura) labrados sobre materiales no consolidados que constituyen el abanico aluvial (Fig. 4k). La Fig. 4l muestra una duna y estructuras eólicas. La fauna coralina está representada por la presencia de *Colpophyllia natans*, sobre la cual hay desarrollo de alfombras algales que tienen un fuerte impacto en la estructura y dinámica poblacional de comunidades arrecifales, llegando a afectar la supervivencia coralina por procesos indirectos en su metabolismo y crecimiento [47]. Las algas son un componente importante en las comunidades de arrecifes coralinos ya que juegan un sobresaliente papel ecológico y ambiental en las áreas donde estos se desarrollan [48].



Figura 4. (a)-(b) Panorámicas a Villas Canarias y rasgos geológicos asociados a la zona de playa desde el sur y norte, respectivamente. (c) Saliente geográfica, plataforma de abrasión y arrecife coralino. (d) Detalle del arrecife coralino en el extremo de la saliente geográfica. (e) Detalle del arrecife coralino en zona de playa. (f)-(g) Arrecife coralino tapizando granodiorita. (h) Especie desconocida de coral. (i) Coral cerebro (*Colpophyllia natans*). (j) Acantilados bajos sobre granodiorita. (k) Acantilados bajos sobre depósitos recientes. (l) Duna y estructuras eólicas. Fuente: Los autores.

LIG 3. Pozos Colorados

Localización: Restaurante Puerto Esperanza, sobre la margen derecha de la Transversal del Caribe (Ruta Nacional 90), aprox. 4.0 km adelante de la desviación que conduce al AISB y 0.45 km antes de la portería del Terminal Marítimo de Pozos Colorados de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL).

Coordenadas: X = 1.726.297; Y = 983.690; Z = 14 msnm

Características: Desde este LIG es posible apreciar la ocurrencia de las siguientes geoformas, definidas por Idárraga et al. [46]: montañas con pendientes fuertemente inclinadas (alturas hasta de 800 m), abanicos aluviales, llanura costera y colinas altas con pendientes moderada a fuertemente inclinada. Las montañas dominan la parte oriental de la zona de estudio como un cinturón continuo compuesto por rocas de composición granodiorítica del BS con variaciones transicionales a monzogranito y tonalita, de grano grueso y predominantemente alotriomórfico, a veces orientado localmente, en facies definidas por variaciones en el tamaño de grano. Asociado a él se observan pequeños cuerpos graníticos satélites, diques pegmatíticos emplazados linealmente y segregaciones hornbléndicas zonales al interior del orógeno, tal como lo reportan en un estudio previo Mejía et al. [49]. Según Duque-Trujillo et al. [50], es común encontrar enclaves máficos distribuidos a lo largo del cuerpo, y en menor cantidad grandes cuerpos de hornblenditas pegmatíticas (cumulatos de hornblenda), indicando una compleja historia magmática con mezcla y recirculación de materiales desde las partes más inferiores de la cámara magmática. Datos isotópicos indican que el magmatismo que origina este batolito son el producto de la mezcla de fuentes manto derivadas con fuentes corticales, lo cual ha sido previamente reportado en los Andes colombianos [35]. En este sector se aprecia una foliación magmática similar a la reportada por González [51], quien sugiere que esta podría estar asociada al aplastamiento general de los bordes del cuerpo intrusivo. La roca predominante corresponde a una granodiorita gris claro, de grano grueso (2-3 mm) y textura

fanerítica. Mineralógicamente se compone de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, hornblenda, biotita, y granate en menor proporción. Presenta enclaves máficos de diferentes tamaños y formas lo que nos indica posibles etapas tardías de cristalización (Figs. 5a-5f). La Fig. 5g ilustra un ejemplo de pantanos de manglar observables aquí. Las rocas intrusivas aflorantes constituyen un domo ígneo (Fig. 5h) cuyas laderas presentan baja pendiente y forma redondeada, producto de la meteorización esferoidal la cual se produce cuando los fragmentos angulares de roca son atacados por agua que fluye a través de diaclasas, los fragmentos tienden a tomar una forma esférica. La llanura costera (Fig. 5i) que se observa aquí es una unidad de relieve muy plano con pendientes menores a 5°, la cual se extiende desde el sector de La Paz hacia el norte como una franja estrecha paralela a la costa, con una amplitud promedio de 400 m, que alcanza aprox. 2 km en Pozos Colorados. Está limitado hacia el mar por playas y hacia el continente por abanicos aluviales. Esta unidad está conformada por depósitos fluviolacustres, coluviales y de llanuras de inundación antiguas de posible edad plio-cuaternaria. Las colinas altas con pendientes moderadas a fuertemente inclinadas representan geoformas con alturas hasta de 125 m, cuya principal característica es la presencia de crestas redondeadas y vertientes convexas de pendientes moderadas a fuertes (de 10-20°). Esta unidad está conformada por rocas ígneas del BS. En los alrededores de este LIG se aprecian zonas de material granítico alterado y no movilizado, es decir, un suelo residual arenoso ligeramente compacto, el cual es muy vulnerable a la erosión, dentro de las cuales se destacan zonas con roca granítica fresca.

En Pozos Colorados se ha reportado la existencia de salinas desde tiempos prehispánicos [52]. El mar muy probablemente cubría parte del sitio o quizás la presencia de *Crassostrea rhizophora* en algunos sitios revela que las zonas adyacentes a estos sitios eran probablemente un manglar.

LIG 4. Lagos del Dulcino

Localización: A este LIG se encuentra a 2.0 km del anterior, tomando la desviación a la izquierda que conduce al Condominio Sierra Laguna (sector Lagos del Dulcino) a partir de la Transversal del Caribe (Ruta Nacional 90) luego de cruzar el puente sobre la vía férrea. El acceso a la playa se realiza ingresando a través de este condominio. Una vez en la playa se realiza una caminata al Cerro La Gloria.

Coordenadas: X = 1.727.586; Y = 982.507; Z = 15 msnm

Características: Rasgos geológicos de interés a lo largo de una caminata que conduce al Cerro La Gloria son ilustrados en la Fig. 6. Aquí es posible apreciar las siguientes unidades geomorfológicas: llanura costera, cordón de dunas, pantanos de manglar, playas, acantilados y colinas altas. Al comenzar la caminata en dirección al Cerro La Gloria se observará una llanura costera (Fig. 6a), la cual es una unidad de relieve muy plano con pendientes menores a 5° que está limitada hacia el mar por playas y al este y norte por colinas altas. Esta unidad está conformada por depósitos fluviolacustres, coluviales y de llanuras de inundación antiguas de posible edad plio-cuaternaria [46]. Las zonas próximas al mar cuando se da el fenómeno



Figura 5. (a-b) Diaclasamiento y enclaves máficos en roca ígnea intrusiva de composición granodiorítica. (c-e) Enclaves máficos de diferente composición en granodiorita. (f) Pantanos de manglar. (g). Domo en colina altas. (h) Llanura costera limitada por colinas altas.

Fuente: Los autores.

de mar de leva, son cubiertas por agua de mar y forman lagunas temporales. Uno de los rasgos asociados a estas es la presencia de grietas de desecación (Fig. 6b) de forma poligonal causadas por la desecación de lodo. Un pequeño cordón de dunas con vegetación (Fig. 6c) se diferencia de las demás geoformas costeras en que se forman por la acción del aire y no por el agua. Igualmente, se observan aquí estructuras eólicas (dunas) y de corriente (*ripple marks*), estas últimas como consecuencia del efecto de la marea que ha originado una serie de ondulaciones perpendiculares a la dirección del fluido. Remanentes de pantanos de manglar (Fig. 6d) se observan cerca a Lagos del Dulcino, los cuales han sido intervenidos generando una pérdida notoria de sus rasgos geomorfológicos, además de haber sido rellenados generando zonas inundables que afectan la estabilidad de la costa. Las colinas altas (Figs. 6e-6f) presentan pendientes moderadas a fuertemente inclinadas, desarrollando crestas redondeadas y vertientes convexas de pendientes moderadas a fuertes (10-20°). Los procesos erosivos han desmantelado totalmente las rocas que lo cubrían, destacando actualmente estas colinas altas en el paisaje suave de la llanura costera. Estas están conformadas por rocas ígneas intrusivas del BS [33], las cuales afloran hacia el Cerro La Gloria, desarrollando un relieve en forma de domo, la cual está influenciada principalmente la erosión por escorrentía. En dirección a este cerro existe una zona acantilada con playas rocosas (Fig. 6g) originadas por la erosión de los acantilados y forman playas de bloques (diámetro > 10 cm); de cantos rodados (diámetro de 30 mm - 10 cm) y de gravas (diámetro de 2-30 mm). Aquí se presenta constantemente el desprendiendo de rocas graníticas. La erosión ha actuado sobre un acantilado bajo (Fig. 6h) con materiales poco consolidados de naturaleza conglomerática, constituidos por gravas y gravillas, de forma subredondeada a redondeada de rocas intrusivas y metamórficas, en una matriz arcillo-arenosa. En este cerro se presenta un acantilado labrado sobre rocas de composición tonalítica con textura granular gruesa y presencia de escasos enclaves máficos de grano fino y venas de pegmatita de 2-10 cm de espesor. La Fig. 6i ilustra la ocurrencia de una pequeña plataforma de abrasión frente a un acantilado cubierto por vegetación de *cactus*, en el cual se destacan el fuerte diaclasamiento de la roca (Fig. 6j), desarrollando acanaladuras (Fig. 6k) que se ensanchan en determinados puntos. El aspecto corroído de la roca sobre la



Figura 6. (a) Llanura costera. (b) Grietas de desecación. (c) Cerdón de dunas costeras. (d) Pantano de manglar. (e-f) Panorámica a Cerro La Gloria y domos característicos. (g) Playa rocosa. (h) Erosión en acantilado bajo. (i) Acantilado en el cual se destaca la ocurrencia de una vegetación de cactus. (j) Intenso diaclasamiento en rocas intrusivas. (k) Acanaladuras a lo largo de diaclasas. (l) Oquedades producidas en las rocas por la acción eólica. Fuente: Los autores.

pared del acantilado revela como la erosión eólica ha actuado desarrollando un modelado alveolar caracterizado por la presencia de oquedades, las cuales se convierten en lugares de nidificación de aves (Fig. 6l).

Un caso de particular interés es el estado de conservación de las dunas costeras. No obstante, la construcción de paseos marítimos y urbanizaciones en la parte posterior de las playas, ocupando en muchos casos antiguos cordones de dunas, elimina del balance sedimentario un gran volumen de arena que ya no podrá contribuir al equilibrio de las mismas.

LIG 5. Playa Salguero

Localización: Sobre la Ruta Nacional 90, a 1.0 km del puente que cruza la vía férrea se encontrará una Y, a partir de la cual se tomará la desviación a la izquierda que conduce a El Rodadero a lo largo de la carrera 17 hasta la intersección con la calle 24, se sigue por esta hasta la carrera 2, se sigue por esta hacia el sur hasta alcanzar la zona de playa.

Coordenadas: X = 1.728.589; Y = 982.502; Z = 4 msnm

Características: Playa Salguero (Fig. 7) se extiende desde Punta La Gloria al sur hasta la desembocadura del Río Gaira al norte, con aprox. 1.5 km de longitud y 35 m de amplitud máxima. Esta playa presenta una morfología baja y rectilínea actual, debido al proceso de regularización de la costa, así como a la construcción de edificaciones que han afectado el cordón de dunas costeras, las cuales separan la playa de la llanura costera (Fig. 7a). Es una playa abierta con algunos salientes rocosos en su trazado (Fig. 7b), los cuales representan pequeños promontorios que sobresalen y que son una extensión de las colinas altas, lo cual es debido a la interrupción de un litoral arenoso por un litoral rocoso. Las colinas altas constituyen aquí el Cerro La Gloria, desarrollando una geoforma de dirección NE, la cual limita la Playa Salguero al SW, un cordón de dunas costeras, una llanura costera y un abanico aluvial. La erosión se manifiesta en las rocas cristalinas, dando lugar a un acantilado muy definido, pero con un perfil convexo y cubierto de vegetación (Fig. 7c) en el que se observa un contacto intrusivo entre tonalita del BS y esquistos anfibólicos de los EGA (Fig. 7d),

estos últimos con una foliación muy marcada y geometría plano paralela y venas de cuarzo de poco espesor paralelas a la esquistosidad (Fig. 7e). Por otra parte, es evidente la ocurrencia de xenolitos de esquistos anfibólicos (Fig. 7f) de forma irregular dentro de la tonalita. La meteorización mecánica de estas rocas ha provocado que las rocas tiendan a seguir un plano curvo. No obstante, la meteorización química es la más importante. En algunos casos, las diaclasas están rellenas principalmente con venas de pegmatita (Fig. 7g). La llanura costera (Fig. 7h) es de poca extensión y está limitada al SE por el Cerro La Gloria, al NW por un cordón de dunas costeras y al NE por un abanico aluvial. Dentro de esta, al final de la avenida Tamacá, se encuentra la nueva sede del Instituto de Investigaciones Científicas Marinas y Costeras (INVMAR). El cordón dunar ha sido intervenido, aunque se observan algunos remanentes adyacentes a la playa, cubiertos por escasa vegetación (Fig. 7i). El abanico aluvial está asociado al Río Gaira, cuya desembocadura (Figs. 7i-7j) representa una interface río-mar que genera pequeños cambios sobre la playa. Atravesando este río se observan pequeños afloramientos de tonalita con venas de pegmatita de grano grueso alineadas, lo cual produce un bandeado composicional de la tonalita, y pequeños lentes de esquistos anfibólicos (Fig. 7k). Venas compuestas de pegmatita y cuarzo cortan la roca intrusiva y muestran una mejor resistencia a la meteorización y erosión (Fig. 7l).

La regularización costera aún no ha eliminado todos los salientes rocosos, aunque domina la deriva y el transporte. Esta playa está caracterizada por la acumulación de sedimentos no consolidados en el borde de un cuerpo de agua entre salientes rocosos y espigones, con inclinación hacia el agua.

LIG 6. Contacto ígneo-metamórfico, El Rodadero sur

Localización: A partir de la intersección de la carrera 4 con la calle 12 de El Rodadero, se avanza a lo largo de una corta caminata hacia el sur se cruza el Parque Acuático El Rodadero.

Coordenadas: X = 1.730.157; Y = 983.424; Z = 9 msnm

Características: Desde acá se observa la panorámica del pilar Morro de Gaira, la saliente de Punta Cabeza de Negro, y las colinas aserradas características de las rocas metamórficas que afloran allí, acantilados cuyo desarrollo ha sido favorecido por la foliación, así como el complejo turístico de El Rodadero. La Falla El Rodadero (N65°E/20°W) pone en contacto las Filitas de Taganga (FTA)



Figura 7. Rasgos geológicos en Playa Salguero. Fuente: Los autores.



Figura 8. Panorámica y esquema de la Bahía de Gaira, destacando aspectos geológicos de interés.
Fuente: Los autores.

y los EGA, originando una zona de cizalla visible en la vía Santa Marta - El Rodadero. Su expresión geomorfológica es notoria a pesar de la confusión que podrían crear las características litológicas del área. Las pendientes formadas por estas rocas metamórficas son interrumpidas por la presencia de sillas de falla. La Fig. 8 ilustra una panorámica y su esquema correspondiente en el que se destacan diferentes aspectos geológicos.

Este LIG representa una típica zona de contacto ígneo-metamórfico (Fig. 9), en el cual se observa una secuencia metamórfica en la que predominan esquistos anfibólicos de color verde oscuro con delgadas intercalaciones de esquistos cloríticos de color verde pálido cuya foliación metamórfica es N50°E/85°SE. Otras variedades litológicas presentes corresponden a esquistos bimicáceos. Estas rocas se correlacionan con la FRO [38] y han sido afectadas por un magmatismo félsico del BS (Fig. 9a). Numerosas venas cuarzo de geometría lenticular (Fig. 9b) y en “*boudinage*” (Fig. 9c) de hasta 5 y 10 cm de espesor, respectivamente, siguen la foliación metamórfica. Otras venas de cuarzo (de 1.5-5 mm de espesor) cortan la foliación metamórfica casi en forma perpendicular o a bajo ángulo y presentan localmente plegamiento. Diferentes cuerpos de granodiorita se han emplazado dentro de las rocas metamórficas, los cuales en general están dispuestos de manera concordante a la foliación metamórfica, aunque localmente pueden cortarla a bajo ángulo. La granodiorita presenta textura fanerítica de grano muy grueso y desarrolla plegamientos simétricos que presentan espesores de 2.5-20 cm y esta cortada discordantemente a alto ángulo por diques de tonalita de grano medio y color blanco amarillento que alcanzan espesores hasta de 10 cm (Figs. 9d-9e). Estos cuerpos muestran evidencia de tectonismo con desplazamiento a lo largo de microfallas normal escalonadas. La Fig. 9f muestra como estas al igual que las venas de cuarzo presentan plegamiento. Diques de diabasa de 25-50 cm de espesor cortan a bajo ángulo la foliación metamórfica, aunque localmente también se disponen de manera concordante (Fig. 9g). La Fig. 9h ilustra la ocurrencia de un dique de granodiorita de grano muy grueso de aprox. 1.5 m con foliación metamórfica y que hacia la parte central presenta una vena de pegmatita cuarzosa de grano muy grueso.

En este sector ante la problemática de erosión que sufre la zona residencial costera, se ha construido una escollera unida a tierra (o espolón en forma de T) a manera de estructura protectora de la costa a base de concreto que detendrá la inestabilidad que se presenta en la playa de El Rodadero, evitando que continúe la erosión costera en el tramo intervenido. No obstante, en muchos casos esta no es

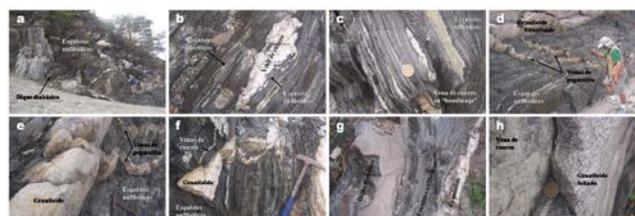


Figura 9. Rocas que caracterizan la última unidad metamórfica ubicada al sur del área de interés y que es intruida por el BS, la cual se correlaciona con la llamada por Doolan [38] FRO.
Fuente: Los autores.

una solución efectiva, constituyendo una zona riesgosa, más aun teniendo en cuenta la falta de mantenimiento de esta estructura es notoria. El auge turístico ha causado el rápido crecimiento demográfico y la concentración de población de El Rodadero, lo cual es uno de los factores más importantes en el incremento de los procesos de cambio en la zona costera y que según Rangel [53] se ha llevado a cabo en varias etapas.

LIG 7. Acantilados y plataforma de abrasión, El Rodadero norte

Localización: A partir de la intersección de la intersección de la carrera 1 con la calle 5 de El Rodadero, se avanza en dirección al norte, cruzando el puente peatonal sobre la entrada a La Escollera desde el mar, hasta el punto de partida de las embarcaciones cuyo principal destino es el Acuario y Museo del mar El Rodadero y Playa Blanca.

Coordenadas: X = 1.731.141; Y = 983.273; Z = 3 msnm

Características: La Fig. 10a ilustra una panorámica con el Morro de Gaira a la izquierda y la zona acantilada en donde comienza la caminata frente al Hotel Las Cascadas a lo largo de la zona acantilada en dirección a Playa Blanca, desde donde se observa una hermosa panorámica de la Bahía de Gaira (Fig. 10b) y un acantilado (Fig. 10c) con una pendiente de aprox. 65°, la cual representa un plano estructural definido por la foliación metamórfica (N55°E/65°SE) de esquistos bimicáceos de color gris claro de aspecto plateado y superficie de alteración de color pardo amarillento con delgadas intercalaciones de esquistos grafitosos de color negro. Estas rocas presentan diferentes planos de discontinuidad: superficies de esquistosidad, diaclasas y microfallas (Fig. 10d). La intersección de estos planos individualiza bloques de diverso tamaño que se encuentran en una situación inestable (también algunas de las viviendas que se apoyan sobre ellos). Venas de cuarzo de geometría lenticular y de hasta 20 cm siguen o cortan a muy bajo ángulo la foliación metamórfica, aunque localmente también la cortan casi a 90°. Venas de pegmatita de geometría lenticular, grano muy grueso y espesores hasta de 50 m siguen la foliación metamórfica. Caminando a lo largo del rumbo del plano de foliación se aprecian escarpes de paredes abruptas de la zona acantilada, procesos gravitacionales, desprendimientos de bloques al pie del acantilado, lo cual es favorecido por el patrón estructural de las rocas metamórficas. Dos fenómenos que pueden apreciarse en las rocas aflorantes es la presencia de quevedas generadas por

la disolución química del substrato rocoso favorecida por la foliación metamórfica (Fig. 10e) y por las condiciones corrosivas del agua de mar y por la acción eólica sobre las paredes de los acantilados (Fig. 10f). Alfombras algales tapizan el substrato rocoso (Fig. 10g), destacándose la presencia de cangrejos. Las pendientes estructurales de esta zona acantilada sirven de tela para el arte urbano (Fig. 10h). La saliente geográfica se caracteriza por la presencia de una vena de pegmatita de geometría lenticular a ojosa y de hasta 2.5 m de espesor encajada dentro de los esquistos descritos anteriormente (Fig. 10i). Adyacente a este se presentan numerosas venas de cuarzo concordantes a la foliación metamórfica y de hasta 1 cm de espesor. La roca aflorante en la saliente desarrolla una pequeña rasa costera de pendientes fuertes (Fig. 10j). Se observa hacia la parte baja del substrato rocoso la acción de moluscos que se adhieren a su superficie, los cuales contribuyen con el proceso de erosión de la roca. Este lugar es excelente para explicar los conceptos de dirección y buzamiento de las capas, siendo aquí muy fácil observar el plano de foliación metamórfica. La Fig. 10k ilustra la ocurrencia de esquistos bimicáceos con venas de cuarzo de geometría lenticular y de hasta 1 cm de espesor paralelas a la foliación metamórfica. Descendiendo estratigráficamente se observa un nivel de esquistos cuarzofeldespáticos con estructura ojosa a anastomosada y numerosas venas de cuarzo de geometría lenticular a tabular y de hasta 10 cm de espesor (Fig. 10l). Los acantilados son erosionados por el hidrodinamismo marino (corrientes, cambios mareales, oleaje) pero la acción del mar puede ser reforzada por algunos organismos (moluscos y corales, alfombras algales), que aceleran la caída y meteorización de las rocas. Este proceso de bioerosión [54] se puede dividir en dos fases: bioabrazión superficial y bioperforación con la participación de una gran variedad de organismos. Desde esta saliente geográfica y en dirección a Playa Blanca se observa una playa gravosa (Fig. 10m). La Fig. 10n muestra la saliente geográfica, la playa gravosa, el acantilado y la Bahía de Gaira. Caminando a lo largo de esta playa se observan bloques constituidos por intercalaciones de anfífolitas grueso granulares y esquistos actinolíticos (Fig. 10o) con algunas venas de calcita. Al final de la playa descrita anteriormente se observa un contacto entre esquistos actinolíticos y esquistos grafitosos (Fig. 10p). Aquí se observa una saliente geográfica caracterizada por la presencia de una plataforma de abrasión frente a la cual se encuentran varios *stumps* (Figs. 10q-10r). Otro detalle de la plataforma de abrasión frente a un acantilado es observado en la Fig. 10s. Una alternancia de esquistos actinolíticos de color verde parduzco y esquistos grafitosos de color gris oscuro con delgadas intercalaciones de esquistos bimicáceos de color gris claro se ilustra en la Fig. 10t. En algunos sectores, se observan cristales de actinolita que presentan una orientación al azar sobre la superficie de foliación metamórfica (Fig. 10u). La Fig. 10v ilustra una alternancia de esquistos grafitosos con esquistos bimicáceos. En los esquistos grafitosos es común observar oquedades debidas a fenómenos de disolución, así como numerosas venas de cuarzo (Fig. 10w). Al final de la caminata se observa una pequeña playa de bolsillo (Fig. 10x).

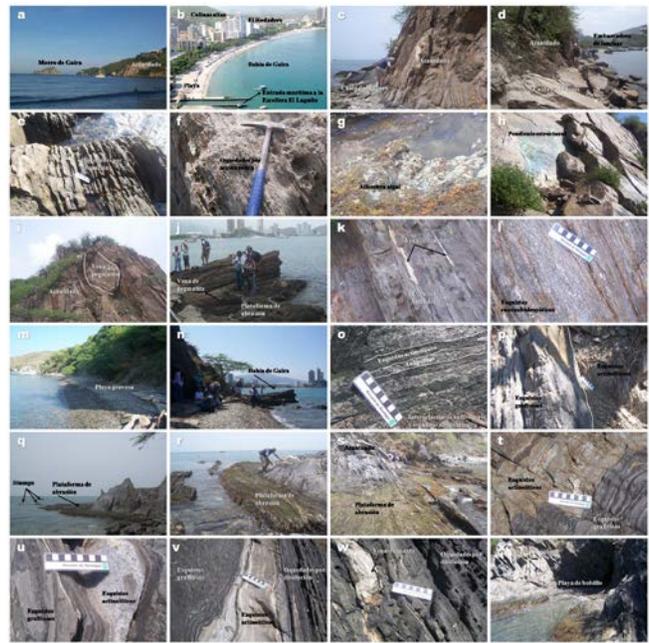


Figura 10. Zona acantilada en El Rodadero norte. Fuente: Los autores.

La Fig. 11 ilustra la evolución de un acantilado dando lugar a una plataforma de abrasión. La acción erosiva del mar sobre las rocas metamórficas que afloran a lo largo del litoral es revelada aquí fundamentalmente como consecuencia del efecto del oleaje. Por otra parte, es importante tener en cuenta la acción del agua sobre en la disolución de la roca y, en general, la amplitud que a todas esas acciones proporciona la oscilación de las mareas. Este LIG es un excelente ejemplo para ilustrar la ocurrencia de formas de ablación, las cuales son el resultado de la acción destructora del mar sobre la roca del litoral. Dentro de estas geoformas, se distinguen dos tipos fundamentales, los acantilados y las plataformas de abrasión o rasas costeras, íntimamente ligados y que constituyen costas de ablación. La erosión igualmente ha causado las caídas de rocas, deslizamientos eventuales, acción del oleaje (grietas, formas alveolares o planares). En la Bahía de Gaira, como resultado de la subida del nivel del mar, el acantilado retrocede quedando una amplia plataforma de erosión marina, formándose cavernas, arcos y pilares. Asociado a este borde rocoso y como resultado del proceso de erosión marina se encuentra adyacente a la línea de costa algunos promontorios y un pilar (Morro de Gaira) que representan prolongaciones de Punta Cabeza de Negro.



Figura 11. Evolución de un acantilado dando lugar a una plataforma de abrasión. (a) Erosión debida al oleaje. (b) Las olas producen un socavamiento de las rocas. (c) El acantilado colapsa, retrocediendo y dejando expuesta plataforma de abrasión. Fuente: Los autores.



Figura 12. Panorámica de las dos formaciones metamórficas más cercanas al BS.

Fuente: Los autores.

Desde aquí se observa una excelente panorámica hacia el sur en la que se destacan la actividad turística en las playas de El Rodadero y su complejo hotelero, así como la Bahía de Gaira; a la derecha Cerro La Gloria (Fig. 12).

LIG 8. Alto de Ziruma, Panorámicas a El Rodadero y Santa Marta

Localización: Alto de Ziruma, sobre la vía que va de El Rodadero a Santa Marta.

Coordenadas: X = 1.732.314; Y = 985.079; Z = 103 msnm

Características: Desde este LIG se pueden obtener dos excelentes panorámicas a El Rodadero y Santa Marta. La panorámica hacia El Rodadero (Fig. 13a) permite apreciar la Bahía de Gaira, El Rodadero y un abanico aluvial, el cual está rodeado de colinas altas. La panorámica hacia Santa Marta (Fig. 13b) muestra la Bahía de Santa Marta, los pilares que representan prolongaciones de Punta Betín, una llanura costera, una cresta alargada que se desprende de las colinas altas y facetas triangulares; estas últimas evidencian la presencia de la Falla El Rodadero. Una caminata desde este alto topográfico en dirección al Batallón “José María Córdova” permite recorrer una secuencia de roca metamórfica (N46°E/55°SE) con predominio de esquistos grafitosos y esquistos anfibólicos. Aquí se observa un afloramiento de esquistos grafitosos con plegamiento suave (Fig. 13c). A partir de aquí en dirección al Distrito Turístico, Cultural e Histórico de Santa Marta (DTCHSM) se encontraron excelentes afloramientos los cuales se describen a continuación. La Fig. 13d ilustra un ejemplo de nivel caracterizado por la intercalación de esquistos grafitosos y esquistos anfibólicos con una superficie de foliación que presenta replegamiento. Hacia la parte superior se observa una vena de pegmatita de geometría lenticular de hasta 50 cm de espesor, la cual se dispone concordantemente con la foliación metamórfica. Un plegamiento volcado en esquistos grafitosos es observado en la Fig. 13e, el cual refleja la deformación plástica que han sufrido estas rocas metamórficas. La Fig. 13f ilustra la ocurrencia de una intercalación de esquistos grafitosos de color gris oscuro y bimicáceos de color gris claro, desarrollando una superficie de foliación plano paralela a levemente ondulosa. La Fig. 13g representa un nivel de esquistos anfibólicos con patrón de diaclasamiento casi perpendicular a la foliación metamórfica. Venas de pegmatita se disponen de manera concordante a la foliación metamórfica o discordante siguiendo el patrón de diaclasamiento descrito anteriormente. En la Fig. 13h se observa un detalle del plano de foliación metamórfica que presentan los esquistos anfibólicos



Figura 13. Alto de Ziruma. (a) Panorámica a El Rodadero. (b) Panorámica a Santa Marta. (c) Plegamiento suave en esquistos grafitosos. (d) Intercalación de esquistos grafitosos y esquistos anfibólicos. (e) Esquistos grafitosos mostrando plegamiento volcado. (f) Intercalación de esquistos grafitosos y bimicáceos. (g) Patrón de diaclasamiento en esquistos anfibólicos. (h) Plano de foliación metamórfica e intenso diaclasamiento en esquistos anfibólicos. (i) Venas de cuarzo concordante a la esquistosidad en esquistos anfibólicos. (j) Panorámica al Alto de Ziruma. (k) Panorámica hacia el norte. (l) Afloramiento de esquistos anfibólicos y venas de cuarzo.

Fuente: Los autores.



Figura 14. Panorámica de la Bahía de Santa Marta y el DTCHSM.

Fuente: Los autores.

así como el intenso diaclasamiento que ha afectado estas rocas metamórficas. Venas de cuarzo de geometría lenticular siguen la foliación metamórfica de los esquistos anfibólicos (Fig. 13i). Las Figs. 13j-13k presentan dos panorámicas hacia el sur en dirección al Alto de Ziruma y hacia el norte, respectivamente, donde se destacan algunos rasgos geológicos de interés. La Fig. 13l muestra un afloramiento de esquistos anfibólicos con superficie de foliación plano paralela y presencia de venas de cuarzo que se disponen de manera concordante y discordante.

La Fig. 14 ilustra una panorámica y su correspondiente esquema de la Bahía de Santa Marta y el DTCHSM en una zona deprimida rodeada por colinas altas conformadas por rocas metamórficas de la FPB [38]. Al fondo se observa la FCO [38] o FTA [33].

0.65 km después de la portería de ingreso al Batallón “José María Córdova” se cruzará el puente sobre el Río Manzanares, el cual nace en la SNSM y atraviesa el DTCHSM en sentido noreste-suroeste, por lo cual es uno de los más contaminados del departamento del Magdalena, y sobre su cauce (en el sector urbano) se pueden apreciar la acumulación de basuras, vertimiento de aguas negras y desechos líquidos en general y la construcción de viviendas extremadamente cerca al cauce del río lo que hace pensar en el peligro que para las partes representa este particular. El

fuerte impacto que se ha generado sobre este afluente ha pasado el umbral de contaminación y ya se han perdido cosas que años atrás existían en este río.

LIG 9. Camellón de Rodrigo de Bastidas

Localización: Intersección entre la carrera 1 y la calle 22, Camellón de Rodrigo de Bastidas en la Bahía de Santa Marta.

Coordenadas: X = 1.734.993; Y = 984.905; Z = 4 msnm

Características: La Fig. 15 ilustra algunos rasgos geomorfológicos observables en la Bahía de Santa Marta. Punta Betín (Fig. 15a) se ha visto deteriorado por la actividad del Puerto de Santa Marta, el cual está localizado en el extremo noroccidental de la ciudad y es considerado en la actualidad como uno de los puertos colombianos más importantes. En sus muelles tiene una intensa actividad mercantil que jalona en gran escala el crecimiento de la ciudad, estableciendo una dinámica comercial que mueve las importaciones y exportaciones. Por otra parte, este es el único puerto de la Costa Atlántica con servicio de ferrocarril, ofreciendo la posibilidad de efectuar cargues y descargues directos en los muelles. El Morro de Santa Marta y El Morrito son pilares que representan extensiones de Punta Betín (Fig. 15b). El primero de ellos vigila silencioso el proceso de llegada y salida de embarcaciones. La Fig. 15c es una panorámica hacia el sur, en donde se observan pequeñas elevaciones montañosas (colinas altas) y la bahía de Santa Marta que brindan una hermosa panorámica del paisaje dentro del cual se encuentra la ciudad, permitiendo descubrir desde una óptica distinta la inmensidad de su belleza. Las imágenes satelitales de las Fig. 15d ilustran el cauce principal del río Manzanares. Aquí se destaca la desembocadura de este río en la Bahía de Santa Marta, la barra de arena paralela a la costa y la vegetación baja que cubre las orillas del cauce. En cercanías a la desembocadura, Guzmán et al. [55] reportan la ocurrencia de depósitos recientes de terraza fluvial, los cuales corresponden al nivel más bajo, estando entre 0.5 y 1.3 m de altura con respecto al río.

El DTCHSM fue fundado el 29 de julio de 1525 por el conquistador español Rodrigo de Bastidas, es la ciudad más antigua existente de Colombia y la segunda más antigua de Suramérica. Es uno de los principales destinos turísticos del Caribe colombiano, y, su ubicación dentro de la SNSM, lo hace atractivo no solo por su rica variedad de fauna y flora sino también por sus sitios culturales e históricos. El Camellón de Rodrigo de Bastidas (Fig. 16a) es uno de los atractivos turísticos más importantes del DTCHSM, ya que es el límite entre este y el Mar Caribe, representando un agradable paseo peatonal que al recorrerlo permite apreciar



Figura 15. Vistas aéreas: (a) Punta Betín, Puerto de Santa Marta y antigua sede del INVEMAR [56]. (b) Vista aérea de Isla El Morro, Punta Betín y Bahía de Santa Marta [56]. (c) Panorámica de la Bahía de Santa Marta [56]. (d) Imagen satelital de la desembocadura del río Manzanares, barra de arena y vegetación baja [57].

Fuente: Los autores.

no solo su belleza sino también la historia que lo acompaña, como quiera que aquí se dio el desembarco de los españoles que iniciaron la fundación de la ciudad. El paseo por el camellón permitirá observar al sur la Marina Internacional de Santa Marta (Fig. 16b) y al norte el Puerto de Santa Marta (Fig. 16c). A lo largo del camellón existen diferentes obras escultóricas en homenaje a la cultura autóctona en alusión a la tradición y herencia de la etnia Tayrona y a los próceres entre las que sobresalen la estatua del fundador y conquistador Rodrigo de Bastidas, en frente de la cual se encuentra la Plaza del Libertador Simón Bolívar (Fig. 16d), sitios de gran atracción turística. Este camellón constituye un rompeolas o malecón, el cual representa una estructura de protección costera conformada por un muro longitudinal marginal y enrocado o acumulación lineal de grandes rocas que se construyó debido a la erosión de la línea costera por acción del oleaje o del clima. La Marina Internacional de Santa Marta es una intervención de la ingeniería sobre una porción de la bahía exactamente al frente de las construcciones que otrora delimitaron por el lado norte la porción de playa que la ciudad tiene frente al camellón. Un espolón (pasaje turístico norte), construido en la Marina Internacional de Santa Marta, fue abierto para el uso público con el fin de mejorar el sector turístico de la ciudad y el departamento. Los turistas podrán recorrer sin restricciones esta zona y gozar de las bellezas que brinda la bahía en plena carrera primera entre las calles 22 y 24 en el centro de Santa Marta. Este tipo de estructuras de protección contribuyen a detener la inestabilidad que se presenta en las playas, evitando que continúe la erosión costera en el tramo intervenido. No obstante, se ha generado un debate en torno a si esta ha tenido alguna influencia en la erosión costera.

LIG 10. Panorámica desde Cerro de Punta Betín

Localización: Cerro de Punta Betín. A este sitio se accede ya sea a través de la portería de acceso de la Sociedad Portuaria de Santa Marta o a lo largo de una vía que parte desde esta portería en dirección a la Ensenada de El Boquerón.

Coordenadas: X = 1.736.483; Y = 984.916; Z = 25 msnm

Características: A este sitio se llegará realizando una corta caminata desde la portería de acceso a la Sociedad Portuaria de Santa Marta (Fig. 17a). Aquí también parte una vía que conduce a la ensenada de El Boquerón. La Fig. 17b ilustra un afloramiento de esquistos talcosos con presencia de mica verde aguamarina, cuya foliación metamórfica es N74°E/85°SE, el cual se encuentra frente a la portería Sociedad Portuaria de Santa Marta. En el Cerro de Punta Betín funcionaba la antigua sede del INVEMAR. Hacia la base del cerro es posible observar una zona acantilada y playas muy estrechas. Desde aquí es posible observar la



Figura 16. (a) Camellón de Rodrigo de Bastidas [58]. (b) Marina Internacional de Santa Marta [59]. (c) Puerto de Santa Marta [59]. (d) Plaza del Libertador Simón Bolívar.

Fuente: Los autores.



Figura 17. Sociedad Portuaria de Santa Marta y antigua sede del INVMAR. Fuente: Los autores.



Figura 18. Rasgos geológicos en el Mirador de Punta Betín. (a-b) Zona acantilada. (c-d) Ensenada El Boquerón, playa de bolsillo y emisario submarino. (e) Acción del oleaje sobre el macizo rocoso y plataforma de abrasión. (f) Caverna. (g) Efecto de la bioerosión sobre el substrato rocoso. (h) *Greenstones* cloríticos. Fuente: Los autores.

actividad que se desarrolla en la Sociedad Portuaria de Santa Marta (Fig. 17c). Por otra parte, desde aquí se obtienen dos excelentes panorámicas; una hacia el occidente, la cual permite observar los pilares de El Morrito y Santa Marta que representan prolongaciones de Punta Betín (Fig. 17d), y una hacia el sur, la cual muestra la Bahía de Santa Marta, dentro de la cual se destaca el atracadero de yates de la Marina Internacional de Santa Marta, ubicado en la zona sur del Camellón de Bastidas.

Una caminata a la Ensenada de El Boquerón (Punta Betín) nos permitirá observar uno de los sitios más espectaculares del paisaje costero. Este LIG representa un excelente mirador para poder observar el modelado costero, en el cual se destacan imponentes acantilados de rocas metamórficas que limitan playas de bolsillo (Fig. 18). Punta Betín es una península rocosa de pendientes escarpadas, ubicada al norte de la Bahía de Santa Marta. Aquí es posible observar acantilados de pendientes casi verticales, así como una pequeña plataforma de abrasión y una pequeña caverna, los cuales son rasgos geomorfológicos característicos en zonas acantiladas. Además, se aprecia una playa elipsoidal o playa de bolsillo, la cual consiste en pequeñas acumulaciones de sedimento no consolidado las cuales son desarrolladas entre salientes rocosas.

El afloramiento presenta varias fracturas por las cuales se infiltraron fluidos que dieron paso a la formación principalmente de 2 familias de venas de las cuales una va paralela a la foliación de la roca y la otra la corta con un ángulo de aprox. 35°. Se pueden medir 2 direcciones de foliación una hacia la saliente N85°W/70°SW y otra hacia la playa N68°W/85°NE (Fig. 19a). Desde este mirador se identifica la unidad geológica caracterizada por la presencia de esquistos calcáreos, esquistos actinolíticos, y en menor proporción esquistos grafitosos. Localmente se observa abundancia de cristales de pirita y anfibolitas grueso granulares (Fig. 19b).

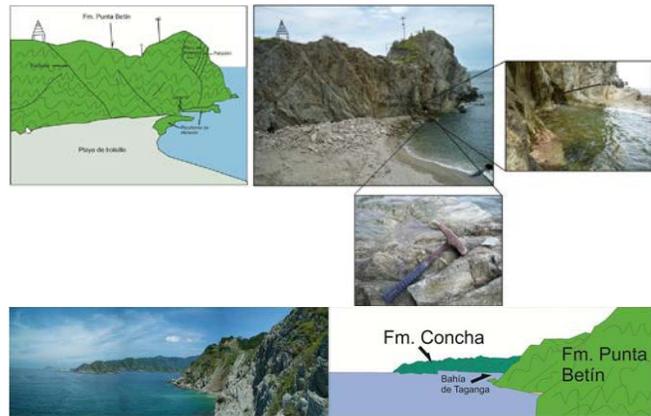


Figura 19. Arriba, Al margen izquierdo de frente al mar en dirección este, un afloramiento de esquistos cloríticos-actinolíticos e ilustración de la FPB, donde se identifica una plataforma de abrasión y el inicio de formación de una caverna por procesos erosivos como resultado de la acción de las olas que socaban la base del acantilado. Abajo, Panorámica e ilustración de algunas playas de bolsillo, al margen derecho a lo lejos parte de la BT y se hace la diferenciación de las formaciones Concha y Punta Betín. Se presenta contaminación por aguas negras y desechos orgánicos. Se propone recuperar el lugar. Fuente: Los autores.

Aquí se observa un acantilado o escarpe litoral de pendiente abrupta que ha sido modelado por la acción de la erosión litoral sobre un macizo de rocas metamórficas (*greenstones* cloríticos, anfibolitas actinolitas de grano muy fino y esquistos talcosos). El perfil de este acantilado muestra una pendiente muy fuerte, terminando en una marcada ruptura de pendiente basal que señala el paso a la plataforma rocosa, que definiría una línea de socavación más o menos profunda y continua a lo largo de la cual se destaca la ocurrencia de una pequeña caverna, la cual se ha desarrollado en los puntos más vulnerables que presenta la roca ya sea por la presencia de un intenso fracturamiento o por la acción violenta del oleaje. La actividad biológica comienza a concentrarse en la planicie y los organismos litófagos (ciertos moluscos que taladran las rocas para vivir en ellas) comienzan a habitar en la base del acantilado, perforando y dando lugar a *socaves*, los cuales son también un gran indicador de las variaciones del nivel del mar, pues la biosfera siempre está concentrada en el punto central del socave, entre las zonas de marea alta y baja. La erosión biológica o bioerosión de acantilados, la cual se manifiesta aquí, es uno de los procesos costeros más importantes que sucede en las costas del Caribe colombiano.

LIG 11. Pliegue anticlinal tumbado

Localización: Barrio Nacho Vives. Ubicados Al margen izquierdo de la vía alterna que conduce al Puerto de Santa Marta, llamada Vía del Ferrocarril, ubicados frente al túnel construido para carros y que conduce a las playas de Santa Marta, en la Carrera 11 con vía Alterna del Ferrocarril.

Coordenadas: X = 1.736.342; Y = 986.031; Z = 18 msnm

Características: Las rocas metamórficas que afloran en este LIG (Fig. 20) corresponden a una alternancia de esquistos cloríticos calcáreos de color verde pálido, esquistos grafitosos de color gris oscuro y esquistos talcosos con clorita y sericita de

color blanco verdoso pálido, cuya foliación metamórfica es N75°W/54°SW. Se presentan numerosas venillas entrecruzadas de magnesita de aprox. 1 mm de espesor. En algunos sectores, se observan numerosas venas de cuarzo de hasta 8 cm de espesor, con costras de oxidación, siguiendo la foliación metamórfica, la cual ha sido replegada desarrollando estructuras de crenulación. Venas de cuarzo lechoso de geometría lenticular o en forma de bolsadas ovaladas y hasta de 20 cm de espesor se disponen también de forma concordante a la estructura de la roca metamórfica. Localmente, cuarzo ahumado desarrolla lentes de 3-30 cm de espesor. El afloramiento presenta diaclasamiento muy pronunciado (N25°E/81°NW) cortándolo casi en rombos. Se presenta sobre el plano axial del pliegue una estructura milonítica, la cual evidencia la presencia de una falla satélite de la Falla de Jordán. No obstante, este sitio constituye un foco de desperdicios el cual presenta contaminación visual y olfativa. Aquí se observa un pliegue anticlinal tumbado de aprox. 10 m de altura cuyo plano axial con rumbo 5°SE y buzamiento 55°SW, el cual se encuentra en la entrada del barrio Pescadito en la vía Alterna del Ferrocarril, en frente del túnel que conduce a la BT. Las rocas se caracterizan por presentar microplegamiento, formando estructura cataclástica, en el flanco izquierdo del anticlinal se observó un color verdoso y venas de cuarzo totalmente alteradas presentando color rojizo, las cuales reaccionan de manera más frágil por su reología. Esta deformación afecta una zona de esquistos talcosos-grafíticos principalmente. Gracias a esta buena exposición es posible observar los esquistos con un buen desarrollo de la S₂, paralelamente a la cual, se observan filones de cuarzo de segregación. Además, se llega a reconocer la estratificación deformada por pliegues muy apretados. El grado de apretamiento es tal que su ángulo entre flancos es de 0°; a estas estructuras se les denominan pliegues isoclinales, es decir, que tienen igual buzamiento de sus flancos. Los pliegues son contemporáneos con la S₂, ya que su plano axial coincide con ella y están tan apretados que sus flancos se han adelgazado hasta llegar a desaparecer. Por su parte, las charnelas de los pliegues se encuentran engrosadas.

LIG 12. Alto de Taganga

Localización: Alto de Taganga, sobre la vía que conduce de Santa Marta a Taganga.

Coordenadas: X = 1.736.724; Y = 987.005; Z = 91 msnm

Características: Este LIG presenta importantes rasgos geológicos (Fig. 21). Aquí se observa un afloramiento caracterizado por la presencia de esquistos cloríticos (verde oscuro) y talcosos (verde pálido) dentro de los cuales se encuentran cuerpos de anfibolita (Fig. 21a), cuya foliación



Figura 20. Anticlinal tumbado y rasgos geológicos asociados. Fuente: Los autores.

metamórfica es N70°W/70°SW, la cual, sin embargo, varía debido al replegamiento e intenso fracturamiento al que han sido afectadas estas rocas. Los esquistos cloríticos presentan una foliación metamórfica de aspecto anastomosado con presencia de venas de cuarzo de geometría lenticular; unas numerosas y de poco espesor (hasta 1.5 cm) y otras escasas de hasta 10 cm de espesor. En el contacto entre estas últimas y las rocas en las que están encajadas se concentran agregados hojosos de mica de color verde aguamarina (Fig. 21b). Desde aquí parte un pequeño ramal a donde se llega a un sitio donde Metroaguas S.A. de Santa Marta esta construyendo un gigantesco colector de aguas lluvias que recoge el agua de los barrios marginales que por supuesto no tienen alcantarillado, lo cual ha generado un debate en la población de Taganga, como quiera que se descargarían aguas negras en la BT, generando un gran impacto ambiental. Una panorámica aquí (Fig. 21c) permitiera observar la Bahía de Santa Marta, así como el paisaje característico definido por una zona plana en medio de un relieve escarpado. La zona plana corresponde a la parte baja de la cuenca del río Manzanares dominada por una terraza fluvial y sobre la cual se encuentra gran parte del DTCHSM [55]. Al fondo se observan colinas altas (unidades estructurales, definidas por estos autores) del Cerro Ziruma. Por otra parte, aquí se observa una alternancia de esquistos cloríticos y talcosos de color verde grisáceo pálido con intercalación de anfibolitas que presentan una geometría lenticular e intenso fracturamiento, asociado al trazo de la Falla de Taganga; estas presentan una estructura masiva y textura granular gruesa (Fig. 21d). Estas rocas presentan además numerosas venas de magnesita de aspecto ocre blanco amarillento que rellenan superficies de fractura de forma irregular que cortan a diferentes ángulos (Figs. 21e-21f). Localmente, se observan lentes de cuarzo ahumado. Los esquistos cloríticos se caracterizan por presentar una foliación metamórfica bien definida en la que se destaca una alta concentración de mica de color verde aguamarina adyacente a venas de cuarzo de geometría lenticular y hasta 20 cm de espesor, las cuales cortan a bajo ángulo la foliación metamórfica (Figs. 21g-21h).



Figura 21. (a) Esquistos cloríticos y talcosos dentro de los cuales se encuentran cuerpos de anfibolita. (b) Vena de cuarzo siguiendo la foliación metamórfica de esquistos cloríticos. Obsérvese la concentración de agregados hojosos de mica de color verde aguamarina adyacente a la vena. (c) Panorámica de la Bahía de Santa Marta. (d) Anfibolitas que presentan una geometría lenticular e intenso fracturamiento. (e-f) Venas de magnesita cortando anfibolitas. (g-h) Esquistos cloríticos mostrando una alta concentración de mica de color verde aguamarina. Fuente: Los autores.

LIG 13. Mirador de Taganga

Localización: Sobre la vía que conduce de Santa Marta a Taganga.

Coordenadas: X = 1.737.054; Y = 987.059; Z = 76 msnm

Características: Desde este mirador se contempla una magnífica panorámica de la BT (Fig. 22), con un complejo sistema de ensenadas y acantilados rocosos, que hoy dan vida a un paradisíaco paisaje, la cual se encuentra protegida de los fuertes vientos alisios del norte y en su morfología se pueden apreciar varias ensenadas de tamaño mediano-pequeño en su parte Norte, contrario a lo que ocurre en la parte Sur de la Bahía donde no se observan ensenadas de tamaño considerable, hecho que puede estar posiblemente relacionado con los vientos del Norte. Sobre el margen derecho de la vía se observa un afloramiento de filitas grafitosas, las cuales presentan un fuerte replegamiento (estructura de crenulación) y presencia de numerosas venas de carbonato. Estas rocas muestran una estructura milonítica, lo que sugiere el trazo de una falla, también muestra venas de cuarzo y en especial algunas que siguen fracturas las cuales están rellenas también por carbonatos. Se observan venas de cuarzo de 10 cm de espesor concordantes con la dirección de foliación la cual es N62E/64SE, sin embargo, también se presentan perpendiculares con espesores de 5 cm. Se destaca la presencia de una vena con contenido de siderita, limolita y magnesita. Siguiendo la dirección de la familia de diaclasas más predominante N74°W/35°SW; otra familia es N62°E/64°SE.

Dentro de los rasgos geomorfológicos que ocurren en la BT se destaca la Falla Taganga, las facetas triangulares y el abanico aluvial sobre el que está asentado Taganga (Fig. 23). La Falla de Taganga es una falla inversa de alto ángulo con rumbo aproximado de N75°E/85°E con una variación a N40°E/42°E cerca de Santa Marta, la cual se caracteriza por producir un fenómeno de carbonatación bastante extendido en las filitas, al igual que milonización y cataclasis en ellas. Igualmente es una falla que se extiende hasta Santa Marta y en la zona de Taganga esta oculta por el cuaternario y haría parte de una estribación de la falla de Jordán. Se encuentran rocas fuertemente serpentinizadas y carbonatadas, con formación de grandes cristales de epidota. En el área de influencia de esta falla es considerable la presencia de talco. El relieve generado por esta falla está comprendido desde facetas triangulares, alineación de domos, colinas aserradas, laderas de alta pendiente y una excelente cuenca hídrica en épocas de lluvia. El abanico aluvial representa un depósito de detritos clásticos, de forma cónica, el cual se ha desarrollado en una zona aledaña a las porciones que delimitan los escarpes de altos morfológicos, en donde el



Figura 22. Panorámica de Taganga desde donde se pueden identificar los distintos aspectos geomorfológicos que demarcan las FTA [33] o FCO [38] su alrededor y la actividad turística en torno a ello como el Cerro Punta la Vaca, la Playa la Vaca y Playa la Baoa.

Fuente: Los autores.



Figura 23. Panorámica de Taganga donde se observa la Falla de Taganga, abanico aluvial, facetas triangulares y deslizamientos.

Fuente: Los autores.

aporte de sedimentos es mucho mayor y las corrientes son confinadas a valles angostos que se tienen dentro de una cuenca adyacente.

LIG 14. BT

Localización: El acceso a la BT se lleva a cabo a través de la única vía terrestre, que comunica en tan solo 15 minutos en vehículo al centro de Santa Marta con Taganga pasando por el barrio Pescadito, la cual se desprende a partir de la intersección entre la Avenida Alternativa que conduce al Puerto de Santa Marta y la carrera 9A.

Coordenadas: X = 1.737.988; Y = 987.348; Z = 3 msnm

Características: A lo largo del malecón se emprende una caminata en dirección noroeste en donde se encontrará una típica costa acantilada. La acción del mar en las rocas que afloran aquí es de resaltar, ya que acentúa los efectos producidos por la estructura de la roca metamórfica y su diaclasamiento y meteorización, lo cual es claramente observable en los acantilados a lo largo de la línea de costa. En norte hacia la Isla de La Aguja, fuera del área de estudio, es posible apreciar en diferentes sectores algunas geoformas de erosión marina, manifestadas como pequeños promontorios, pilares, arcos, cavernas, los dos últimos generados como consecuencia de la influencia mecánica de las olas sobre segmentos de rocas que muestran zonas débiles desde el punto de vista estructural y litológico. Además de los acantilados y a lo largo de la línea costera se presentan de manera alternante playas. La Fig. 24a ilustra un ejemplo de la zona acantilada y playa rocosa que se observa al norte de Taganga. El acantilado en este sitio ha sido labrado en esquistos cloríticos; obsérvese la ocurrencia de bloques caídos (Fig. 24b). Cuerpos de anfibolita de geometría lenticular son cortados por numerosas venas de magnesita (Fig. 24c) Plegamiento en esquistos cloríticos. Los esquistos cloríticos muestran un fuerte plegamiento (Fig. 24d). Estos presentan dos foliaciones: la más penetrativa (S_1) se encuentra intensamente plegada y cortada por otra foliación, más espaciada, posterior (S_2) que da lugar al microplegamiento de la S_1 ; paralelamente a la S_1 se observan delgados niveles de cuarzo que resultan de la segregación de este mineral (Fig. 24e). Diques de composición intermedia (andesita) ocurren localmente concordante con la foliación metamórfica de los esquistos cloríticos (Fig. 24f). La secuencia metamórfica aflorante presenta una esquistosidad S_2 bien desarrollada, la cual aparece deformada por pliegues

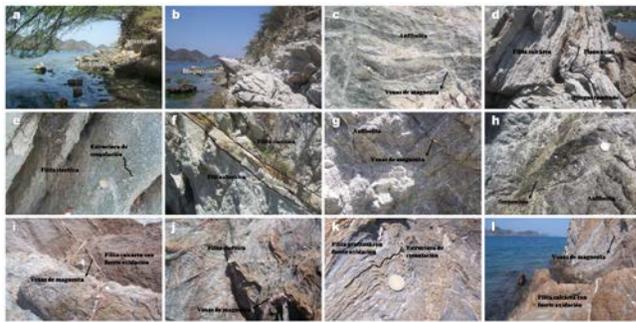


Figura 24. (a) Acantilado y playa rocosa. (b) Acantilado labrado en esquistos cloríticos y bloques caídos. (c) Anfibolita cortada por numerosas venas de magnesita. (d) Plegamiento en esquistos cloríticos. (e) Estructura de crenulación en esquistos cloríticos. (f) Dique andesítico concordante con la foliación metamórfica de los esquistos cloríticos. (g) Anfibolita gris granular cortada por venas de magnesita. (h) Serpentina en fragmentos angulares dentro de anfibolita. (i) Dos generaciones de venas de magnesita cortando esquistos cloríticos con fuerte oxidación. (j) Venas de magnesita plegadas con la foliación de los esquistos cloríticos. (k) Estructura de crenulación en esquistos grafitosos. (l) Venas de magnesita cortando esquistos cloríticos con fuerte oxidación.
Fuente: Los autores.

que llevan asociado un clivaje de crenulación S_3 . Dentro de esta secuencia es común encontrar intercalaciones de cuerpos de anfibolita de grano grueso, constituidas principalmente por plagioclasa y anfíbol, de geometría lenticular, las cuales presentan numerosas venas de magnesita cortan esta roca (Fig. 24g). Localmente es posible observar pequeños cuerpos de serpentina dentro de la anfibolita, los cuales presentan una coloración verde oscura y aspecto fragmental (Fig. 24h). Es común observar diferentes generaciones de venas hidrotermales algunas de las cuales son concordantes con la foliación de la roca metamórfica, y otras la cortan en diferentes direcciones (Fig. 24i). Un plegamiento en esquistos cloríticos ha afectado igualmente algunas venas de magnesita paralelas a la foliación metamórfica (Fig. 24j). Dentro de la secuencia metamórfica se observan localmente esquistos grafitosos exhibiendo estructura de crenulación y numerosas venas de cuarzo concordantes con la foliación metamórfica (Fig. 24k). Estas rocas presentan una fuerte oxidación y numerosas venas de magnesita (Fig. 24l).

Desde esta zona acantilada se observa una panorámica hacia el sur de la BT en donde se aprecia el Mirador de Taganga y al fondo a la derecha el Morro de Santa Marta (Fig. 25). Las rocas metamórficas que afloran en los alrededores de Taganga están representadas por rocas metabásicas (esquistos actinolíticos y cloríticos, localmente grafitosos) con geometría anastomosada y abundantes venas de cuarzo y calcita y/o magnesita, generalmente plegadas, concordantes con la foliación metamórfica. Estas rocas están en contacto intrusivo y en ocasiones aparentemente fallado con cuerpos de anfibolita de geometría lenticular. Se encuentran otros tipos de roca, aunque en menor proporción, anfibolitas de grano muy fino y esquistos talcosos. Es de resaltar la presencia de unas rocas masivas, pero ligeramente esquistosas, de grano medio a grueso, porfirítica, matriz cuarzofeldespática y fenocristales de un mineral negro,

hojoso de hábito prismático, el cual no fue identificado, sin embargo, es necesario resaltarlo, ya que se observa en este sector. Algunas rocas filíticas son calcáreas y contienen más clorita que sericita. La expresión geomorfológica de la unidad es muy característica debido a su foliación bien desarrollada, mucho más que la de los esquistos, además, es muy característico el color de alteración en sus taludes. Está afectada por diques de composición granodiorítica y textura fanerítica equigranular. También se encuentran metaigneos de los cuales es difícil determinar la relación genética. La Falla de Taganga es una falla inversa de alto ángulo con rumbo aproximado de $N75^\circ E/85^\circ SE$ con una variación a $N40^\circ E/42^\circ SE$, cerca de Santa Marta. Se caracteriza por producir un fenómeno de carbonatación bastante extendido en las filitas, al igual que milonitización y cataclasis en ellas. Se encuentran rocas fuertemente serpentizadas y carbonatadas, con formación de grandes cristales de epidota. En el área de influencia de esta falla es considerable la presencia de talco. Yacimientos de talco han sido reportados en los alrededores, los cuales están restringidos en forma de lentes en rocas metamórficas de las FTA. Este **LIG** se caracteriza por presentar cuerpos de anfibolita asociados a filitas calcáreas, afectadas por venas de cuarzo de espesores de 0.5-1 cm y de 5-10 cm que siguen un mismo patrón de diaclasamiento. Aquí, se pueden observar especies animales como erizos y peces de diferentes colores, debido a la transparencia del agua y además la actividad turística que se lleva a cabo en estas playas. Depósitos de playa ocurren aquí, los cuales son característicos para el Mar Caribe. Estos se caracterizan por presentar niveles de arenas finas de color gris y arcillas de color amarillo pardo, así como delgados niveles calcáreos, grietas de desecación en planos de estratificación y estratificación cruzada principalmente en las capas arenosas [60], son algo estratificados, semiconsolidados y semihorizontalizados. La edad de estos depósitos ha sido asignada al Holoceno [33].

La dinámica de turismo, pesquerías y fenómenos atmosféricos hacen de Taganga un sitio particular en cuanto a su riqueza marina (Fig. 26), aunque la acción antrópica impacta en el desarrollo de las comunidades marinas, y la mayoría de las ensenadas a las que se hace referencia en esta investigación se mantienen principalmente del turismo. En esta zona se presentan bosques subxerófilos de clima tropical seco con especies que poseen gran cantidad de espinas (arbustos, trupillos, cactáceas y tunas). En sitios con mayor humedad, estas comunidades se mezclan con árboles perennifolios.



Figura 25. Panorámica donde se observa el Mirador de Taganga, y al fondo a la derecha el Morro de Santa Marta.
Fuente: Los autores.

La belleza paisajística que presenta la BT y su playa hace de este lugar un sitio de gran atracción turística en donde se practica buceo o snorkel, lo cual permite admirar la fascinante variedad de corales y, por supuesto, de peces de diferentes colores, entre otras especies marinas. Durante la caminata podrás observar el paisaje y la perfecta combinación entre vegetación, vida caribeña y un inmenso cielo azul. Uno de los atractivos turísticos que presenta Taganga, a parte de su belleza natural y ubicación geográfica, es el malecón, en el cual se encuentran ubicados restaurantes de comida típica a base de los frutos del mar. Aquí, se reúnen artesanos que elaboran artesanías o elementos típicos con distintos colores y diseños para toda clase de gustos. Desde Taganga es posible tomar una lancha o realizar una caminata hacia Playa Grande. Por otra parte, Taganga constituye una de las más importantes estaciones de buceo del Caribe colombiano, como quiera que, gracias a sus hermosos arrecifes de coral, el buceo es uno de los principales deportes que allí se practica, ya que existe una gran variedad de fauna y flora marina con aguas transparentes que permiten la vista a paisajes encantadores. No obstante, a pesar de ser visitada por extranjeros, Taganga no cuenta con la infraestructura necesaria que permita prestar un excelente servicio para satisfacer las necesidades de estos. En la BT se ha venido desarrollando un turismo incipiente generando un fuerte impacto en el medio ambiente principalmente como consecuencia de la falta de planificación urbanística y la incontrolada de árboles.

6. Conclusiones

La PGSM posee un magnífico patrimonio geológico. Este patrimonio, unido al biológico, arqueológico, histórico y etnológico, forma parte de nuestro patrimonio cultural. Es deber de Administraciones Públicas, Centros de Investigación y Universidades, naturalistas, ecologistas, periodistas, educadores, entre otros, ejercer acciones para conocer, proteger, difundir y poner en valor su patrimonio geológico. Los LIGs que pertenecen a la PGSM presente importancia petrográfica, estratigráfica, estructural, geomorfológica, entre otros. No obstante, hay mucho trabajo por hacer. Entre otros, es imprescindible desarrollar, ante la nueva situación legislativa, un proyecto de investigación específico de un inventario detallado del patrimonio geológico de esta provincia geotectónica. Este proyecto debería ser complementado con otro de puesta en valor de aquellos LIGs



Figura 26. (a) Panorámica de la BT [56]. (b) Playa de Taganga. Fuente: Los autores (c) Geoformas características. Fuente: Los autores. (d) Atardecer en Taganga. Fuente: Los autores. (e) Actividad turística. Fuente: Los autores. (f) Lancheros. Fuente: Los autores (g). Pez león y arrecifes de coral [61]. (h) Alfombras algales. Fuente: Los autores.

que tengan suficiente potencial para integrarse en la divulgación del patrimonio cultural y natural de la región, especialmente en los entornos rurales. La educación es, con diferencia, la principal herramienta para conseguir que este patrimonio geológico forme, tal y como ocurre en otros países del mundo, parte de nuestro Patrimonio Natural. Este trabajo pretende despertar la conciencia y el interés a diferentes instancias a fin de preservar nuestro patrimonio natural, del que forma parte inseparable el patrimonio geológico, lo cual representa un acto de generosidad hacia las futuras generaciones.

Agradecimientos

Queremos agradecer a las personas e instituciones que han hecho que este trabajo fuese una realidad. En primer lugar, a la Universidad Industrial de Santander, entidad que brindo el soporte financiero para el desarrollo de trabajos de campo durante 2 años en la franja costera comprendida entre el AISB y la BT, y estudiantes de la Escuela de Geología de esta institución, lo cual permitió la recolección del material geológico objeto de nuestras investigaciones. Agradecimientos especiales al personal del INVEMAR, particularmente al Director General Francisco A. Arias Isaza y a los geólogos Georgina Guzmán, Blanca Posada, Nelson Rangel, Javier Idárraga, David Morales, Juan Gómez, Dalmiro Gámez, por su colaboración, constructivos comentarios y discusiones. Los autores están más que agradecidos con las personas e instituciones mencionadas con anterioridad por el apoyo que nos brindaron.

Referencias bibliográficas

- [1] Villalobos, M., Estrategias en la protección del patrimonio geológico andaluz. En Medio Ambiente 37, Consejería de Medio Ambiente, Sevilla, 2001, pp. 36-39.
- [2] Carcavilla, L., Durán, J.J. y López-Martínez, J., Geodiversidad: Concepto y relación con el patrimonio geológico. VII Congreso Geológico de España, 2008, pp. 1299-1303.
- [3] Serrano, E. y Ruiz-Flaño, P., Geodiversidad: Concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tierras Caracena (Soria). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 45, pp. 79-98, 2007.
- [4] Serrano, E. and Ruiz-Flaño, P., Geodiversity. A theoretical and applied concept. Geographica Helvetica, 3, pp. 140-147, 2007.
- [5] Gordon, J.E., Dvořák, I.J., Jonasson, C., Josefsson, M., Kociánová, M. and Thompson, D.B.A., Geo-ecology and management of sensitive montane landscapes. Geografiska Annaler, 84, pp. 193-203, 2002. DOI: 10.1111/j.0435-3676.2002.00174.x
- [6] Gray, M., Geodiversity: Developing the paradigm. Proceedings of the Geologists' Association, 119, pp. 287-298, 2008.
- [7] Ruban, D.A., How diverse should be geodiversity? Reply to Knight "Evaluating geological heritage". Proceedings of the Geologists' Association, 122(3), pp. 511-513, 2011.
- [8] Voth, A., Cambios en las políticas de espacios naturales protegidos y desarrollo sostenible. Actas XX Congreso de Geógrafos Españoles, Comunicación, Sevilla, pp. 3-30, 2007.
- [9] Fernández, J.M. y Guirado, J., Geodiversidad y patrimonio geológico en Andalucía. Medio Ambiente 37, Consejería de Medio Ambiente, Sevilla, pp. 24-33, 2001.
- [10] Villalobos, M., Braga, J.C., Guirado, J. y Pérez, A.B., El inventario Andaluz de georecursos culturales: Criterios de valorización. De Re Metallica, 3, pp. 9-21, 2004.

- [11] Consejería de Medio Ambiente. Propuesta de estrategia Andaluza para la conservación de la geodiversidad. Junta de Andalucía, Universidad de Granada, 2003.
- [12] Wimbledon, W.A., Gerasimenko, N.P., Karis, L.O., Suominen, V., Johansson, C.E. y Freden, C., Proyecto GEOSITES, una iniciativa de la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS). La Ciencia respalda por la conservación. En: Baretino, D., Wimbledon, W.A.P. y Gallego, E. (Eds.), Patrimonio Geológico: Conservación y gestión. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, 2000, pp. 73-100.
- [13] Palacio-Suárez, J., Patrimonio geológico. Aspectos metodológicos - Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible (Soria). Ministerio de Medio Ambiente. Serie Monografías, pp. 11-21, 1999.
- [14] Cobiella-Reguera, J.L. y Cruz-Gámez, E.M., Geocuba. Espacios naturales y geología cubana – Monografías de enseñanza de las ciencias de la tierra, Serie Itinerarios 1. David Brusí, AEPECT (Ed.), Girona, 1999.
- [15] Alfaro, P., Andreu, J.M., González, J., González, M., López, F.J. y López, J.A., Itinerario geológico de la Cordillera Bética. Junta de Andalucía. Colegio Oficial de Biólogos y Caja de Ahorros del Mediterráneo, 1999.
- [16] Alfaro, P., Andreu, J.M., Delgado, J., Estévez, A., García, E., López-Arco, M., Rodríguez, M., Soria, J.M. y Yébenes, A., Itinerarios geológicos por el litoral de la provincia de Alicante. Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad de Alicante, España, 1999.
- [17] Alfaro, P., Andreu, J.M., Estévez, A., López-Arco, M., Soria, J.M., Yébenes, A., Castro, J.M., González-Fernández, J., González-Herrero, M., López-Gómez, F.J. y López-Martín, J.A., Itinerario geológico litoral entre Benidorm y Calpe (provincia de Alicante). Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad de Alicante, España, 1999.
- [18] Alfaro, P., Andreu, J.M., Estévez, A., Pina, J.A. y Yébenes, A., Itinerarios geológicos por la Provincia de Alicante para su utilización en Bachillerato. Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad de Alicante, España, 2004.
- [19] Alfaro, P., Andreu, J.M., Estévez, A., López-Arco, M., Martín, I., Martín-Martín, M. y Tent-Manclús, J.E., Patrimonio geológico urbano de Alicante. En: Guillén-Mondéjar, F. y Del Ramo, A. (Eds.), El patrimonio geológico: Cultura, turismo y medio ambiente. Actas V Reunión Nacional de la Comisión de patrimonio Geológico, S.G.E., pp. 59-66, 2004.
- [20] Domingo, M., Bordonau, J., Ambrós, S., Molina, D., Pocovía, A., Lacasa, A., Martínez, A., Mata, R., Espuny, J., Rispa, J.M. y Vehí, M., Geopirineos. espacios naturales y geología pirenaica. Sector central y centrooriental – Monografías de Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Serie Itinerarios 2. David Brusí, AEPECT (Ed.), Girona, 2000.
- [21] García-Ramos, J.C., Pinuela, L., Lires, J. y Fernández, L.A., Patrimonio geológico del Jurásico asturiano. Itinerarios por los yacimientos de icnitas de dinosaurios. En: Guillén-Mondéjar, F. y Del Ramo, A. (Eds.), El patrimonio geológico: Cultura, turismo y medio ambiente. Actas V Reunión Nacional de la Comisión de patrimonio Geológico, S.G.E., pp. 85-92, 2004.
- [22] García-Ramos, J.C., Piñuela, L. y Lires, J., Guía del Jurásico de Asturias. Zinco Comunicación, Gijón, 2004.
- [23] Bastogi, M., Bentivenga, M., Brancucci, G., Canessa, A., Caputo, R., De Lotto, A., Di Gregorio, F., Fiore, A., Geremia, F., Lena, G., Lorè, A., Lunardi, F., Massoli-Novelli, R., Medaglia, S., Paliaga, G., Piedilato, S., Prosser, G. and Simone, O., Geomorphological sites aimed at becoming geological itineraries in Friuli-Venezia Giulia, Liguria, Tuscany, Marche, Abruzzo, Puglia, Basilicata, Calabria, Sardinia, Sicily. In: Panizza, V. (Eds.), Geomorphologic sites: Assessment and mapping. Workshop Proceedings, Cagliari, Italy, 2003.
- [24] Geremia, F. and Massoli-Novelli, R., The circumnavigation of the Island of Lipari to discover the coastal geomorphosites of volcanic origin (Aeolian Islands, Italy). In: Panizza, V. (Eds.), Geomorphological sites: Assessment and mapping. Workshop Proceedings, Cagliari, Italy, pp.67-68, 2003.
- [25] Geremia, F., Muscolini, E. and Randazzo, G., Geotourism as opportunity to develop a new “niche marketing” in Taormina area (Messina, Italy). In: Panizza, V. (Eds.), Geomorphological sites: assessment and mapping. Workshop Proceedings, Cagliari, Italy, pp.65-66, 2003.
- [26] Gregori, L. and Melelli, L., The geomorphosites in Umbria region: A final inventory. Geological and Geomorphological characteristics and relations with tourist request. In: Panizza, V. (Eds.), Geomorphological sites: Assessment and mapping. Workshop Proceedings, Cagliari, Italy, p. 69, 2003.
- [27] Brook, G.A., A new approach to the study of inselberg landscapes. In: Bremer H. and Jennings J. (Eds.), Inselbergs. Zeitschrift fuer Geomorphologie Supplementband, 31, pp. 138-160, 1978.
- [28] Orrú, P., Panizza, V. and Ulzega, A., Geodiversity and sustainable tourism: Protection and improvement of the submarine geomorphosites in the marine protected area of capo Carbonara (Sardinia, Italy). In: Panizza, V. (Eds.), Geomorphological sites: assessment and mapping. Workshop Proceedings, Cagliari, Italy, pp. 80-81, 2003.
- [29] Savelli, D., Nesci, O., Diligenti, A. and Stella, B., Geomorphologic itineraries in the geomorphosite of Monti del Furlo (Northern Marche Apennines). In: Panizza, V. (Ed.), Geomorphological sites: Assessment and mapping. Workshop Proceedings, Cagliari, Italy, pp.87-88, 2003.
- [30] Castellanos, O.M. y Ríos, C.A., Itinerario geológico del basamento cristalino en la región suroccidental del macizo de Santander. Editorial Java. ISBN 978-958-98060-9-8, 2008, 93P.
- [31] Bustamante, C., Cardona, A., Saldarriaga, M., García-Casco, A., Valencia, V. y Weber, M., Metamorfismo de los esquistos verdes y anfibolitas pertenecientes a los Esquistos de Santa Marta, Sierra Nevada de Santa Marta (Colombia): ¿Registro de la colisión entre el arco Caribe y la margen Suramericana? Boletín de Ciencias de la Tierra, 25, pp. 7-26, 2009.
- [32] Tschanz, C.M., Marvin, R.F., Cruz, B. J., Mehnert, H.H. and Cebula, G.T., Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia. Geological Society of America Bulletin, 85, pp. 273-284, 1974. DOI: 10.1130/0016-7606(1974)85<273:GEOTSN>2.0.CO;2
- [33] Tschanz, C.M., Marvin, R.F. y Cruz, B., Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia - Informe 1829. INGEOMINAS, Bogotá, 1969.
- [34] Restrepo-Pace, P.A., Ruiz, J., Gehrels, G. and Cosca, M., Geochronology and Nd isotopic data of Grenville-age rocks in the Colombian Andes: New constraints for late Proterozoic-Early Paleozoic paleocontinental reconstructions of the Americas. Earth and Planetary Science Letters, 150, pp. 427-441, 1997.
- [35] Ordóñez, O., Caracterização isotópica Rb-Sr e Sm-Nd dos principais eventos magmáticos nos Andes Colombianos. Tesis de Doctorado (inédita). Universidad de Brasilia, Brasil, 2001, 176P.
- [36] Cordani, U.G., Cardona, A., Jiménez, D.M., Liu, D. and Nutran, A.P., Geochronology of Proterozoic basement inliers in the Colombian Andes: Tectonic history of remnants of a fragmented Grenville belt. In: Vaughan, A.P.M., Leat, P.T. and Pankhurst, R.J. (Eds), Terrane processes at the margins of Gondwana. Geological Society of London, Special Publications, 246, pp. 329-346, 2005.
- [37] Cardona, A., Cordani, U.G. and MacDonald, W.D., Tectonic correlations of pre-Mesozoic crust from the northern termination of the Colombian Andes, Caribbean region. Journal of South American Earth Sciences, 21, pp. 337-354, 2006. DOI: 10.1016/j.jsames.2006.07.009
- [38] Doolan, B.L., The structure and metamorphism of the Santa Marta area Colombia, South America. PhD. Dissertation, N.Y. State Univ., Binghamton, N.Y., USA, 1970.
- [39] Cardona, A., Valencia, V., Bustamante, C., García-Casco, A., Ojeda, G., Ruiz, J., Saldarriaga, M. and Weber, M., Tectonomagmatic setting and provenance of the Santa Marta Schists, northern Colombia: Insights on the growth and approach of Cretaceous Caribbean oceanic terranes to the South American continent. Journal of South American

- Earth Sciences, 29, pp. 784-804, 2010. DOI: 10.1016/j.jsames.2009.08.012
- [40] MacDonald, W.D., Doolan, B.L. and Cordani, U.G., Cretaceous-Early Tertiary Metamorphic K-Ar age values from South Caribbean. *Geological Society of America Bulletin*, 82, pp. 1381-1388, 1971.
- [41] Davis, Jr., R.A., Regional coastal morphodynamics along the United States Gulf of Mexico. *Journal of Coastal Research*, 13, pp. 595-604, 1997.
- [42] Duque-Caro, H., Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú - San Jacinto en el Noroccidente de Colombia. *Boletín Geológico Ingeominas*, 27, pp. 1-29, 1984.
- [43] Vernet, G., Maufret, A., Briceño, L. and Gayet, J., Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian margin. *Tectonophysics*, 202, pp. 335-349, 1992. DOI: 10.1016/0040-1951(92)90118-P
- [44] Codignotto, J.O. Geomorfología y dinámica costera. El mar Argentino y sus recursos pesqueros, 1, pp. 89-105, 1997.
- [45] Google Earth. [ONLINE]. [date of reference June 21th of 2014]. Available at: <http://earth.google.com>
- [46] Idárraga, J., Posada, B.O. y Guzmán, G., Geomorfología de la zona costera adyacente al piedemonte occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta entre los sectores de Pozos Colorados y el río Córdoba, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40 (1), pp. 41-58, 2011.
- [47] Prude, T.M. and Edmunds, P.J., Interactions between small scleractinian corals and algal turf: consequences for coral physiology. *International Conference on Scientific Aspects of Coral Reef Assessment, Monitoring and Restoration*, NCRI, Nova Southeastern Univ., Dania, USA: 158, 1999.
- [48] McCook, L.J., Effects of herbivores and water quality on Sargassum distribution on the Central Great Barrier Reef: Cross - shelf transplants. *Marine Ecology Progress Series*, 139, pp. 179-192, 1996. DOI: 10.3354/meps139179
- [49] Mejía, H.P., Santa, E.M., Ordóñez, C.O. y Pimentel, M., Consideraciones petrográficas, geoquímicas y geocronológicas de la parte occidental del Batolito de Santa Marta. *DYNA*, 75, pp. 223-236, 2008.
- [50] Duque-Trujillo, J.F., Orozco, T., Cardona, A., Ferrari, L., Ruiz, J. y Valencia, V., El Batolito de Santa Marta, Colombia. Registro de la instalación de una zona de subducción Paleógena de la Placa Caribe bajo la Placa Samericana. *Geos* 28(2), Sesión Regular: Geoquímica y Petrología, GEOQP-15 CARTEL, 2008.
- [51] González, G., Mecanismo y profundidad de emplazamiento del Plutón de Cerro Cristales, Cordillera de la Costa, Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 26, pp. 43-66, 1999. DOI: 10.4067/S0716-02081999000100003
- [52] Mancera, J.E., Caracterización ecológica de la salina artificial Pozos Colorados, Caribe Colombiano. *Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betin*, 19-29, pp. 121-138, 1989.
- [53] Rangel, N., Contribución antropogénica a los cambios geomorfológicos y evolución reciente de la costa Caribe Colombiana. *Revista Gestión y Ambiente*, 12, pp. 43-56, 2009.
- [54] Prah, H. y Cantera, Jr., Bioerosión en formaciones terciarias del Pacífico colombiano. Resúmenes XXI Congreso Nacional de Ciencias Biológicas ACCB, Cali: 25, 1986.
- [55] Guzmán, G., Posada, B.O., Idárraga-García, J. y Henao, W., Evaluación preliminar de las amenazas naturales en la cuenca del río Manzanares con énfasis en eventos fluvio-torrenciales. Informe Final de Investigación INGEOMINAS-ECOPETROL-INVEMAR, 2008.
- [56] Mi linda Santa Marta. [en línea]. [consultado en: diciembre 1 de 2014]. Disponible en: <http://milindasantamarta.blogspot.com/search/label/taganga>.
- [57] Google Earth. [online]. [date of reference May 1th of 2015]. Available at: <http://earth.google.com>
- [58] Cruceiro Restaurant. [online]. [date of reference July 1th of 2015]. Available at: <http://www.cruceirorestaurant.es.tl/Ubicaci%F3n.htm>.
- [59] Ministerio de Comercio. [online]. [date of reference February 2nd of 2015]. Available at: <http://www.cruceirosok.es/page/43/>
- [60] Hernández, M., Geología de las planchas 11 Santa Marta y 18 Ciénaga. Ministerio de Minas y Energía, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear INGEOMINAS, 1996.
- [61] Corales sin identificar. [online]. [date of reference January 31st of 2014]. Available at: http://www.tayrona.org/taganga_fauna_marina/corales_taganga_sin_identificar/corales_sin_identificar.html

J.A. Sáenz-Reyes, obtuvo su título de Geólogo en 2011 de la Universidad Industrial de Santander (Colombia). Actualmente se desempeña como Geólogo de registro en Weatherford.
ORCID: 0000-0002-6674-370X

C.A. Ríos-Reyes, obtuvo su título de Geólogo en 1989 y de Esp. en Docencia Universitaria en 1995 de la Universidad Industrial de Santander (Colombia). La Universidad de Shimane (Japón) le otorgó el título de MSc. en Geología en 1999. La Universidad de Wolverhampton (Inglaterra) le otorgó el título de Dr. en Ciencias Aplicadas en 2008. Ha trabajado como profesor de tiempo completo de la Escuela de Geología (Universidad Industrial de Santander, Colombia) desde 1992. Es especialista en mineralogía, mineralogía experimental y ambiental, petrología y geoquímica de rocas metamórficas.
ORCID: 0000-0002-3508-0771

O.M. Castellanos-Alarcón, obtuvo su título de Geólogo en 1999 de la Universidad Industrial de Santander (Colombia). La Universidad de Shimane (Japón) le otorgó el título de MSc. en Geología en 2001. Actualmente, es candidato a Dr. en Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia. Ha estado trabajando como profesor de tiempo completo del Programa de Geología (Universidad de Pamplona, Colombia) desde 2003. Es especialista en mineralogía, mineralogía experimental, petrología y geoquímica de rocas metamórficas.
ORCID: 0000-0003-0620-0540