

DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ISLAS DE PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA

GEOLOGICAL DESCRIPTION AND INTERPRETATION OF PROVIDENCIA AND SANTA CATALINA ISLANDS

YENNIFER ÁLVAREZ-GUTIÉRREZ.

Ing Geólogo. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. yalvarezg@unal.edu.co

CAROLINA AMAYA-LÓPEZ.

Est Ing. Geológica. Universidad Nacional de Colombia; camayal@unal.edu.co

LAURA NATALIE BARBOSA-MEJÍA

Ing. Geólogo. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. lnbarbosam@unal.edu.co

JUAN SEBASTIÁN BUILES-CARVAJAL

Est Ing. Geológica. Universidad Nacional de Colombia. jsbuilesc@unal.edu.co

JOSE DAVID HENAO-CASAS

Est Ing. Geológica. Universidad Nacional de Colombia. jodhenaoca@unal.edu.co.

SANDRA MARCELA MONTOYA-CAÑOLA

Ing Geólogo. Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. smmontoyac@unal.edu.co,

PAULA ANDREA PACHECO-SINTURA

Est Ing. Geológica. Universidad Nacional de Colombia. papachecos@unal.edu.co

LEÓN FERNANDO RAMÍREZ-HOYOS

Est Ing. Geológica. Universidad Nacional de Colombia. lframirez@unal.edu.co

SEBASTIÁN URREGO-OSORIO

Est Ing. Geológica. Universidad Nacional de Colombia. surregoo@unal.edu.co.

ANGÉLICA MARÍA ZAPATA-MONTOYA

Ing Geólogo. Universidad Nacional de Colombia. amzapatamo@unal.edu.co

OSWALDO ORDÓÑEZ-CARMONA

PhD., Profesor Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. oswaldo.geologo@gmail.com.

JORGE JULIÁN RESTREPO-ÁLVAREZ

MSc., Profesor emérito Universidad Nacional de Colombia. jjrestrepoa@fastmail.fm

Recibido para revisar: 05-Agosto-2013, Aceptado: 05-Mayo-2014, versión final: 12-Julio-2014.

RESUMEN: Las islas de Providencia y Santa Catalina hacen parte del Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, localizado en la cuenca Los Cayos en el Mar Caribe, al Noroeste de Colombia. Geológicamente las islas se ubican en el Rise de Nicaragua Inferior entre la Fractura de Pedro y el Escarpe de Hess (Rogers et al, 2007). Estas islas están conformadas principalmente por rocas volcánicas de carácter alcalino y calco-alcalino de edad mioceno medio y plioceno respectivamente. Se propone que la evolución geotectónica de la región parte de dos conos volcánicos erosionados cuya historia geológica está íntimamente relacionada con la evolución del Rise de Nicaragua y parte de la Placa Caribe (Rogers et al, 2007; Pindell y Kennan, 2001; Geister y Díaz, 2002). A la isla se le asocian unidades geomorfológicas de costas elevadas y bajas y en ella ocurren procesos morfodinámicos como caída de bloques, deslizamientos y erosión costera que podrían poner en riesgo la población. Económicamente se presenta explotación informal de canteras para agregados y existe la posibilidad de almacenamiento de hidrocarburos en la cuenca Los Cayos.

Palabras clave: Providencia, Santa Catalina, Rise de Nicaragua, Cuenca Los Cayos, Erosión costera.

ABSTRACT: Providence and Santa Catalina Islands are part of the Department of San Andrés, Providencia and Santa Catalina, located in the Los Cayos Basin, in the Caribbean Sea to the northwest of Colombia. Geologically, these islands are located in the Lower Nicaragua Rise, between Pedro's Fracture and Hess Escarpment (Rogers et al, 2007). These islands are conformed mainly by alkaline and calc-alkaline volcanic rocks of Middle Miocene age and Pliocene age respectively. It is proposed that the geotectonic evolution of this region starts out from two eroded volcanic cones whose geologic history is closely related to the evolution of the Nicaragua Rise and part of the Caribbean Plate (Rogers et al, 2007; Pindell y Kennan, 2001; Geister y Díaz, 2002). The island presents geomorphological units like high and low coasts, and it occur morphodynamic processes such as falling blocks, landslides and coastal erosion, which could threaten the island inhabitants. Finally, in terms of economic geology, on the island are exploited informally some quarries for aggregates, and exist the possibility to find hydrocarbons in the Los Cayos Basin.

Key words: Providencia, Santa Catalina, Nicaragua Rise, Los Cayos Basin, Coastal erosion.

1. Introducción

La isla de Providencia se encuentra en el Mar Caribe, al NW de las costas de Colombianas (Pagnacco y Radelli, 1962); junto con la isla de Santa Catalina posee un área de aproximadamente 19 km² y constituyen el único municipio del departamento. En general, Providencia posee una topografía abrupta con pendientes fuertes y escarpes en roca, presentando alturas que varían entre 0 y 360 m.s.n.m. (CORALINA, 2013) en el sector denominado The Peak (Kerr, 1978), y pocas zonas planas asociadas a playas y valles aluviales donde se encuentra concentrada la población y las diferentes actividades económicas de la zona; por otra parte, Santa Catalina presenta características topográficas similares, con alturas mayores en la parte central. Las zonas planas más extensa se encuentra al sur y cerca al Canal Aury (Figura 1) (Huguett, 1989).

El Archipiélago está conformado por un conjunto de islas oceánicas, atolones y bancos coralinos alineados en dirección NE (paralelos a la elevación del Rise de Nicaragua) (Gamboa y Posada, 2009), limitados al norte por la Fractura de Pedro y al sur por el Escarpe de Hess. Tanto Providencia como Santa Catalina están conformadas predominantemente por rocas volcánicas y sólo en el sur de Providencia existen algunas intercalaciones de calizas arrecifales del Mioceno entre series volcánicas y depósitos marinos Cuaternarios (Geister y Díaz, 2002).

El proceso geomorfológico más importantes es la erosión costera, la cual produce hendiduras, cavernas y cuellos en la parte baja de los escarpes rocosos que conforman las márgenes de la isla, desencadenando fenómenos (como caídas de rocas o deslizamientos) que ponen en riesgo la vida y los hogares de los habitantes de la isla, así como el turismo y la economía de la misma (Sistema Nacional de Bomberos de Colombia, 2012).

Debido a que la isla se encuentra dentro de la cuenca Los Cayos, existe la posibilidad de encontrar yacimientos petrolíferos interesantes, aunque actualmente hacen falta estudios detallados (Vargas et al, 2009). En cuanto a la actividad minera, no se reportan pruebas de la existencia de depósitos minerales metálicos ni se encontraron evidencias en campo, mientras que el potencial para materiales de construcción es considerable, dado que existen varias canteras que fueron explotadas con anterioridad, aunque no se tienen licencias de explotación ni existen estudios geotécnicos o ambientales a partir de los cuales se pueda hacer un planteamiento de extracción adecuado.

En cuanto a la evolución geodinámica de la isla se propone un modelo en el que ocurrieron eventos de magmatismo fisural, erupciones volcánicas y emplazamiento de diques y silos dentro de un régimen extensional, los cuales dejaron como evidencia la litología, las estructuras y las geoformas observadas durante los recorridos de campo.

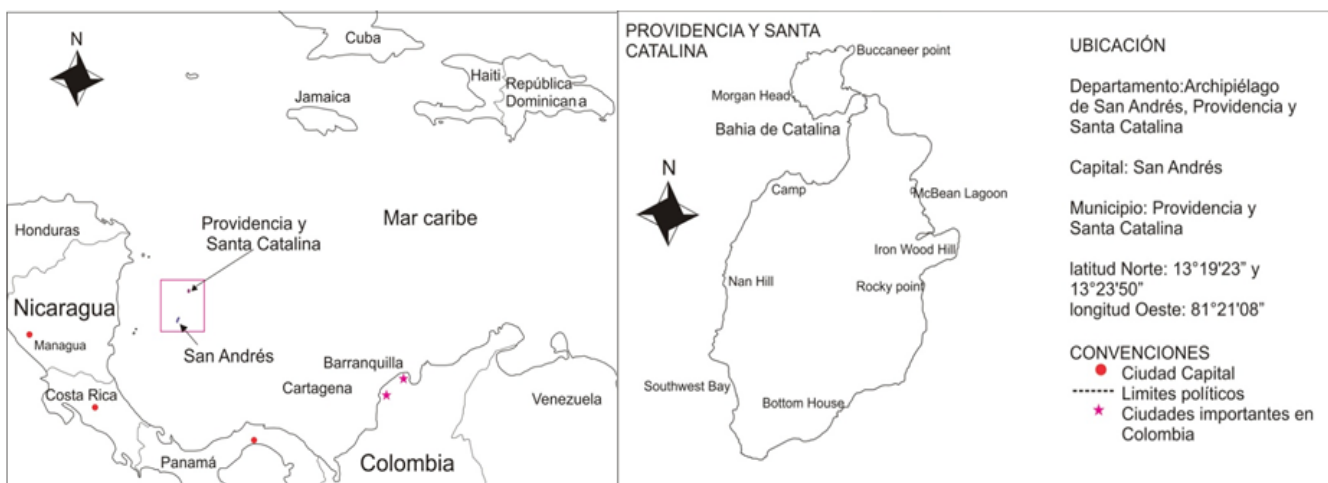


Figura 1. Localización de la zona de estudio en el Mar Caribe y en el Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Modificado de Google Earth, 2013.

2. Geología regional

Las Islas de Providencia y Santa Catalina son en su mayoría volcánicas, con algunas intercalaciones de calizas y depósitos marinos Cuaternarios al sur de Providencia (Geister y Díaz, 2002).

Las rocas ígneas se pueden dividir en Series Volcánicas Antiguas y Series Volcánicas Jóvenes según Geister y Díaz, 2002 y serán descritas a continuación.

2.1. Series Volcánicas Antiguas

Esta serie está compuesta por riolitas finamente bandeadas conformando un domo con un área de exposición que se extiende del este al oeste a través del centro de la isla. Localmente, se desarrollan conos de eyección compuestos de brechas riolíticas (Geister y Díaz, 2002; Geister, 1986). La formación del domo volcánico no ha sido determinada con métodos de datación absoluta. En (Geister y Díaz, 2002) se reporta la ocurrencia de clastos de lavas riolíticas en los depósitos volcanoclásticos que lo suprayacen, e intercalados con

capas de calizas fosilíferas de edad miocénica temprana a media, sugiriendo que la edad del domo riolítico debe ser pre-Mioceno o Mioceno temprano. Sin embargo, se reportan dataciones K/Ar que arrojan edades de 4 Ma para las riolitas (Smith y Roobol, 2013) indicando que estas rocas son más recientes que las Series Volcánicas Jóvenes (rocas volcánicas de composición basáltica y dacítica), lo cual se sustenta con las relaciones estratigráficas reportadas en otros trabajos (Concha y Macía, 1995).

2.2. Series Volcánicas Jóvenes

Se centran en los alrededores del domo riolítico, compuestas por lavas, material piroclástico y epiclástico de composición principalmente basáltica y dacítica, que se encuentran suprayacidos por depósitos piroclásticos, localmente se presentan estructuras columnares y de almohadillas (Geister y Díaz, 2002). Análisis radiométricos realizados a una muestra de basalto olivínico de Lena Point (sur de Providencia) arrojaron una edad de $14,5 \pm 1,1$ Ma, que corresponde al Mioceno Medio (Geister y Díaz, 2002), la cual se confirma con las intercalaciones de carbonatos de Manchioneal Hill.

El volcanismo explosivo de la Isla de Providencia está registrado en depósitos piroclásticos como cenizas, brechas con clastos de todos los tamaños y tobas que se extienden alrededor del domo riolítico cubriendo las demás unidades (Geister y Díaz, 2002).

Las principales unidades litológicas de la Isla Santa Catalina comprenden depósitos de escoria que consisten principalmente en basaltos vesiculares (Geister y Díaz, 2002).

Adicionalmente, en la Isla de Providencia se aprecian cortando el domo riolítico y depósitos más jóvenes, algunos diques máficos con tendencias NE y NW, asociados a fracturamiento extensional.

2.3. Ambientes Calcáreos y Arrecifales

Al sur de la isla se presentan intercalaciones de arrecifes y sedimentitas lagunares del Mioceno Medio a Temprano dentro de los flujos de lava y material piroclástico; donde se encuentran microfósiles (bivalvos, gasterópodos, arrecifes de coral, moluscos y equinoideos) (Geister, 1986). A lo largo de la costa de *South Point* se pueden observar depósitos de arrecife tipo *Porites porites* que crecieron hacia la línea de costa, donde la roca coralina se interdigitó con detritos pleistocénicos (Geister y Díaz, 2002).

2.4. Depósitos Deltaicos y Terrestres

En Providencia y Santa Catalina se encuentran depósitos terrestres del Holoceno restringidos a playas, pantanos y derrubios de pendiente al pie de las colinas, siendo la mayoría de estos de origen únicamente siliciclástico. Depósitos deltaicos pleistocénicos son visibles en los alrededores de la costa en Kalaloo Point emergiendo aproximadamente un metro por encima del nivel del mar y asociados al ascenso máximo de este durante el interglaciar Sangamoniano (Geister y Díaz, 2002).

3. Geología local

Durante los recorridos de campo se identificaron varias unidades rocosas cuya descripción petrográfica macroscópica se presenta a continuación, y con base en ella se presenta el mapa geológico elaborado (*Figura 11*):

3.1. Rocas ígneas volcánicas

3.1.1. Riolitas

3.1.1.1. Riolitas ignimbríticas

Se encuentran de color rosa moteado y gris cremoso, con textura afanítica en general, pero en ocasiones con cristales de plagioclasa de color blanco hueso a gris claro de 1 y 4 mm de tamaño; estas rocas están estratificadas (*Figura 2A*) y presentan laminaciones paralelas a subparalelas con espesores de hasta 3 mm (*Figura 2B*), que se aprecian con mayor claridad cuando se encuentran meteorizadas. Estas rocas se relacionan con la secuencia de brechas piroclásticas y brechas volcánicas, en contacto depositacional y neto respectivamente.

3.1.1.2. Riolitas

En menor proporción con respecto a las riolitas ignimbríticas, se encontraron algunos afloramientos de roca masiva de esta composición y de textura afanítica, que localmente se vuelve porfídica con fenocristales de biotita y feldespato hasta de 1 mm, las cuales no exhiben laminaciones internas pero muestran estratificación de tendencia plana a curva a escala de afloramiento, la cual en ocasiones aparenta una estructura pseudofluidal.



Figura 2. Afloramientos de riolitas ignimbríticas halladas, A) en los alrededores de Salt Creek B) en el sector Manzanillo.

3.1.2. Dacitas

Roca de color gris oscuro y textura porfídica, conformada por cristales de cuarzo (15 %), plagioclasa (15 %), anfíbol (55 %) y otros minerales (15 %), cuyo tamaño varía entre 1 y 5 mm. A escala de afloramiento esta unidad litológica se aprecia estratificada, con capas

paralelas entre sí; en general presentan fracturas de enfriamiento (Figura 3B), lo que sugiere que las rocas se formaron a partir de la solidificación de lavas de composición dacítica. Estas rocas conforman Basalt Cay y Palm Cay (Figura 3A), en donde se presentan con estructura columnar.



Figura 3. Diaclasas de enfriamiento en dacitas observadas: A) Basalt Cay, B) cerca del sector South West.

3.1.3. Escorias

Se localizan principalmente en la isla de Santa Catalina (Figura 4 A y B), y en menor proporción subiendo hacia The Peak, donde se aprecian relacionadas con brechas piroclásticas y riolitas ignimbríticas. Estas rocas están conformadas casi en su totalidad por una matriz de color rosado que localmente cambia a negro en zonas donde se presenta un alto grado de meteorización.

A escala de afloramiento las escorias presentan una estratificación burda con tendencia paralela y espesor variable (Figura 4B); de una manera más local y esporádicamente, embebidos en la escoria se observan bloques angulosos de riolitas altamente meteorizados cuyo tamaño varía desde 5 a 6 mm hasta aproximadamente 25 cm; también se aprecian cavidades (entre 1 mm y 40 cm en algunos sitios) que pueden ser

producto de la degradación total de dichos fragmentos y no vacíos producidos por escape de gases, por lo que sería más apropiado catalogar esta unidad como pseudoescorias.

3.1.4. Basaltos

En los alrededores de Jones Point, The Easel, Mountain, Salt Creek y South West se encuentran basaltos principalmente masivos, pero que en algunas zonas exhiben una clara estructura columnar con disposición aproximadamente vertical (Figura 5A y Figura 5B). Esporádicamente éstas rocas presentan textura porfídica y están conformadas por una matriz gris oscura (que representa aproximadamente un 95 % de la muestra) y envuelve fenocristales de olivino (1 – 3 mm), piroxeno (1 – 30 mm) y epidota (1 – 20 mm).

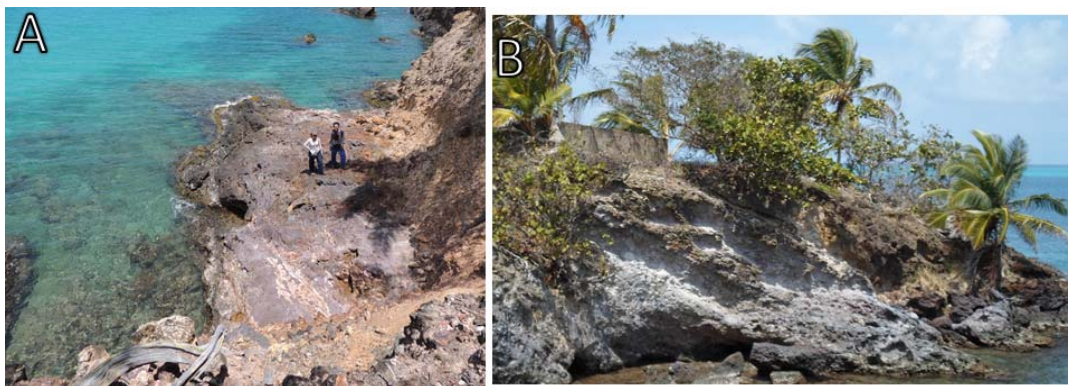


Figura 4. A) Escorias observadas en la isla de Santa Catalina. En B) se aprecia la estratificación de las mismas.

3.1.5. Diques y silos

Se encuentran diques de composición intermedia y basáltica de hasta 1 m de espesor y disposición subvertical, intruyendo brechas piroclásticas y brechas volcánicas; algunos de ellos se aprecian saprolitizados y en general

presentan un fracturamiento moderado que exhibe una leve sinuosidad, por lo que se infieren de régimen transicional.

Adicionalmente, silos conformados por vitrófidos, que alcanzan espesores de hasta 1.5 m, se presentan concordantes con la estratificación de la secuencia piroclástica.

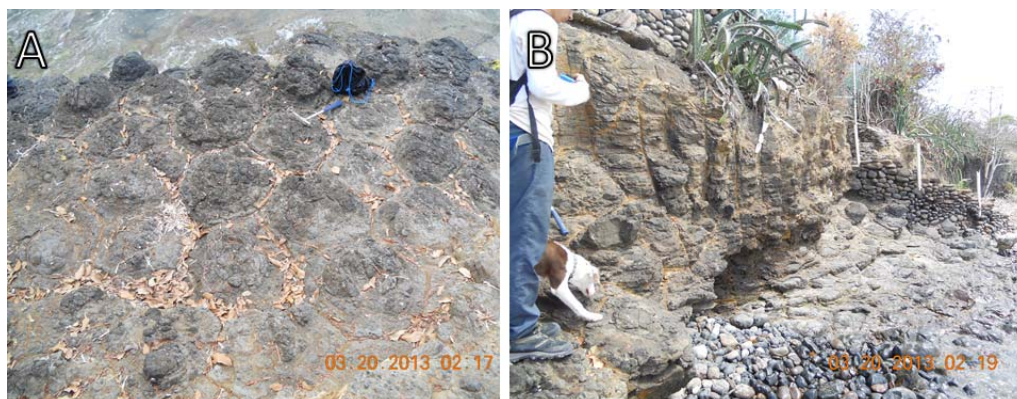


Figura 5. A) y B) Basaltos columnares observados en el sector Salt Creek.

3.2. Rocas piroclásticas.

En la isla se encuentran secuencias de rocas piroclásticas estratificadas ampliamente distribuidas, conformadas por paquetes de brechas piroclásticas y tobas de cenizas y lapilli.

3.2.1. Brechas piroclásticas

Conformadas por fragmentos angulosos principalmente de riolitas (de esfericidad media a baja), bloques (de 4 a 5 m de diámetro) en una matriz de cenizas y lapilli con un bajo porcentaje de vidrio volcánico. Estos fragmentos representan aproximadamente el 70 % (en afloramiento) y se encuentran dispuestos aleatoriamente (Figura 6).



Figura 6. Brechas piroclásticas estratificadas observadas en los alrededores de Salt Creek.

En algunas ocasiones esta unidad se observó con clastos subangulares a subredondeados, lo que permite plantear la posibilidad de que el agua haya intervenido en el proceso depositacional, cambiando el origen de ellos a un depósito de lahar.

3.2.2. Tobas de lapilli y ceniza



Figura 7. Estrato de toba de cenizas y lapilli observado en los alrededores de The Peak.

Las intercalaciones de tobas de ceniza y lapilli (Figura 7) ocurren en menor proporción con respecto a las brechas piroclásticas. Estas rocas están constituidas por fragmentos de vidrio, líticos (riolitas) y cristales (cuarzo y feldespato) de entre 1 y 20 mm de diámetro, inmersos en una matriz de

ceniza de color gris que representa de 50 a 70 % de las muestras. En general, conforman estratos delgados e irregulares que se aprecian como bandas de colores grisáceos (tonalidades claras y oscuras), cuyo espesor varía entre 3 y 10 cm; al interior de dichas bandas se aprecia gradación en el tamaño de los fragmentos, y en varias ocasiones fue posible identificar una polaridad normal para la secuencia. Las tobas que afloran en Manchioneal Hill se presentan intercaladas con calizas bioclásticas.

Se consideraron dos grupos de flujos piroclásticos: el primero corresponde a brechas piroclásticas concordante con las capas de tobas de cenizas y lapilli, que probablemente representa los eventos de erupciones piroclásticas más antiguos; el segundo constituye las brechas piroclásticas que se aprecia en discordancia angular con respecto a brechas volcánicas y capas de tobas de cenizas y lapilli, marcando probablemente el último evento de erupción de material piroclástico en la isla.

3.3. Rocas sedimentarias

3.3.1. Calizas

Hacia la zona sur de la isla, dispuestas en estratos de 6 a 10 m de espesor, e intercaladas ocasionalmente con capas de tobas de ceniza y lapilli, se encuentran calizas bioclásticas (Figura 8A) de color gris crema que en algunos sectores presentan texturas arrecifales (Figura 8B); están compuestas por clastos biogénicos marinos (fragmentos de conchas y corales), fragmentos líticos redondeados de 2 a 10 mm de diámetro y algunos fósiles como Bivalvos, Gasterópodos (Figura 8A) y Cnidarios, en proporcionales variables, unidos por un cemento calcáreo.

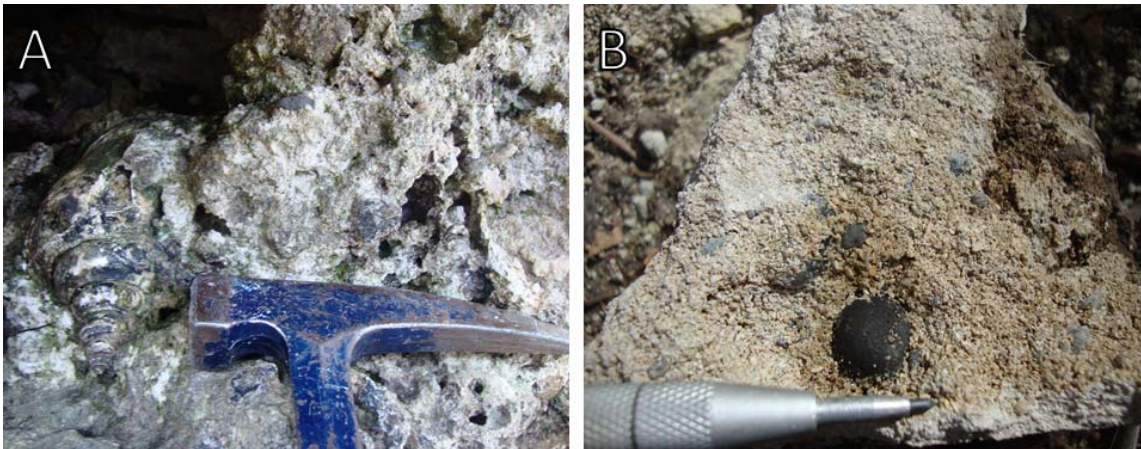


Figura 8. A) Calizas bioclásticas y B) Calizas arrecifales encontradas en el sector Manchioneal.

3.4. Depósitos cuaternarios

3.4.1. Playas

Se observan depósitos costeros de sedimentos no consolidados, bien seleccionados, conformados principalmente por fragmentos redondeados de corales y

líticos de rocas volcánicas, cuyo tamaño varía de gravas a arena fina; en general estos depósitos presentan extensiones laterales del orden de cientos de metros y conforman las playas Fresh Water (gravas y arenas), South West, Manchioneal, Old Town y Almond Beach (Figura 9). En algunos sectores éstos depósitos incluyen guijarros de hasta 10 cm de diámetro.



Figura 9. A) Playa Manchioneal. B) Playa Fresh Water.

3.4.2. Manglares

Los de mayor extensión se localizan en McBean's Lagoon (Figura 10A) y hacia el sureste de la isla de

Santa Catalina; también se encuentran en el sector cercano al Canal Aury en Santa Isabel y Davidson Point; South West (Figura 10B), Old Town, Manchioneal y cerca de Smooth Water.

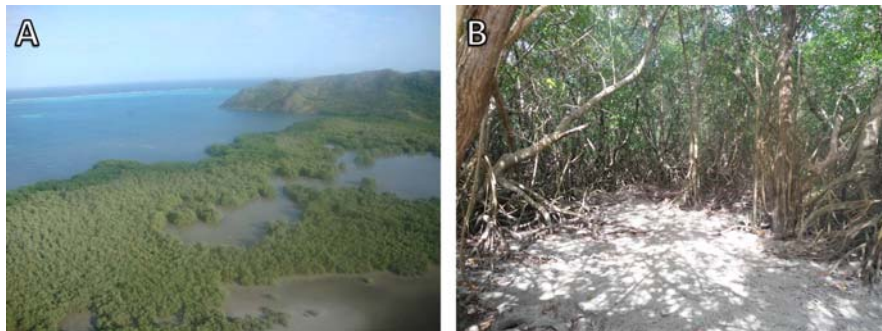


Figura 10. A) Manglar del Parque Nacional Natural Old Providence McBean's Lagoon. B) Mangle rojo observado en South West Bay.

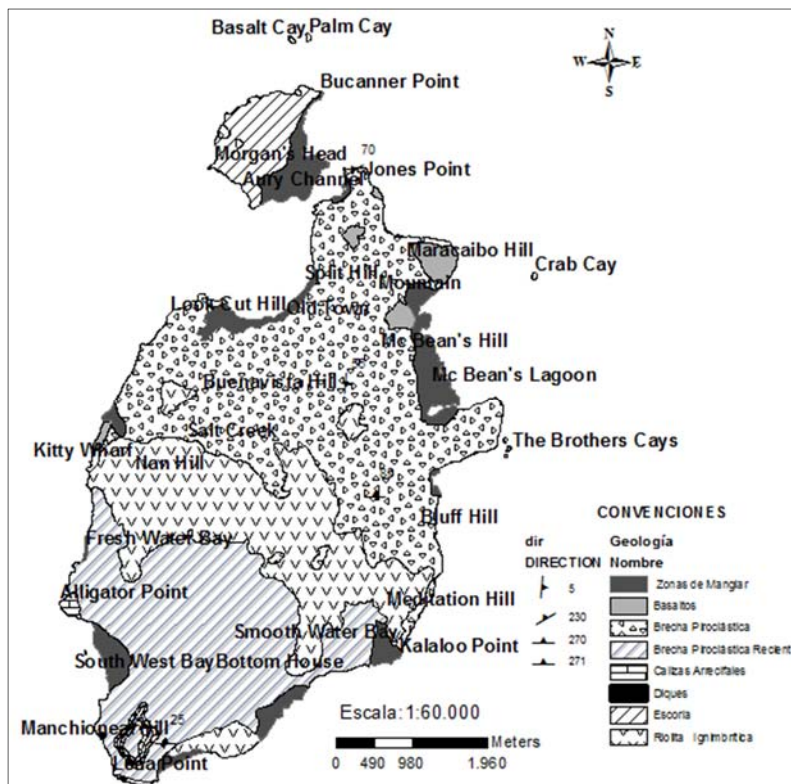


Figura 11. Mapa Geológico Providencia y Santa Catalina. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Depósitos de vertiente

Se encuentran depósitos de talud de pendientes medias a suaves hacia la base de las vertientes, configurando pseudoabancos; estos depósitos están conformados por fragmentos líticos angulosos (de brechas piroclásticas principalmente) que alcanzan hasta 15 cm de diámetro, envueltos en una matriz areno-limosa. De manera general estos depósitos presentan mala selección y se encuentran poco disectados, lo que sugiere que son recientes.

3.4.4. Terrazas aluviales

Se observan terrazas aluviales con estratificación horizontal que alcanzan los 2 m de espesor, conformadas por clastos subredondeados a subangulares (de hasta 20 cm de diámetro) embebidos en una matriz arenosa. Adicionalmente, en cercanías a algunos escarpes dentro del litoral, se aprecian terrazas marinas compuestas por clastos redondeados de rocas volcánicas cuyo diámetro alcanza los 15 cm, envueltos en una matriz areno-limosa; en general éste tipo de depósito presenta mala selección.

4. Geomorfología

El área de estudio se agrupa en tres unidades geomorfológicas principales delimitadas a partir de la observación del mapa de pendientes en la Figura 12 y los recorridos realizados en campo.

4.1. Unidades geomorfológicas

4.1.1. Unidad de Zonas planas y de pendiente suave (5-15°)

Se extiende de forma casi continua a lo largo de la costa oriental de Providencia y se encuentra asociada a los sectores poblados más aledaños al litoral costero (Figura 13A). En la zona occidental de la isla, esta unidad geomorfológica se encuentra de forma intermitente, intercalada con zonas colinadas y de pendiente media, presentando escarpes de diferentes dimensiones (no mayores a 1 m) sobre la línea de costa, los cuales están generalmente asociados a zonas rocosas y podrían ser vestigios de antiguas plataformas de abrasión formadas en periodos durante los cuales el nivel del mar se encontraba más alto.

Estas geofomas representan lugares propicios para la construcción de obras civiles como es el caso del Aeropuerto El Embrujo y gran parte de la vía principal que comunica la isla de Providencia, debido a que son de gran extensión lateral, al igual que la existencia de playas en la parte occidental de la isla asociadas a zonas de backshore de dimensiones variables (siendo las playas de South West y Manchioneal las más extensas) y por lo general carecen de dunas de alimentación, las cuales han sido modificadas por

intervención antrópica (construcción de viviendas y locales comerciales).

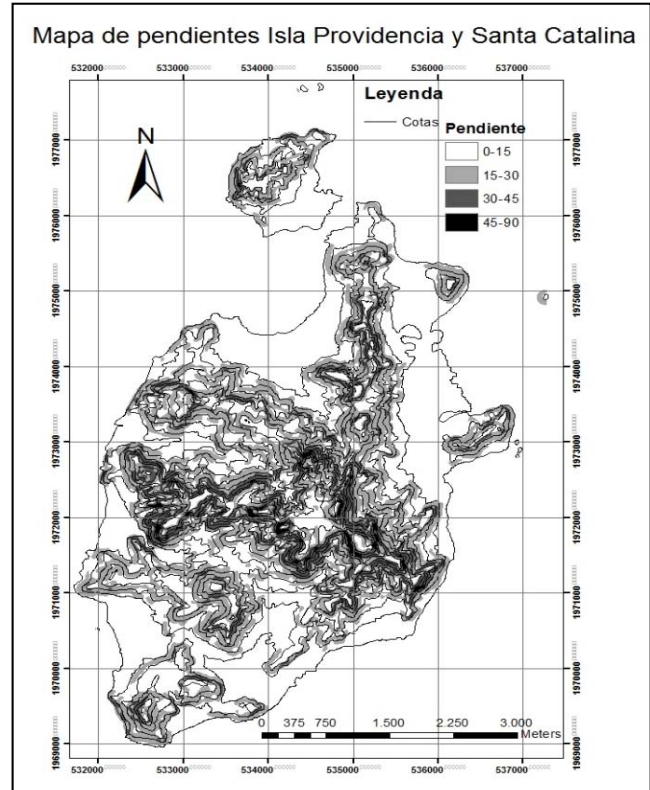


Figura 12. Mapa de pendientes de la Isla de Providencia y Santa Catalina.

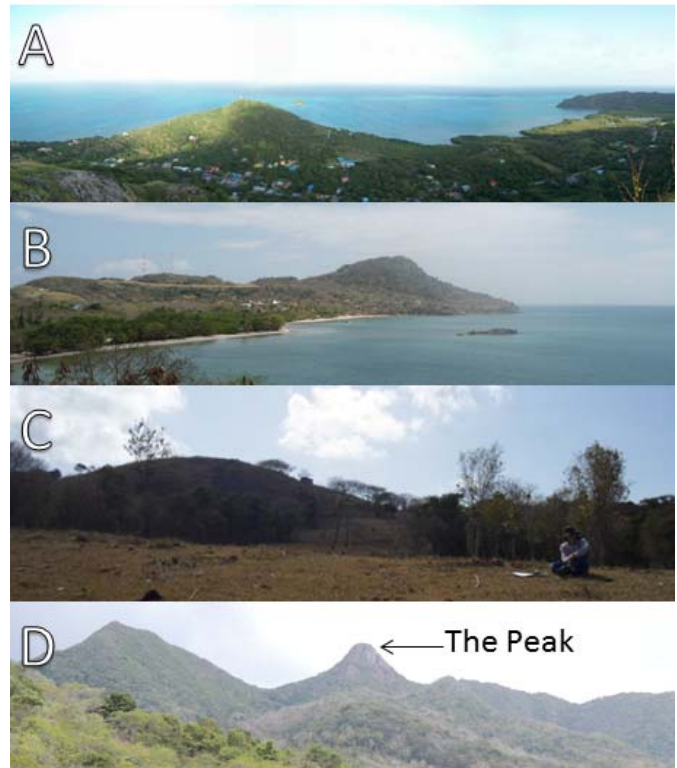


Figura 13 A) y B). Unidad de Zonas planas y de pendiente suave C) Unidad de Zonas de colinas y filos con pendiente moderada a alta D) Unidad de zonas de pendientes altas a muy altas y escarpes pronunciados.

Durante la inspección de las zonas de playa no se observaron bermas, posiblemente debido a que en el lapso de tiempo que duró la visita predominó un oleaje de baja energía. Las playas de la isla son tanto erosivas como depositacionales y se encuentran zonas de manglar asociadas a algunas ellas (Figura 13B).

4.1.2. Unidad de Zonas de colinas y filos con pendiente moderada a alta (15-35° a 35-45°).

Comprenden colinas redondeadas de diferentes alturas (Figura 13C), siendo típicas en Santa Catalina; también se observan filos con marcados cambios de pendiente y evidencias de superficies de erosión. Durante los recorridos de campo en general no fue posible relacionar estos cambios de pendientes con lineamientos, fallas o cambios de litología, sin embargo para los basaltos masivos si se notó una clara relación con las colinas.

La distribución de esta unidad geomorfológica predomina entre las zonas planas de pendiente suave y las zonas de pendientes altas con presencia de escarpes; también es comúnmente observada en zonas cercanas al litoral, especialmente en la parte occidental de Providencia, donde

la acción erosiva de las olas forma acantilados de diferentes alturas e inclinaciones, configurando bahías con puntas rocosas.

4.1.3. Unidad de zonas de pendientes altas a muy altas y escarpes pronunciados (>45°)

Se concentra en la zona centro-sur de la isla (Figura 12), también se aprecian zonas fuertemente escarpadas hacia el norte de Providencia (Horse Pen Hill y Split Hill) y Santa Catalina. Existen sectores donde las pendientes aumentan de forma continua mientras que en otros aumenta abruptamente, lo que dificulta establecer una relación de esta unidad geomorfológica con las demás (Figura 13D).

4.2. *Geoformas aisladas*

Los Cayos (Figura 14) o stacks varían de tamaño y se distribuyen a diferentes distancias alrededor de la isla; están compuestos por diferentes litologías y son remanentes de la zona litoral antigua, evidenciando el carácter erosivo de la costa y del proceso de retroceso que ha sufrido la misma.

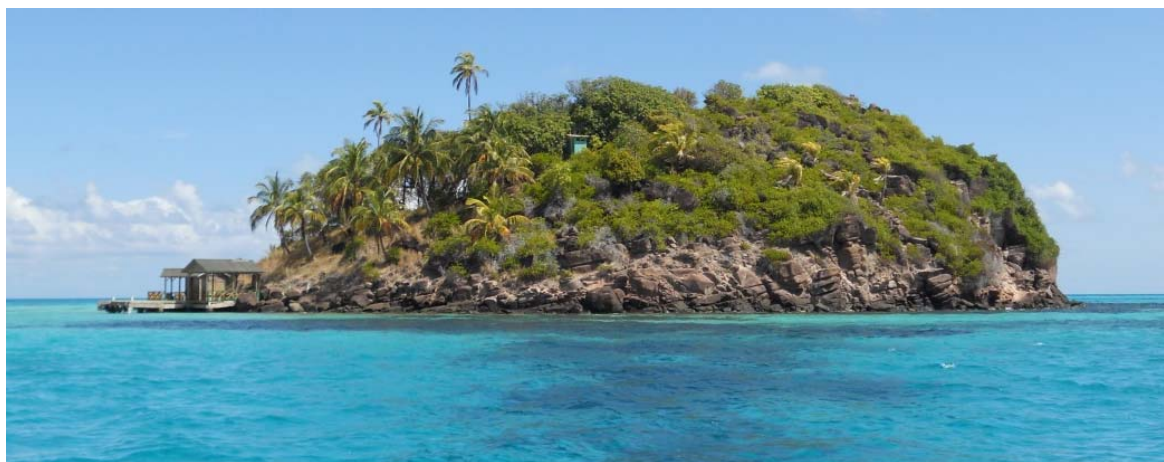


Figura 14. Cayos o Stacks. Crab Cay.

4.3. *Procesos geomorfológicos*

Los procesos geomorfológicos más representativos se encuentran asociados a la erosión continua del mar sobre el litoral, los cuales disminuyen continuamente el área emergida de la isla. La acción del oleaje genera hendiduras, cavernas (Figura 15) y cuellos en la parte baja de los escarpes rocosos que conforman las márgenes de la isla,

desestabilizándolos y generando caídas de rocas; la presencia de discontinuidades, planos de estratificación y fracturas facilitan el socavamiento de dichas geoformas.

Según testimonios de los habitantes la erosión del litoral es rápida, y se encuentran zonas donde la línea de costa ha retrocedido aproximadamente 30 m en 10 años; los sectores más afectados se observan en La Florida, Lazy Hill, Rocky Point y Morgan's Head.



Figura 15. Formación de una caverna en la zona de escarpes de la isla de Santa Catalina.



Figura 16. Fresh Water Bay. Se observa que la zona de alimentación de la playa está intervenida con construcciones.

Como se mencionó en el Capítulo anterior, las zonas de manglar se encuentran principalmente en el Parque Nacional Natural Old Providence McBean's Lagoon, Santa Catalina, Old Town y South West Bay; estas áreas son evidencia del dinamismo de las mareas y de la interacción entre agua de mar y agua dulce que se da en las zonas intermareales.

Los drenajes y afluentes de la isla son intermitentes; la presencia de bloques subredondeados con diámetros incluso mayores a 1 m y conos de eyección en algunas de las quebradas, son evidencia de la reactivación de las mismas y la alta energía que pueden adquirir en temporadas de pluviosidad.

4.4. Riesgo

Según Carvajal, 2009 Providencia y Santa Catalina presentan diferentes riesgos asociados a procesos geológicos como vulcanismo, sismos, tsunamis y cambios de nivel del mar, pero el principal riesgo es el ligado a procesos climáticos como huracanes.

Los procesos geomorfológicos derivados de la dinámica y el entorno en que se enmarca la isla la afectan continuamente generando riesgos con gran incidencia a corto plazo, que afectan la población y la infraestructura; la erosión intensa y

el avance de los acantilados por acción del oleaje causan desestabilización de obras civiles como la vía y algunas viviendas como las que se ubican en Rocky Point, La Florida y Lazy Hill, entre otros (Cuerpo Oficial de Bomberos, 2012). La posibilidad de riesgos menores asociados a caída de bloques es generalmente producto de la explotación de canteras de forma artesanal e informal.

5. Geología Estructural

Este análisis se realizó con base en la medición de diferentes datos de estructuras principalmente originadas por el enfriamiento del material volcánico, diaclasas y algunas fallas y diques; estas últimas estructuras indican un régimen frágil. Para cada tipo de estructura se realizó un análisis estadístico de rumbo (Diagrama de Rosas) y de buzamiento (Diagrama de Polos) con su respectiva interpretación.

5.1. Estratificación de la riolita ignimbrítica

En cuanto al análisis de rumbos se aprecian tres tendencias (Figura 17A), una principal de disposición N55°W y dos secundarias de N10°E y N45°E. Según los datos de buzamiento se tiene que las estructuras son principalmente

de horizontales a sub-horizontales. La estratificación de las riolitas se puede observar en la Figura 17B.

Al analizar la disposición de estas estructuras respecto a la topografía se tiene que en el sector de The Peak el buzamiento de la estratificación corta la pendiente topográfica, esto puede estar relacionado con la formación del domo volcánico, ya que al ser un material muy viscoso presenta un flujo lento desde el

conducto de alimentación, generando en las lavas una estratificación que se extiende hacia los bordes de este mismo conducto con diferentes inclinaciones (Wohletz et al, 2013). Esta evidencia permite definir este sector como uno de los centros volcánicos que serán descritos con mayor detalle en el capítulo 7.

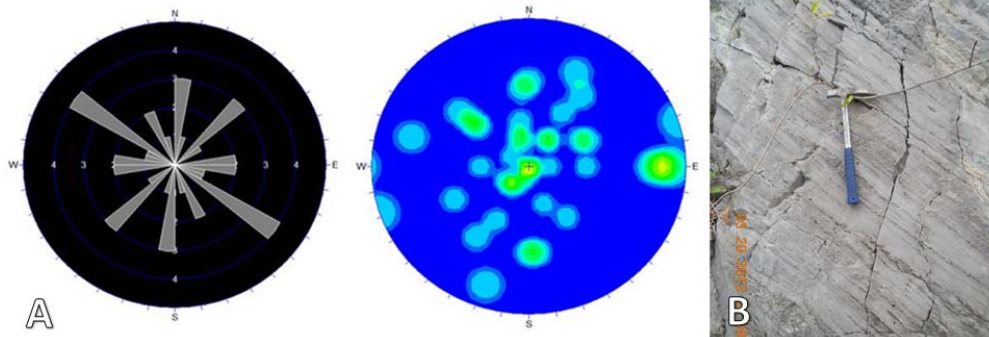


Figura 17. A) Diagrama de Rosas y Polos para la estratificación de la riolita ignimbrítica (n=40). B) Estratificación de la riolita ignimbrítica cerca de la cantera Kitty Wharf.

5.2. Estratificación de la secuencia piroclástica

En general la disposición de esta unidad litológica es N10°E (Figura 18) con un buzamiento subhorizontal que concuerda con el relieve, lo que podría sugerir una depositación del material posterior al levantamiento tectónico planteado anteriormente (Figura 6).

A pesar de la ausencia de muestras representativas para la disposición de esta estructura, con base en observaciones realizadas (Figura 19 y Figura 4B), se puede determinar una actitud principal aproximada de N20°E con un buzamiento de 15° al E, posiblemente asociado al levantamiento tectónico de la isla, además esta unidad litológica tiene la particularidad de aflorar principalmente en Santa Catalina.

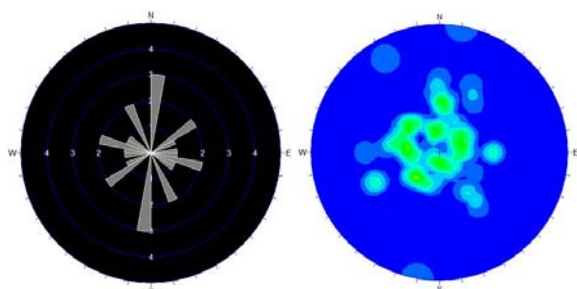


Figura 18. Diagrama de Rosas y Polos para la estratificación de la secuencia piroclástica (n=35).

5.3. Estratificación de las escorias.

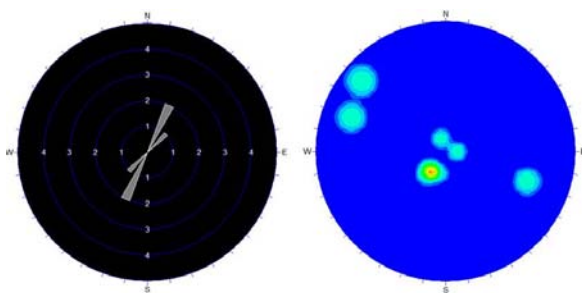


Figura 19 . Diagrama de Rosas y Polos para las escorias (n=8).

5.4. Diaclasas de enfriamiento

Estas estructuras se derivan del choque térmico entre la temperatura de la lava y la temperatura ambiente, y están condicionadas por la manera en que la lava es expulsada a la superficie y por la topografía.

5.4.1. Diaclasas de enfriamiento en riolitas

De acuerdo con la Figura 20 se determina que la actitud general de dichas diaclasas es N20°E con un buzamiento de alto ángulo. En la Figura 2 A se observan las diaclasas generadas luego del enfriamiento de la lava riolítica.

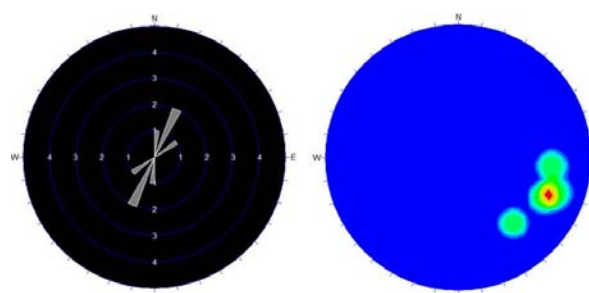


Figura 20. Diagrama de Rosas y Polos para las diaclasas de enfriamiento de las riolitas (n=13).

5.4.2. Diaclasas de enfriamiento de las dacitas

En este caso se observan disposiciones estructurales aleatorias (Figura 21), lo que indica que ésta estructura no está condicionada por ningún factor tectónico y está determinada principalmente por la disposición de la topografía de la isla (Figura 3B).

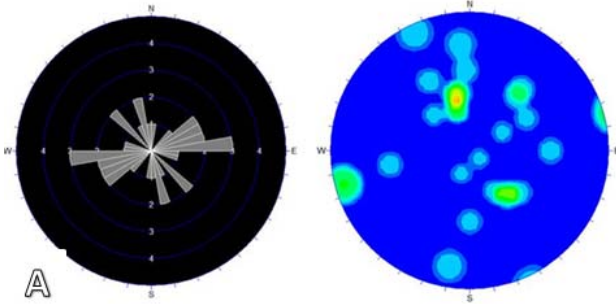


Figura 21. A. Diagrama de Rosas y Polos para las diaclasas de enfriamiento de las dacitas (n=21).

5.5. Contacto entre la secuencia piroclástica y las rocas riolíticas

Estos datos son importantes ya que revelan la paleotopografía existente al momento de la depositación de los piroclastos sobre la riolita (Figura 22B). El diagrama de polos de la Figura 22A muestra que la actitud del contacto

es sub-vertical, probablemente afectada por un posible levantamiento tectónico; este contacto fue observado en las partes topográficamente más altas y de mayor pendiente.

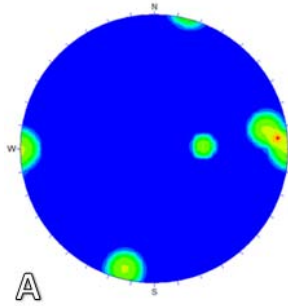


Figura 22. A. Diagrama de Polos para el contacto entre la secuencia piroclástica y la riolita (n=3). B. Contacto entre la secuencia piroclástica y la riolita, encontrado subiendo hacia The Peak.

5.6. Diaclasas

En la Figura 23 se puede observar que el rumbo predominante es N40°W y le sigue las diaclasas con dirección N10°E. Estas estructuras pueden estar asociadas a esfuerzos regionales relacionados con el levantamiento tectónico anteriormente mencionado; en la Figura 23B se puede percibir el régimen frágil en que se desarrollan estas estructuras.

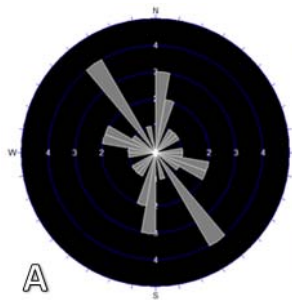


Figura 23. A. Diagrama de Rosas para las diaclasas (n=25). B. Diaclasas observadas cerca de Kalaloo Point.

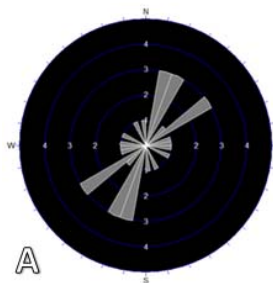


Figura 24. A. Diagrama de Rosas para las fallas (n=21). B. Falla inversa observada en Halley View afectando riolitas. C. Falla observada en Manchioneal Hill, afectando la secuencia piroclástica.

5.7. Fallas

Las principales tendencias de estas estructuras están entre N10°E – N40°E (Figura 24A) y no coinciden totalmente con el patrón de diaclasamiento; esto podría deberse a que posiblemente el origen del fallamiento está asociado a estructuras de escurrimiento (estructuras inversas como en la Figura 24B generadas por el levantamiento tectónico de la isla, aunque también se evidenciaron estructuras normales como la de la Figura 24C.

5.8. Diques y Silos

En algunos lugares se observaron diques con diferentes disposiciones estructurales y cortando de forma tajante diferentes cuerpos litológicos, lo que pone en evidencia el régimen frágil en que se desarrollaron. Sin embargo, la

ausencia de una muestra estadística hace imposible la realización de un análisis de estas estructuras, de igual manera con base en las observaciones de campo se presentan las relaciones de algunas de estas estructuras. Como se aprecia en la Figura 25A aparece un dique de composición intermedia de aproximadamente 5 cm de espesor cortando la dacita y con actitud N-S/85°W. También se halló un silo de composición vítrea con aproximadamente 20 cm de espesor, concordante con la secuencia piroclástica y exhibiendo una disposición N10°E/25°NW, cerca del sendero que conduce de Manchioneal a South West; un dique de basalto intruyendo la lava dacítica sobre Bailey Gully, con casi 2 m de espesor, fracturado y con disposición N45°E/85°NW (similar al observado en la Figura 25C); y un dique de basalto saprolitizado ubicado en el Camino The Easel-Jones Point, por la línea de costa cortando las brechas piroclásticas y con una disposición N40°W/70°SW (Figura 25B).

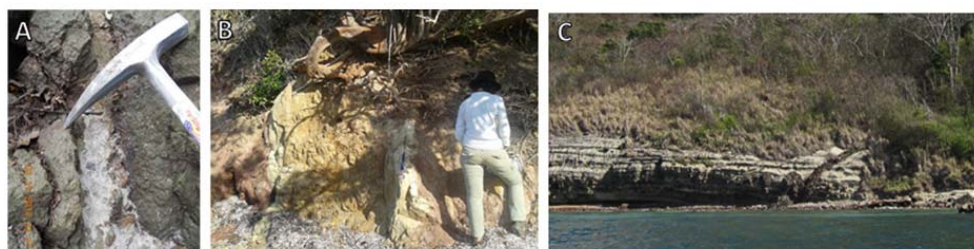


Figura 25. Diques. A) Dique de composición intermedia en dacitas observado en los alrededores de Kalaloo Point. B) Dique de composición basáltica saprolitizado hallado en los alrededores de Jones Point. C) Dique de composición basáltica observado en South Point.

6. Geología Económica

6.1. Hidrocarburos

Por estar ubicada dentro de la cuenca Los Cayos (como se mencionó anteriormente), existe la posibilidad de encontrar yacimientos petrolíferos cerca de la isla, aunque actualmente no se cuenta con información suficiente que permita definir con precisión la fuente, el reservorio y el sello para este sistema; de cualquier forma, si se hallaran hidrocarburos se deberán tener en cuenta los posibles efectos ambientales que traería su explotación sobre los ecosistemas del Archipiélago.

6.2. Minería

En cuanto a depósitos de minerales metálicos no se reportan pruebas de su existencia en la literatura para ninguna de las islas del Caribe Colombiano, ni se encontraron evidencias en campo de su ocurrencia. Por otra parte, en la isla de Providencia hay actividades mineras que consisten básicamente en la explotación de riolitas ignimbríticas, dacitas y brechas piroclásticas que pueden ser utilizadas principalmente como agregados. En la mayoría de los casos, se observan taludes subverticales relativamente estables y por lo general las unidades rocosas se encuentran altamente

fracturadas (diaclasas de enfriamiento, estratificación, fracturas y diaclasas tectónicas) lo que facilita el desprendimiento de bloques angulosos y la reducción de los procesos de molienda posteriores al arranque.

La extracción de materiales en la isla se realizaba desde hace varias décadas en 10 canteras que carecían de títulos mineros, estudios geotécnicos y estudios ambientales; al presente 7 de estas canteras se encuentran inactivas y 3 son explotadas de manera informal y artesanal por los isleños (canteras de Nan Hill, Kitty Wharf y Fresh Water). Según las observaciones realizadas durante las visitas a las canteras, es posible afirmar que actualmente el lugar más apto para adelantar proyectos de explotación a cielo abierto es Kitty Wharf, debido a la gran cantidad de material disponible, intenso fracturamiento de la roca (que facilita el desprendimiento de bloques angulosos de por lo menos 5 cm de diámetro) y taludes aproximadamente verticales (que conservan una buena estabilidad), además de que la cantera se encuentra cerca de la vía (lo que facilita el transporte de material).

7. Interpretación Geodinámica

A continuación se describe la sucesión de eventos locales responsables de la configuración geológica de la isla basándose en las evidencias de campo:

Probablemente la primera litología de la isla son los basaltos, los cuales se encuentran en la posición estratigráfica más baja y en no conformidad con otras unidades como las secuencias piroclásticas. Göbel (1985) en (Geister y Díaz, 2002), obtiene una edad de $14,5 \text{ m.a} \pm 1,1$ para esta litología por el método K/Ar.

Posteriormente, asociado a eventos explosivos, ocurrió la extrusión de las riolitas ignimbríticas, las cuales afloran en sentido E-W hacia el centro de la Isla de Providencia. Su distribución sugiere un vulcanismo en estructura dómica, con asociaciones de otros tipos de rocas como las dacitas y las secuencias piroclásticas, estas últimas producto de los eventos explosivos mencionados. La edad de las riolíticas podría ser Mioceno Temprano a Medio como se sugiere en (Geister y Díaz, 2002), debido a la presencia de clastos de la misma, en la base de las calizas de South Point. Sin embargo, se reportan dataciones K/Ar que arrojan edades de 4 m.a para las riolitas (Smith y Roobol, 2013), y que están en concordancia con la posición estratigráfica de estas rocas.

Es probable que el centro volcánico de la actividad mencionada cambiara de lugar o que existiera más de uno a la vez. El primero de estos se podría ubicar en cercanías de The Peak, donde se encuentran riolitas masivas. El segundo se podría tratar de Santa Catalina, ya que las escorias gruesas allí presentes son de escasas en Providencia, aunque esto podría ser producto de la erosión.

El crecimiento del domo probablemente generó un levantamiento en algunas zonas de la isla, lo cual explicaría el fallamiento inverso producto de escurrimiento y la presencia de las calizas coralinas en Manchioneal Hill hasta 100 m.s.n.m, aunque otra posibilidad para esto es una tectónica de bloques que no se hizo clara a escala local.

Posteriormente se emplazaron los diques y silos de composición basáltica e intermedia, cortando secuencias piroclásticas y mostrando una tendencia preferencial N-S.

Por último, procesos de erosión y subsidencia principalmente, se encargaron de dar forma a las características recientes de la isla como playas, acantilados, stacks, depósitos cuaternarios, etc.

La evolución de lo observado en campo es atribuible principalmente al periodo entre el Mioceno Medio y la actualidad de acuerdo con las edades geocronológicas reportadas. En Muñoz. et al, 1997 se menciona que la corteza entre la Fractura de Pedro y el Escarpe de Hess, zona que comprende las islas bajo estudio, es de carácter distensivo desde el Mioceno Medio y presenta características propias de rift. Esto es apoyado en otros estudios como Cunningham. et al, 1995 y Mutti. et al, 2005, en donde concluyen una distensión en la zona hacia el Mioceno Medio, evidenciado por la separación de un megabanco de carbonatos en la parte norte del Rise de Nicaragua y que probablemente afectó la parte sur del mismo. El ambiente geodinámico distensivo, así como su temporalidad concuerda con lo sugerido por Concha y Macía, 1995 para algunos basaltos de la isla con base en estudios geoquímicos. En este mismo estudio se sugiere un origen por anatexia debido a engrosamiento cortical para las

riolitas y otro debido a la subducción de la Placa de Cocos para las dacitas. Estas hipótesis no parecen convincentes ya que la isla se encuentra a gran distancia de la subducción mencionada y durante el Mioceno la zona ha sufrido principalmente distensión y adelgazamiento, no un engrosamiento.

8. Conclusiones

La isla de Providencia está conformada principalmente por rocas volcánicas efusivas y rocas piroclásticas que se intercalan esporádicamente con calizas arrecifales. Entre las rocas efusivas se reconocieron riolitas, dacitas y basaltos, y en la secuencia piroclástica se identificaron brechas, riolitas ignimbríticas y tobas de ceniza y lapilli. Por otro lado, la isla de Santa Catalina está conformada principalmente por escorias.

Providencia y Santa Catalina comprenden tres unidades geomorfológicas: una caracterizada por zonas planas y pendientes suaves (playas y manglares principalmente), otra de colinas y filos con pendiente moderada a alta (isla de Santa Catalina y acantilados), y una última de zonas de pendientes altas y escarpes pronunciados observados en la parte central de la isla (The Peak). Adicionalmente a lo largo del litoral se encuentran geformas aisladas (cayos o stacks como Basalt Cay o Crab Cay) como remanentes erosivos.

Entre los procesos morfodinámicos predominan aquellos asociados a la acción continua del mar sobre la línea de costa (principalmente los relacionados a eventos climáticos extremos), los cuales afectan las principales playas y en consecuencia, el turismo y la economía de la isla.

Las estructuras geológicas de la isla están determinadas principalmente por la caída del material piroclástico, el enfriamiento de las lavas y la estratificación por flujo de las riolitas. La presencia de algunas fallas, diques y la ubicación actual de calizas arrecifales (a más de 100 m.s.n.m) permitió definir la ocurrencia y el control tectónico de estos eventos. Además con base en esta información fue posible aproximar la ubicación del domo volcánico y correlacionar el entorno con la tectónica regional.

En la isla de Providencia existen 10 canteras con potencial para la extracción de materiales de construcción. El diaclasamiento en algunas unidades y la estabilidad de los taludes harían viable reactivar formalmente las actividades de explotación, que en la actualidad se realiza de forma artesanal sin licencias y sin estudios geotécnicos ni ambientales.

En la evolución geodinámica, se sugieren los basaltos masivos y columnares como la unidad geológica inicial producto de magmatismo fisural, seguida por la extrusión de un domo riolítico relacionado con lavas dacíticas, que acompañado de eventos explosivos dio lugar a las riolitas ignimbríticas y rocas piroclásticas. Es probable que este último magmatismo fuera producto de dos centros

volcánicos, uno ubicado en las inmediaciones de The Peak, y otro en Santa Catalina. Posteriormente y asociados a un régimen extensional se emplazaron diques y silos de composición básica a intermedia en dirección NS que intruyen las litologías previamente mencionadas.

9. Referencias Bibliográficas

- [1] Carvajal, A., 2009. Caracterización físico-biótica del litoral del departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Pp. 111 – 138. En: DIMAR – CIOH, Caracterización físico-biótica del litoral Caribe Colombiano. Tomo I. Dirección general marítima–Centro de investigaciones oceanográficas e hidrográficas. Ed. DIMAR, Serie publicaciones especiales CIOH. Vol. 1. Cartagena de Indias, Colombia. 154p.
- [2] Concha, A. & Macía, C., 1995. Análisis petrogenético de las rocas volcánicas de la Isla de Providencia en el Caribe colombiano. *Geología Colombiana*, No. 19, pp. 173 – 186. Bogotá.
- [3] CORALINA, Corporación para el desarrollo sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. [En línea] Disponible en Internet <<http://www.coralina.gov.co/>> [Consulta Febrero de 2013].
- [4] Cuerpo Oficial de Bomberos, 2012. Identificación escenario de riesgo Rocky Point. Sistema Nacional de Bomberos. Providencia y Santa Catalina.
- [5] Cunningham, A.; Droxler, A. & Him, A., 1995. Neogene/Quaternary evolution of Pedro Channel, Northern Nicaragua Rise: The strike-slip induced breakup of a carbonate megabank in a plate boundary zone. AAPG Annual Convention, Houston, Texas, May 5-8.
- [6] Gamboa, L. & Posada, B., 2009. Geología del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.
- [7] Geister, J., 1986. Recent coral reefs and geologic history of Providence Island (Western Caribbean Sea, Colombia). *Geología Colombiana*, No. 15, pp. 116–134.
- [8] Geister, J. & Díaz, J., 2002. Ambientes arrecifales y geología de un archipiélago oceánico: San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Mar Caribe, Colombia (Guía de campo). INVEMAR, Santa Marta.
- [9] Kerr, J., 1978. The volcanic and tectonic history of Providencia island, Colombia. Tesis de Maestría. Rutgers University, New Brunswick. Nueva Jersey.
- [10] Google Earth, [Consulta Febrero de 2013].
- [11] Huguet, A., 1989. Compilación hidrogeológica de las Islas de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. Subdivisión de Geología aplicada, división de hidrogeología, INGEOMINAS. Bogotá.
- [12] Muñoz, A.; Baca, D.; Artilles, V.; Duarte, M. & Barboza, G., 1997. Nicaragua: Petroleum geology of the Caribbean margin. Instituto Nicaragüense de Energía, Managua, Nicaragua, San José, Costa Rica.
- [13] Mutti, M.; Droxler, A. & Cunningham, A., 2005. Evolution of the Northern Nicaragua Rise during the Oligocene–Miocene: Drowning by environmental factors. *Sedimentary Geology*, Vol. 175; pp. 237–258.
- [14] Pagnacco, P. & Radelli, L., 1962. Note on the geology of the isles of Providencia and Santa Catalina (Caribbean Sea, Colombia). *Geología Colombiana*, No. 3, pp. 125 – 132.
- [15] Pindell, J. & Kennan, L., 2001. Kinematic evolution of the Gulf of Mexico and Caribbean, in *Petroleum systems of deep-water basins: Global and Gulf of Mexico experience*, Proceedings, Gulf Coast Section, SEPM,
- [16] 1st Annual Research Conference, December 2–5: Houston, Texas, Society for Sedimentary Geology (SEPM), p. 193–220.
- [17] Rogers, R., Mann, P. & Emmet, P., 2007. Tectonic terrains of the Chortis Block based on integration of regional aeromagnetic and geologic data. *The Geological Society of America, Special Paper 428*, pp. 65–88. Texas.
- [18] Sistema Nacional de Bomberos de Colombia, 2012. Plan de emergencia y contingencia (PLEC) de las islas de Providencia y Santa Catalina. Departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina.
- [19] Smith, A. & Roobol, J. The Geology of Providence. [En línea] Disponible en Internet <<http://www.caribbeanvolcanoes.com/index.htm>> [Consulta Marzo de 2013].
- [20] Vargas, G.; Castillo, L. & Aguilera, R., 2009. Cuenca los Cayos. Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), Open Round Colombia.
- [21] Wohletz, K., & Grant, H. Volcanology and Geotherma Energy. [En línea] Disponible en Internet <<http://publishing.cdlib.org/ucpressebooks/view?docId=ft6v19p151;chunk.id=d0e9880;doc.view=print>> [Consulta Marzo de 2013].

