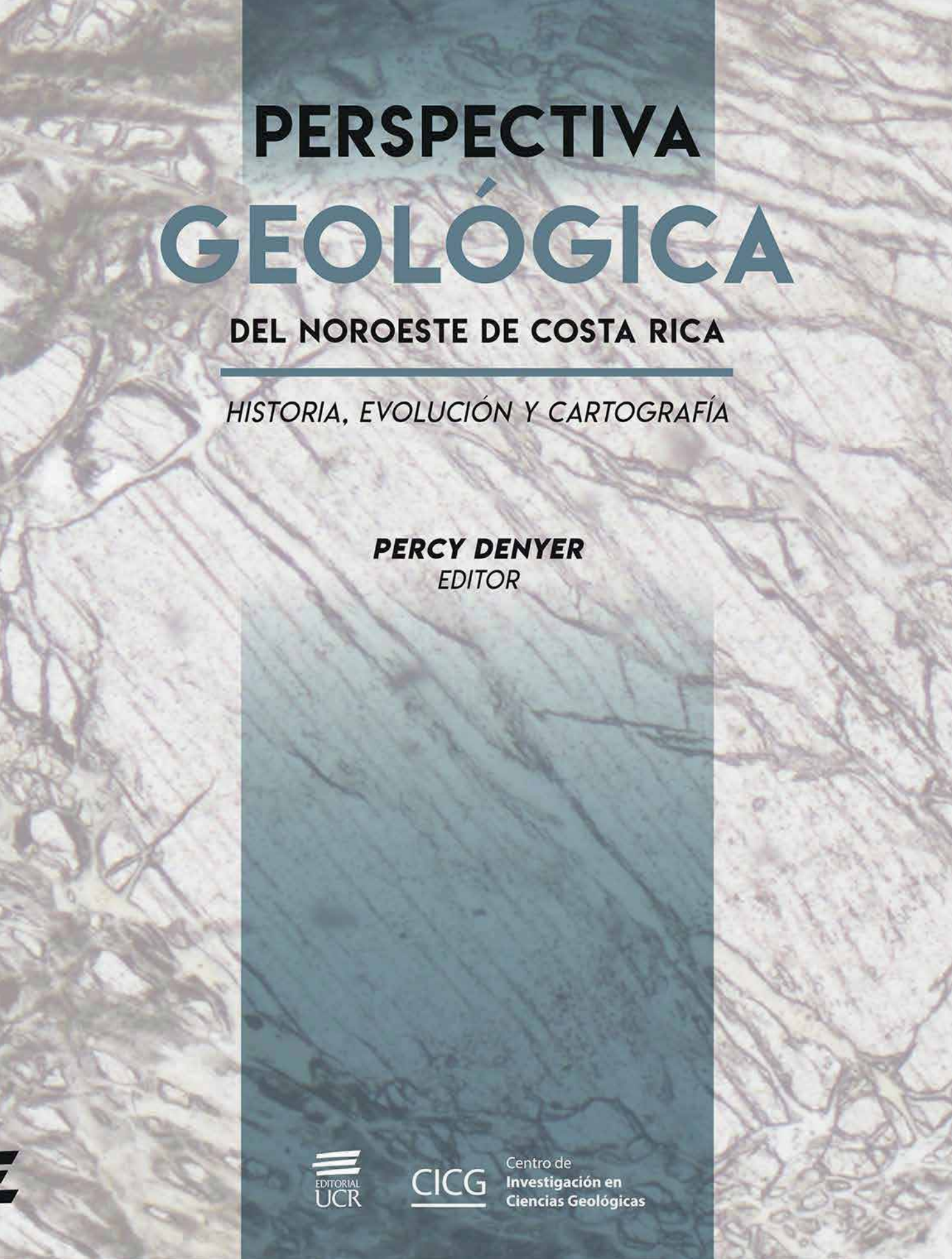




PERSPECTIVA GEOLÓGICA

DEL NOROESTE DE COSTA RICA

HISTORIA, EVOLUCIÓN Y CARTOGRAFÍA

PERCY DENYER
EDITOR



Centro de
Investigación en
Ciencias Geológicas

PERSPECTIVA GEOLÓGICA

DEL NOROESTE DE COSTA RICA

HISTORIA, EVOLUCIÓN Y CARTOGRAFÍA

PERCY DENYER
EDITOR

Autores

Textos y mapas

Teresita Aguilar
Guillermo E. Alvarado
Esteban Gazel
Oscar H. Lücke
Pilar Madrigal
Walter Montero
Wendy Pérez
Juan P. Solano
Carlos A. Vargas

Mapas

María M. Chavarría
Pablo Herrera
Gerardo J. Soto
Geisell Barrantes
Eduardo Vega
Waldo Taylor
Kenneth Pérez
Manuel Barrantes

557.286

A283p Aguilar, Teresita.

Perspectiva geológica del noroeste de Costa Rica: historia, evolución y cartografía / Percy Denyer, editor; autores, textos y mapas Teresita Aguilar [y otros dieciséis]. -1. edición- [San José], Costa Rica: Editorial UCR, 2019. x, 347 páginas: ilustraciones a color, mapas a color

ISBN 978-9968-46-797-1

1. GEOLOGÍA – COSTA RICA. 2. GEOLOGÍA HISTÓRICA – COSTA RICA. 3. ESTRATIGRAFÍA – COSTA RICA. 4. GEOLOGÍA – MAPAS – COSTA RICA. 5. PETROGÉNESIS – COSTA RICA. I. Denyer, Percy, editor. I. Título.

CIP/3423

CC.SIBDI.UCR

Edición aprobada por la Comisión Editorial de la Universidad de Costa Rica.
Primera edición: 2019.

Editorial UCR es miembro del Sistema de Editoriales Universitarias de Centroamérica (SEDUCA), perteneciente al Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA).

Corrección filológica: *Mariela Mata L.* • Revisión de pruebas: *Percy Denyer.*

Diseño, diagramación y diseño de portada: *Percy Denyer.*

Control de calidad: *Grettel Calderón A., Boris Valverde G. y Abraham Ugarte S.*

Imagen de portada: Microfotografía de una peridotita de la península de Santa Elena, detalle de un cristal de olivino alterado a serpentina. Fotografía de Pilar Madrigal.

© Editorial de la Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio. Costa Rica.

Apdo. 11501-2060 • Tel.: 2511 5310 • Fax: 2511 5257 • administracion.siedin@ucr.ac.cr • www.editorial.ucr.ac.cr
Prohibida la reproducción total o parcial. Todos los derechos reservados. Hecho el depósito de ley.

Impreso bajo demanda por encargo de la Editorial UCR. Fecha de aparición: octubre 2019.

Imprenta y Litografía LIL S.A.

Contenido

CAPÍTULO I

Percy Denyer

Introducción	1
Ubicación geográfica	2
Material de trabajo	3
Marco geotectónico regional	4
¿Cómo se desarrolló este trabajo?	6
¡Los 7 sitios que no pueden dejar de verse!	7
Referencias	8

CAPÍTULO II

Pilar Madrigal, Esteban Gazel & Percy Denyer

Petrogénesis ígnea del basamento	9
Antecedentes y ambiente geotectónico	12
Geocronología: Dataciones absolutas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	13
Arquitectura de la Ofiolita de Santa Elena	16
Petrología y geoquímica (Ofiolita de Santa Elena)	18
Complejo Acrecional de Santa Rosa y Brecha Tectónica	18
Petrogénesis ígnea de los basaltos y diques alcalinos	21
Nappe de Santa Elena	23
Complejo Ígneo Estratificado de Bahía Nancite	32
Complejo de Nicoya (basaltos islas Murciélagos)	36
Discusión y conclusiones	38
Referencias	39

CAPÍTULO III

Teresita Aguilar & Percy Denyer

Estratigrafía sedimentaria	43
Cuenca Sandino	44
Cuenca Tempisque	47
Metodología	48
Conceptos teóricos	49
Unidades litoestratigráficas	52
Formación Sabana Grande	53
Formación El Viejo	54
Formación Santa Ana	58

Formación Barbudal	60
Formación Piedras Blancas	61
Formación Rivas	63
Formación Curú	67
Formación Brito	69
Formación Descartes	75
Miembro Zapotal (Formación Descartes)	75
Formación Junquillal	77
Isla Bolaños: hipoestratotipo de la Formación Junquillal	86
Formación Punta Pelada	89
Formación Lomas Barbudal	92
Depósitos del Cuaternario	93
Referencias	98

CAPÍTULO IV

Guillermo E. Alvarado & Percy Denyer

Estratigrafía volcánica del Neógeno y Cuaternario	101
Metodología	105
Algunos conceptos y terminología	108
Rocas volcánicas	108
Rocas volcanoclásticas	108
Tipos de erupciones	114
Unidades estratigráficas	114
Unidades volcánicas del Neógeno y Pleistoceno Inferior: Precordillera de Guanacaste	116
Góngora Viejo	116
Dacita Carbonal	119
Lavas Pelón de la Bajura	125
Formación Grifo Alto	128
Brechas Paraíso	129
Sílice Cerro Pelado	130
Formación Alcántaro	131
Formación Monteverde	134
Dacitas Cañas Dulces	137
Coladas de lava y piroclastos basálticos tipo Chopo	139
Ignimbritas del Neógeno y Cuaternario	141
Toba Playa Naranjo	141
Formación Bagaces	142
Toba Limbo I	153
Toba Limbo II	155
Toba Alto Mirador	156
Toba Sandillal	157
Toba Rama de Nance	158
Toba Pan de Azúcar	159
Toba Poza Salada	161
Toba Santa Rosa	162
Toba Cuajiniquil	164
Toba La Casona	166
Toba Río Colorado	168

Toba Rodeo Viejo	171
Toba Cañas	173
Toba Montenegro	175
Formación Liberia	176
Capa Verde, Capa Santa Fe y Toba Santa Fe	181
Toba Río Liberia	185
Toba Salitral	190
Toba Buena Vista	191
Toba La Ese	193
Unidades epivolcaniclasticas y volcaniclasticas secundarias	195
Depósitos Epivolcaniclasticos	196
Fluvial Las Marías	200
Lacustre Loma Camastro	201
Brecha La Cortina	205
Avalanchas volcánicas de escombros y lahares	207
Edificios volcánicos del Cuaternario	209
Edificio volcánico Orosí-Cacao	211
Edificio volcánico Rincón de la Vieja-Santamaría	214
Edificio volcánico Miravalles-Zapote	216
Edificio volcánico Tenorio-Montezuma	220
Historia geológica	221
Mioceno Superior (11,62-5,33 Ma)	221
Plioceno Inferior (5,33-3,60 Ma) y Plioceno Superior (3,60-2,58 Ma)	223
Pleistoceno Inferior (2,58-0,78 Ma)	224
Pleistoceno Medio (0,78-0,12 Ma)	227
Pleistoceno Superior (0,12-0,01 Ma)	228
Holoceno (11 700-Presente)	228
Agradecimientos	229
Referencias	229
Apéndice. Cuadros de dataciones radiométricas	235

CAPÍTULO V

Juan P. Solano, Percy Denyer & Wendy Pérez

Caracterización petrográfica de la Formación Bagaces y las Lavas Pelón de la Bajura ...	239
Método	240
Aspectos teóricos: Metodología y terminología	240
Nomenclatura de rocas piroclásticas	242
Petrografía de la Formación Bagaces	243
Toba Alto Mirador	243
Toba Potrerillos	244
Toba Limbo I	248
Toba Sandillal	250
Toba Rama de Nance	251
Toba Pan de Azúcar	252
Toba Limbo II	252
Toba Mata de Caña	254
Toba Poza Salada	257

Toba Santa Rosa	259
Toba La Casona	261
Toba Cuajiniquil	262
Litofacies Monte del Barco	263
Toba Río Colorado	264
Toba Cañas	266
Toba Montenegro/Rodeo Viejo	268
Petrografía de las Lavas Pelón de la Bajura	270
Facies africa	271
Facies microcristalina pobre en cristales	271
Facies cristalina rica en microcristales	271
Síntesis descriptiva	272
Referencias.	274

CAPÍTULO VI

Percy Denyer, Carlos A. Vargas, Oscar H. Lücke & Juan P. Solano

Deformación y geomorfología	275
Bloques tectónicos.	276
Península de Santa Elena	278
Aspectos gravimétricos	279
Aspectos geológicos	281
Plegamiento Eoceno Superior-Mioceno	285
Deformación sinsedimentaria.	291
Meseta de ignimbrita	291
Geomorfología	295
Referencias.	298

CAPÍTULO VII

Walter Montero & Percy Denyer

Neotectónica del antearco.	301
Marco tectónico.	303
La falla Liberia: continuidad norte del sistema de falla Belén	303
La falla Salto: ¿Relevo izquierdo de la falla Carmona-Bagaces?	306
La falla Carmona-Bagaces	306
La falla dextral-normal La Giganta	314
Las zonas de deformación sinestrales de Cuipilapa y Salitral	314
La falla Palmira: Posible continuación de la falla Lepanto-Barbudal	318
Los terremotos de 1935 y 1941 y su relación con las fallas Carmona-Bagaces y Salitral.	320
Significado tectónico.	323
Conclusiones.	323
Referencias.	323
Índice de figuras	325
Unidades geológicas y términos técnicos	339
Acerca de los autores y las autoras	347



Capítulo I

Introducción

Percy Denyer

Poner a la geología como ciencia al servicio del desarrollo de un país puede ser el detonante para que se pase de una estructura de pensamiento subdesarrollado a la ostentación del paradigma que busque el desarrollo acorde con el ambiente y paralelo a la equidad social. Con esta filosofía, los autores han dirigido sus esfuerzos hacia la elaboración de este compendio de mapas, el cual viene acompañado por este texto explicativo, que describe e interpreta los principales conceptos expresados y dibujados en ellos. Este libro pretende dar una perspectiva sobre los eventos geológicos ocurridos en el noroeste de Costa Rica en los últimos 200 millones de años hasta el presente, con base en la huella dejada en las rocas y el paisaje.

Para tratar de entender el significado y la importancia del tiempo en las ciencias geológicas, se puede pensar que es análogo a la distancia en la astronomía: unas dimensiones que sobrepasan por mucho la experiencia humana. Dicho entendimiento solo se puede lograr a partir de una gran imaginación y la utilización del método científico geológico, ayudados por el desarrollo de la alta tecnología como, por ejemplo, el uso de las dataciones radiométricas. En una de sus frases más célebres, el mismo Albert Einstein afirmó: “La imaginación es más importante que el conocimiento. El conocimiento es limitado y la imaginación circunda el mundo”.

Los procesos geológicos discurren ante el ser humano de forma imperceptible, a veces por su lentitud y otras porque son el resultado de una sucesión de eventos cuya recurrencia es notablemente mayor que la magnitud del “tiempo” para el ser humano y también que la memoria histórica colectiva. Es así como, en un millón de años, el levantamiento de una montaña de un milímetro cada año equivaldrá a un ascenso de 1000 metros. Eventos que para el ser humano son catastróficos, como un terremoto o una inundación,

son pequeñas demostraciones de un planeta en constante cambio y actividad para el contexto geológico.

Los medios de comunicación evidencian claramente la vitalidad del planeta Tierra, pues a diario incluyen noticias sobre la ocurrencia de terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos, entre otros fenómenos que nunca han dejado de ocurrir, pero que actualmente la información en tiempo real permite conocer lo activo que es el planeta; además, a nivel de seres humanos, se han visto fenómenos como el avance y el retroceso de los hielos árticos y la desertificación de las llanuras africanas. Ahora, gracias a las ciencias geológicas, se sabe cuánto se levanta el Himalaya y se ensancha el océano Pacífico y por qué se mueven los continentes. No obstante, lo conocido es mínimo comparado con los enigmas que faltan por descubrir, tanto en la Tierra como en los otros planetas.

Los estudios geológicos son de una importancia tal que permiten saber que un fragmento del manto terrestre se desplazó del interior de la Tierra varias decenas de kilómetros hasta colocarse en lo que hoy es la península de Santa Elena, para posteriormente ser cubierto por sedimentos que se convirtieron en rocas sedimentarias, las cuales, como páginas de un libro, permiten conocer que algunas se formaron en el talud continental a más de 500 metros de profundidad y otras fueron producto de la precipitación química de organismos que formaban arrecifes a menos de 50 metros de profundidad. Otras rocas demuestran la existencia de tormentas que depositaron arena y bloques en un mar poco profundo, que existió desde la península de Santa Elena hasta la bahía de Salinas, extendiéndose incluso varias decenas y centenas de kilómetros en territorio nicaragüense. Grandes y violentas erupciones previas a la actual cordillera volcánica de Guanacaste devastaron y cubrieron una región que abarca desde La Cruz en el norte hasta Cañas en el sur, es decir, comprendieron lo que hoy es el Parque Nacional Santa Rosa en el oeste, así como Upala en el este.

La cordillera volcánica de Guanacaste se formó cuando el magma pasa a través de las rocas preexistentes y forma majestuosos edificios volcánicos. Ahora, y durante todo el tiempo geológico, las rocas son destruidas y transportadas para formar parte de otro sedimento, que de nuevo se convertirá en roca para continuar con el ciclo de la geología. Es así como el proceso geológico modela y esculpe el paisaje.

En una región como Costa Rica, y específicamente el sector noroeste que comprende este libro, la geodi-

versidad es sumamente alta, entendiendo este término como la “variedad de rasgos geológicos presentes en un lugar, identificados tras considerar su frecuencia, distribución y cómo éstos ilustran la evolución geológica del mismo” (Carcavilla *et al.*, 2008). Vale destacar también la importancia de esta región como legado patrimonial geológico, pues este concepto designa a un conjunto de elementos geológicos que destacan por su valor científico, cultural o educativo (Carcavilla *et al.*, 2008).

Este libro y sus mapas incluyen lo que corresponde al Área de Conservación Guanacaste (Figura 1.1) en su totalidad; zona que, desde 1999, tiene la categoría de Sitio Patrimonio Mundial otorgada por la UNESCO. Además, la península de Santa Elena goza de un estatus de interés público, según decreto publicado en el 2011, en el que, como una razón para esta declaratoria, se especifica que: “la geodiversidad, entendida como la diversidad geológica y geomorfológica, es un factor esencial que condiciona la diversidad biológica, cultural y del paisaje”.

Los modelos y la síntesis presentados en este trabajo permiten un entendimiento global de la geología del noroeste de Costa Rica. Sin embargo, este no es un tema terminado, pues, debido a la complejidad de la zona, aún quedan muchas interrogantes y problemas específicos no resueltos. En la medida de lo posible se presenta un aporte novedoso y actualizado, que toma en cuenta la mayor cantidad de información disponible, dentro de un modelo conceptual coherente con el paradigma geológico.

El objetivo final de esta obra es establecer un modelo geológico conceptualizado a partir de un punto de vista cartográfico, sin abandonar la evolución tecnológica como herramienta para la interpretación de eventos, empero, con el pensamiento de que el mapa geológico es la base de trabajo obligatoria para entender la geología de una región. El texto está dirigido a los profesionales en las ciencias geológicas, pero también al lector curioso e indagador, quien podrá sacar provecho de lo expresado en la cartografía y los textos explicativos.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Los 16 mapas geológicos que acompañan este trabajo constituyen un área de aproximadamente 6300 kilómetros cuadrados. De oeste a este y de norte a sur, las hojas cartográficas incluidas son: Santa Elena, Peñas Blancas, Bahía Salinas, Ahogados, Carrillo Norte, Orosí, Cacao, Curubandé, Monteverde, Tempisque, Cairo, Upala, Miravalles, Tierras Morenas y

Cañas. De estas, las hojas Cañas y Tierras Morenas habían sido publicadas a escala 1:100 000 (Aiazzi *et al.*, 2004 y Civelli *et al.*, 2005) y las hojas Carrillo Norte y Tempisque a escala 1:50 000 fueron parte del trabajo de Denyer *et al.* (2014); sin embargo, estas dos hojas presentan numerosos cambios y actualizaciones, principalmente en cuanto al detalle de las unidades ignimbríticas del Plio-Pleistoceno, tanto en los contactos propiamente dichos como a la conceptualización de las estructuras tectónicas (Figura 1.1).

El área presenta un relieve variado y comprende las zonas montañosas de la parte central del eje de la cordillera volcánica de Guanacaste, la cual está compuesta por cuatro edificios volcánicos principales: el Orosí, el Rincón de la Vieja, el Tenorio y el Miravalles; este último sobresale con una altura de 2028 metros. Esta cordillera tiene una alineación noroeste, como una respuesta al proceso de subducción de la placa del Coco bajo la Caribe, con una dirección

noreste. También sobresale la meseta ignimbrítica: una planicie con una altitud variable, pero primordialmente concentrada entre los 100 y 300 metros de altura, formada por la cobertura de material volcánico explosivo que cubrió una topografía existente. Las planicies aluviales no son muy extendidas, excepto por el valle del Tempisque en el sureste de la región y la planicie en el noreste de Upala, más bien están relacionadas con la tectónica que forma la depresión del lago de Nicaragua.

MATERIAL DE TRABAJO

Los mapas que acompañan este texto se hicieron a escala 1:50 000, la cual fue escogida por sus características regionales, además de ser la mayor escala que contiene una cartografía impresa de todo el territorio. Dicha escala es ideal para la realización de mapas conceptuales que, aunque no deben ser usados para

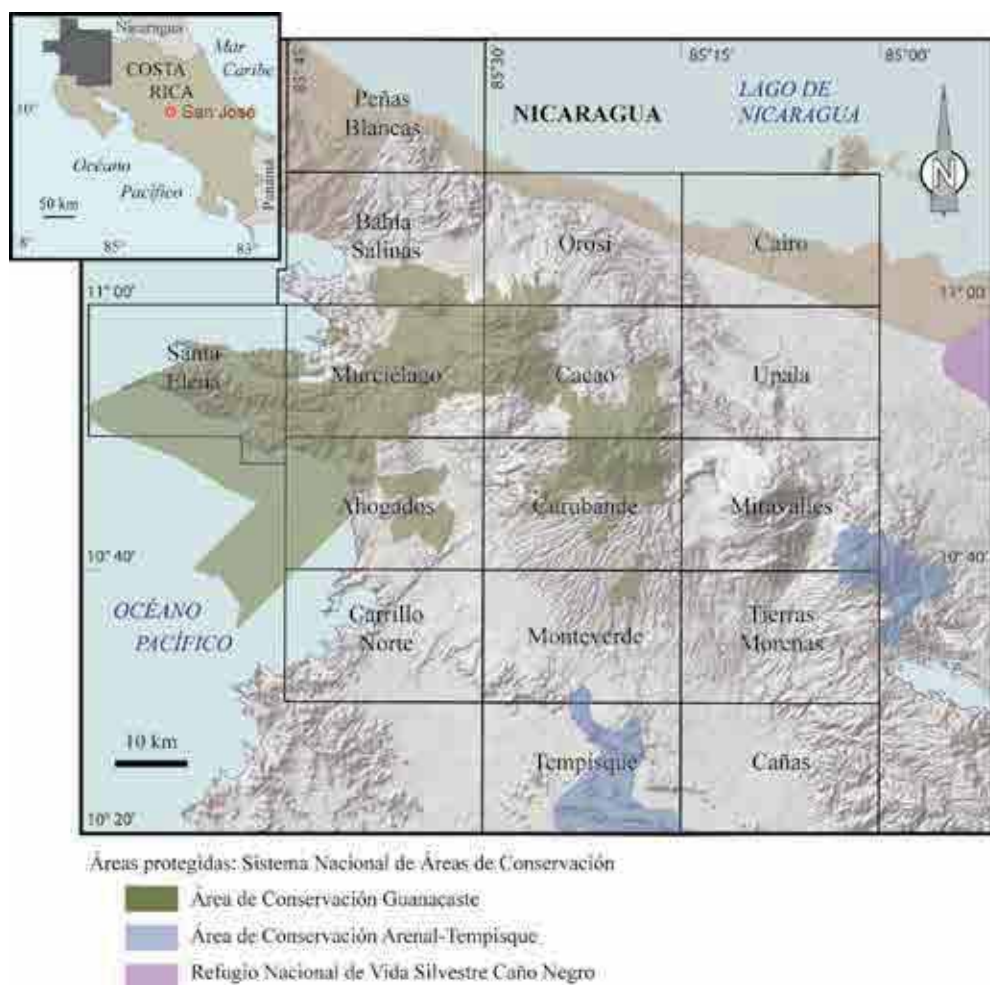


Figura 1.1: Ubicación del área que abarca este trabajo. Localización de las hojas topográficas y se muestra el área que corresponde con Áreas Protegidas del SINAC.

la realización de obras de infraestructura, pues esto requerirá de estudios de sitio específicos, si se pretende que sean el modelo geológico que enmarque la conceptualización y la organización de las unidades y las estructuras geológicas.

En general, se ha procurado que sobresalga el modelo conceptual, a pesar de que con ello se sacrifique la precisión. Los mapas pueden ser la base para la planificación y la adecuación de planes de desarrollo regionales, así como una fuente de información básica para futuros trabajos de investigación.

La obra está compuesta por un texto explicativo, que está basado en el modelo que involucra 16 mapas escala 1:50 000, un cuadro estratigráfico general y un mapa tectónico. Cada mapa incluye al menos un perfil geológico que, en muchos casos, involucra una exageración hasta de cinco veces con el fin de poder resaltar la geología. En ocasiones, tampoco se hizo la correspondiente corrección de los ángulos de buzamiento, con el fin de que se pueda tener una visión más estética del concepto geológico expresado en el perfil.

Como mapas base en el trabajo de campo se emplearon las hojas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), escala 1:50 000. Para la interpretación y la edición de los mapas geológicos, se utilizaron los mapas 1:25 000 del proyecto Terra, los cuales se modificaron en los siguientes aspectos: los límites del marco se ajustaron para que correspondieran con los del IGN, mientras que el límite de costa se digitalizó a partir de la versión del IGN, para incluir el límite de costa rocosa fundamental para la geología y hacer algunos ajustes menores en las curvas de nivel cercanas a la costa. De esta forma, los mapas son un híbrido que pretende resaltar la morfología, sacrificando la exactitud.

Por otro lado, se tomó la información de Google Earth y Google Maps (<https://maps.google.com/>) y los datos directos de trayectos del GPS para agregar detalles, de forma que la topografía y los rasgos no son los oficiales, sino que se adaptaron para resaltar los aspectos geológicos.

Con respecto a los datos batimétricos empleados, la información de las hojas cartográficas del IGN fue usada como base, junto con la adición de datos de otros mapas, tal como el del Defense Mapping Agency Hydrographic Center (1978). En vista de que, en algunos casos, la información de profundidad está en unidades métricas (m) y en otros está en brazas, y como la relación entre ambas unidades equivale prácticamente al doble (1 m=1,8288 brazas), se hicieron ajustes para mostrar una aproximación de la profundidad en

unidades métricas (m), por lo que esta información es solamente ilustrativa para demostrar la forma del suelo oceánico, el cual es en definitiva una respuesta a los fenómenos geológicos y geotectónicos.

Sobre los sistemas de coordenadas, las coordenadas geográficas basadas en los mapas del IGN se incluyen en las esquinas, las coordenadas Lambert Norte están en los bordes izquierdos e inferiores y las coordenadas CRTM-05 se muestran en el borde derecho y superior. La cuadrícula de los mapas es con base en Lambert Norte.

En este texto se utilizan algunas abreviaturas típicas de los escritos geológicos, basadas principalmente en los lineamientos de la Revista Geológica de América Central (RGAC) de la Universidad de Costa Rica (<http://www.geologia.ucr.ac.cr/revista/revista-geol.htm>). Las unidades corresponden con el Sistema Métrico Decimal.

Para el estilo general y la citación de referencias se emplea el sistema usado por la RGAC por más de 30 años, hasta el 2016, pues se considera como el más adecuado para las necesidades de las ciencias geológicas, donde hay una citación completa de autores y páginas de libros, tesis e informes. Este hecho es un tributo a la RGAC, como una publicación periódica que ha promovido la difusión de las ciencias geológicas. Esto implica el uso de itálicas para los términos en otros idiomas, uso de *et al.* por “y otros” y la utilización del símbolo “&” para las referencias.

MARCO GEOTECTÓNICO REGIONAL

Desde un punto de vista geotectónico, la península de Santa Elena se encuentra frente a la zona de subducción, en donde la placa del Coco se subduce bajo la Caribe (Figura 1.2). El litoral pacífico de Costa Rica y Panamá está conformado por complejos de afinidad oceánica que, en el noroeste de Costa Rica, corresponden con las peridotitas del *Nappe* de Santa Elena. La Zona de Fractura de Panamá delimita las placas del Coco al oeste y Nazca hacia el este. La velocidad de convergencia es cercana a los 10 cm/año (DeMets *et al.*, 1990). Costa Rica pertenece a la placa Caribe y constituye su extremo occidental en el sur de América Central (Figura 1.2).

La placa del Coco se formó hace 26 Ma, a partir de la ruptura de la placa Farallón, cuando se abrió la dorsal Coco-Nazca (Hey, 1977). La presencia de la cordillera volcánica de Guanacaste es una consecuencia directa de esta subducción. Actualmente, bajo Costa Rica se subducen cortezas formadas tanto en la dorsal del Pacífico como en la dorsal entre

las placas Coco y Nazca (Barekhausen *et al.*, 2001). La subducción normal de la placa del Coco bajo la Caribe fue interrumpida por el arribo de la cordillera del Coco (hace aproximadamente 5 Ma) (MacMillan *et al.*, 2004), la cual, desde su arribo, comenzó a subducirse bajo el territorio de Costa Rica. Esta cordillera se originó en el punto caliente de las Galápagos y su altura más alta corresponde con la isla del Coco. Su colisión contra la placa Caribe (Gräfe, 1998) tuvo un efecto tectónico en todo el país.

En la actualidad, se sabe que la subducción de un fondo marino irregular ha generado erosión tectónica, subsidencia y levantamiento de la zona del Pacífico Sur de Costa Rica. De acuerdo con Ranero & von Huene (2000) y von Huene *et al.* (1995), la erosión tectónica reconocida en Costa Rica en relación a la colisión de la cordillera del Coco pudo haberse

extendido mucho más a lo largo del margen convergente de América Central. Sin embargo, a través del tiempo geológico, el registro rocoso indica que el proceso de acreción también ha sido muy importante.

Dentro de este complicado marco geotectónico es claro que la mayor parte de la fenomenología geológica que se observa, tanto en el noroeste de Costa Rica como en el resto del territorio nacional, es una consecuencia directa o indirecta de los cambios que ocurren en el “crucigrama” geotectónico. Se comienza con el propio origen del basamento de Costa Rica a partir de fragmentos del fondo oceánico, seguido por un régimen de esfuerzos controlado por la subducción, hasta la formación y la subsidencia de las cuencas sedimentarias y las erupciones volcánicas; se termina de hacer el modelado de un paisaje cambiante.

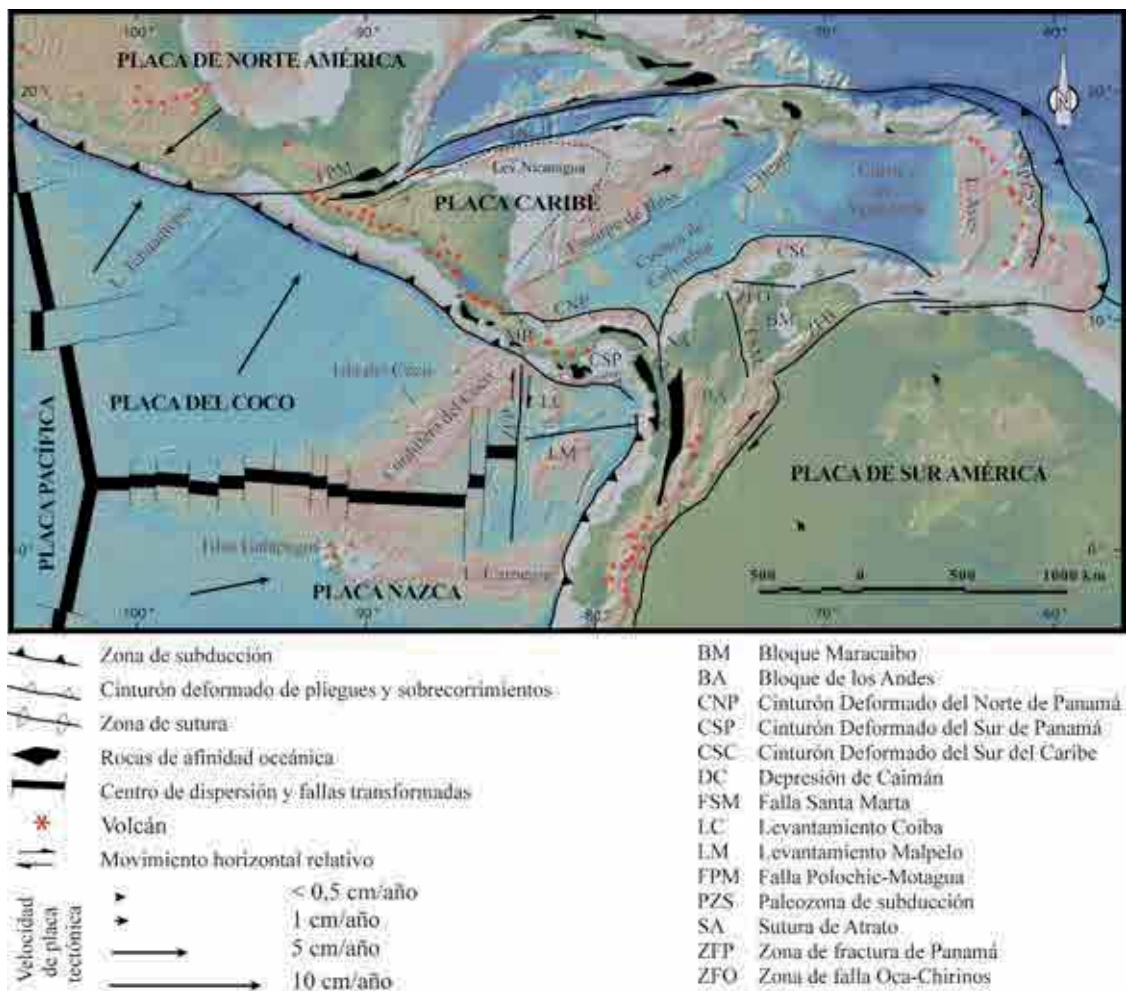


Figura 1.2: Marco geotectónico. Basado en Case *et al.* (1994), Donnelly (1994) y Mann *et al.* (1990). Base morfológica de GeoMapApp, <http://www.geomap.org>, Ryan *et al.* (2009). Velocidad de placa tectónica calculada con *Plate Motion Calculator* de UNAVCO (<http://www.unavco.org>). Se usó el modelo MORVEL 2010 (DeMets *et al.*, 2010), con velocidades con respecto a África.

¿CÓMO SE DESARROLLÓ ESTE TRABAJO?

Este trabajo inició con una serie de visitas aisladas para apreciar diferentes eventos geológicos, aproximadamente a partir de inicios del siglo XXI, en las que se visitaron varias veces las islas Murciélagos con el biólogo Jorge Cortés, de las cuales salió una publicación sobre las dunas fósiles (Denyer *et al.*, 2006). Otras giras y discusiones con Peter O. Baumgartner y Esteban Gazel también culminaron con publicaciones (Denyer *et al.*, 2006; Gazel *et al.*, 2006; Baumgartner & Denyer, 2006; y Denyer & Gazel, 2009). Posteriormente se hicieron otras giras, muchas de ellas con estudiantes del curso de Geología de Campo II de la Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica. En el año 2011 se hizo una gira a la península de Santa Elena con Esteban Gazel, Pilar Madrigal, entre otros; gira en la cual se recogió el material para la investigación que culminó con la publicación de Madrigal *et al.* (2015).

A partir del año 2012 se intensificaron las visitas a la región, ya no solo a la península de Santa Elena, sino que además se incorpora la parte sedimentaria, por lo que empieza a participar Teresita Aguilar. La presencia de la cobertura volcánica despierta el interés de Guillermo E. Alvarado y se incorpora en el proyecto. Por otro lado, Carlos A. Vargas se une al grupo a partir del análisis de información estructural, mientras que Oscar Lücke hace una serie de mediciones gravimétricas en la península de Santa Elena.

Al seguir el fallamiento neotectónico de la península de Nicoya hacia el norte, Walter Montero incluye en la investigación el fallamiento de Bagaces y las fallas asociadas. Se incorporan dos tesis de Licenciatura: la de Juan P. Solano y la de Geisell Barrantes, en la primera de estas, la vulcanóloga Wendy Pérez funge como codirectora. Otros geólogos que dieron sus valiosos aportes fueron: Pablo Herrera, Gerardo J. Soto, Manuel Barrantes, Eduardo Vega, Waldo Taylor y Kenneth Pérez. Por su parte, Juan E. Vargas hizo una detallada revisión de los mapas geológicos. La filóloga Mariela Mata Li hizo una revisión minuciosa de este manuscrito. La diagramación fue hecha por el editor del libro, durante este proceso los consejos de Mariano Chinchilla fueron muy provechosos. De parte de la Editorial de la Universidad de Costa Rica se recibió el acompañamiento de Boris Valverde, Grettel Calderón, Abraham Ugarte, Aida E. Cascante y Olger Calderón.

Vale recalcar la invaluable ayuda del Área de Conservación Guanacaste (ACG) en el trabajo

de campo, especialmente la de María M. Chavarría, quien incluyó a la geología como parte integral de su vida, por lo que sus comentarios y observaciones fueron de gran utilidad y sin cuya colaboración no se hubieran podido lograr los objetivos mínimos del proyecto. Además, su director, Alejandro Masís, siempre apoyó la idea y se espera hacer nuevos trabajos e investigaciones bajo su tutela. Roger Blanco, como encargado de investigación, le dio un gran impulso a este trabajo, junto con Julio Díaz, Luis F. Garita y Felipe Chavarría. Muchos otros funcionarios de ACG también colaboraron, tales como José Angel Calvo y Christopher Valle. Además, Olger Lara, Minor Lara, Aníbal Lara y Keylor Alfaro participaron como botes en los recorridos.

Como se indicó anteriormente, el trabajo más sistemático se inició con giras bimensuales en el 2012. La investigación se desarrolló en varios frentes de trabajo, los cuales podrían resumirse en

- Estudio del basamento, predominantemente ígneo.
- Levantamiento de la cobertura sedimentaria del Cretácico al Paleógeno.
- Análisis, petrografía e interpretación estratigráfica de las unidades volcánicas del Mioceno terminal al Plio-Pleistoceno.
- Fallamiento y deformación.

Aunque sería más sencillo decir que se siguió un orden metodológico establecido para el desarrollo de esta investigación, la realidad es que este trabajo se avanzó en un ir y devenir entre nuevas conclusiones y el planteamiento de premisas y parámetros iniciales. Aspectos tan básicos como el estudio de fotografías aéreas que, según los principios metodológicos, debe hacerse al inicio, en realidad se efectuó cuando hizo falta para solucionar temas o dificultades específicas.

De la misma forma, la petrografía no se realizó durante el desarrollo del trabajo, sino cuando apareció un estudiante que lo hiciera como su tesis de graduación. El “entender” no fue el fin último, sino más bien el comprender y el explicar un fenómeno natural mediante las leyes geológicas fundamentales, a la vez que se tenía el disfrute de la visualización del fenómeno geológico. Es así como se defiende la posibilidad de investigación en ciencias -entre ellas, la geología- que navegan entre parámetros irrepetibles y no reproducibles por su naturaleza dimensional e imposibilidad de repetir el tiempo y el espacio, pero que finalmente pueden aportar a la conclusión del principio y el inicio del final.

El método de la ciencia, y muy especialmente el método geológico, debe considerar el devenir de las ideas y la evaluación de nuevos pasos y estados en el desarrollo y la evolución de las hipótesis, las premisas y, por supuesto, las conclusiones. En definitiva, el método científico no es un ejercicio estático y rutinario, sino activo y evolutivo, que transforma las ideas desde su misma creación hasta la ejecución de la hipótesis, la cual termina en un modelo vacilante y cambiante de la geología de una región. La consecución del modelo geológico de una “región” o un “objeto”

es el fin último del proceso geológico, hacerlo es la finalidad de este documento.

¡LOS 7 SITIOS QUE NO PUEDEN DEJAR DE VERSE!

Dentro de la magnificencia del paisaje geológico de esta región, algunos sitios pueden considerarse íconos o, más bien, monumentos, que deben formar parte de su patrimonio geológico (Figura 1.3), los cuales se describen brevemente a continuación:

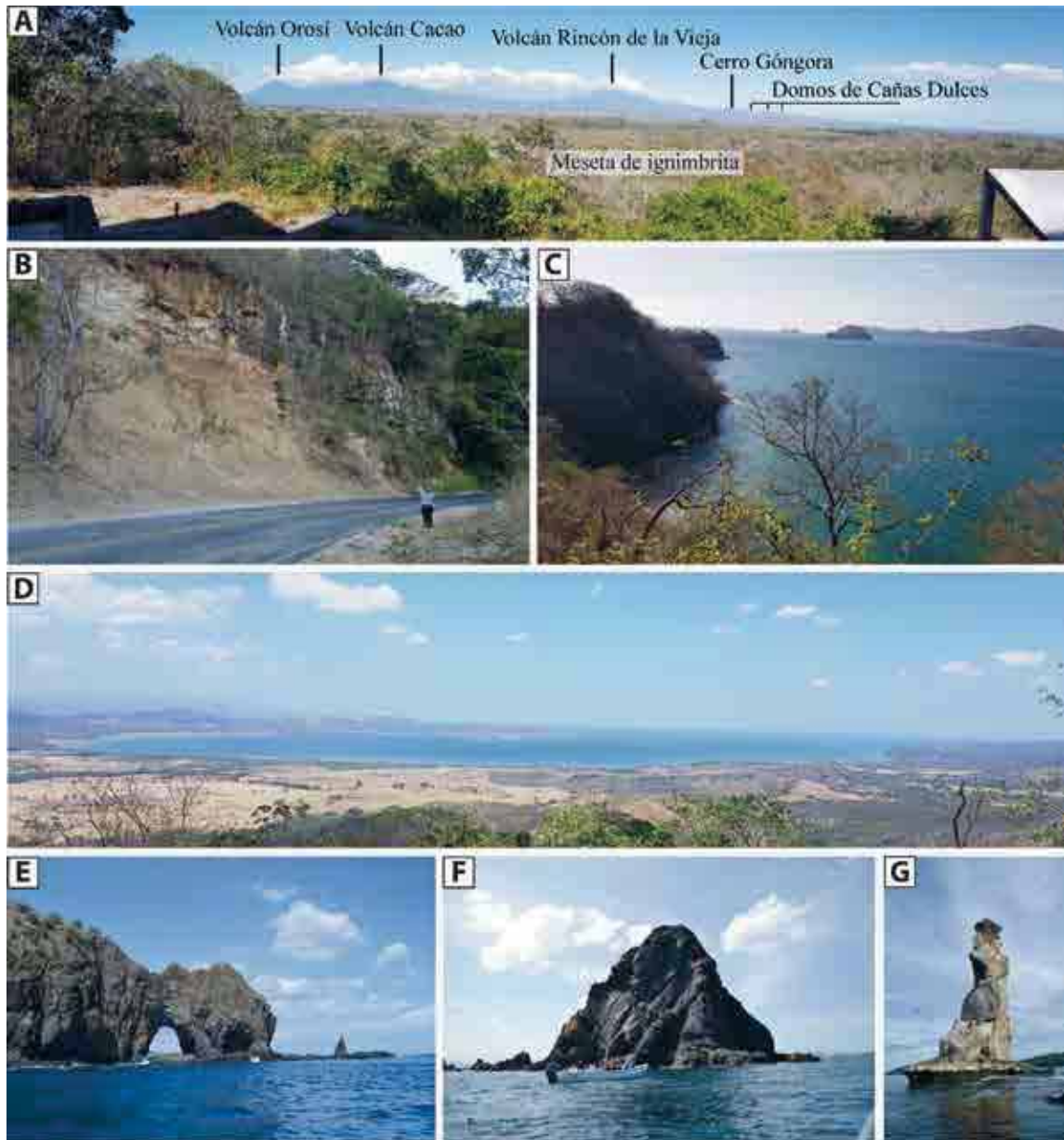


Figura 1.3: A) Vista de la cordillera volcánica de Guanacaste. B) Discordancia La Cortina. C) El mirador de bahía Junquillal. D) Mirador bahía Salinas. E) El Arco. F) Punta Santa Elena. G) Isla El Muñeco.

- El Monumento de los Héroes (Figura 1.3 A) se encuentra ubicado en el Parque Nacional Santa Rosa (10°50'03"/85°36'41"), cerca de La Casona, y ofrece una vista donde se observan los volcanes Orosí, Cacao y Rincón de la Vieja, así como el cerro Góngora y los domos de Cañas Dulces.
- La discordancia de La Cortina (Figura 1.3 B) se localiza en la cuesta de La Cortina, en la carretera para llegar al poblado de Cuajiniquil (10°56'52"/85°39'22"). Se observan los estratos sedimentarios inclinados de la Formación Junquillal, que tuvieron erosión y el desarrollo de un suelo y fueron cubiertos por una erupción volcánica explosiva de la Formación Bagaces.
- El Mirador (Figura 1.3 C) es un sitio en la carretera de Cuajiniquil a La Cruz (10°57'44"/85°41'51"), desde donde se observa la bahía Junquillal. Destacan las islas El Muñeco y Despensa. La primera está compuesta por calizas de la Formación Punta Pelada y la segunda por areniscas y brechas de la Formación Junquillal.
- El Mirador de La Cruz (Figura 1.3 D) está en las instalaciones de la Municipalidad de La Cruz (11°04'20"/85°38'12"). Se observa la bahía de Salinas, formada por un pliegue tipo sinclinal, que afecta a la Formación Junquillal. Destaca la isla Bolaños.
- El Arco de isla San José (Figura 1.3 E), ubicado en el archipiélago de islas Murciélagos, al sureste de la península de Santa Elena (10°51'07"/85°54'51"), es un ejemplo de la erosión marina de rocas basálticas del Complejo de Nicoya.
- La punta Santa Elena (Figura 1.3 F) es el punto continental más occidental de Costa Rica (10°53'23"/85°57'04") y está compuesta por peridotitas, rocas provenientes del manto terrestre e intrusiones de tipo dolerita.
- El Muñeco (Figura 1.3 G) es un relicto de erosión en la isla El Muñeco (10°58'57"/85°43'07"), formado por calizas de la Formación Punta Pelada.

REFERENCIAS

- AIAZZI, D., FIORLETTA, M., CIVELLI, G., CHIESA, S. & ALVARADO, G.E., 2004: Geología de la hoja Cañas.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 30: 215-233.
- BARCKHAUSEN, U., RANERO, C.R., VON HUENE, R., CANDE, S.C. & ROESER, H., 2001: Revised tectonic boundaries in the Cocos Plate off Costa Rica: Implications for the segmentation of the convergent margin and for plate tectonic models.- *Jour. Geophys. Research*, 106: 19207-19220.
- BAUMGARTNER, P.O. & DENYER, P., 2006: Evidence for middle Cretaceous accretion at Santa Elena Peninsula (Santa Rosa Accretionary Complex), Costa Rica.- *Geologica Acta*, 4(1-2): 179-19.
- CARCAVILLA, L., DURÁN, J.J. & LÓPEZ-MARTÍNEZ, J., 2008: Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico.- VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria. *Geo-Temas*, 10: 1299-1303.
- CASE, J.E., HOLCOMBE, T.L. & MARTIN, R.G., 1994: Map of geologic provinces in the Caribbean region.- *Geol. Soc. Am. Memoir*, 184: 1-30.
- CIVELLI, G., LOCATI, U., BIGIOGGERO, B., CHIESA, S., ALVARADO, G.E. & MORA, O., 2005: Geología de la hoja Tierras Morenas.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 33: 99-110.
- DEFENSE MAPPING AGENCY HYDROGRAPHIC CENTER, 1978: West coast of Central America: San Juan del Sur to Punta Judas Chart 21540.- Mapa escala 1:290 420. Defense Mapping Agency Hydrographic Center, Washington D. C.
- DeMETS, C., GORDON, R. & ARGUS, D., 2010: Geologically current plate motions.- *Geophys. Journ. International*, 181: 1-80.
- DeMETS, C., GORDON, R.G., ARGUS, D.F., STEIN, S., 1990: Current plate motions. *Geophys. Jour. International*, 101: 425-478.
- DENYER, P. & GAZEL, E., 2009: The Costa Rican Jurassic to Miocene oceanic complexes: Origin, tectonics and relations.- *Journal of South American Earth Sciences*, 28: 429-442.
- DENYER, P., BAUMGARTNER, P.O. & GAZEL, E., 2006: Characterization and tectonic implications of Mesozoic-Cenozoic oceanic assemblages of Costa Rica and Western Panama.- *Geologica Acta*, 4(1-2): 219-235.
- DENYER, P., CORTÉS, J. & CÁRDENAS, G., 2006: Hallazgo de dunas fósiles de final del Pleistoceno en las islas Murciélagos, Costa Rica.- *Rev. Geol. Amér. Central*, 33: 23-35.
- DENYER, P., AGUILAR, T. & MONTERO, W., 2014: Cartografiado geológico de la península de Nicoya: Estratigrafía y Tectónica.- 208 págs. Ed. UCR, San José.
- DONNELLY, T.W., 1994: The Caribbean Cretaceous basalt association: a vast igneous province that includes the Nicoya Complex of COSTA RICA.- *Profil*, 7: 17-45.
- GAZEL, E., DENYER, P. & BAUMGARTNER, P. O., 2006: Magmatic and geotectonic significance of Santa Elena Peninsula, Costa Rica.- *Geologica Acta*, 4(1-2): 193-202.
- HEY, R., 1977: Tectonic evolution of the Cocos-Nazca spreading center.- *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 88: 1404-1420.
- MACMILLAN, I., GANS, P.B. & ALVARADO, G., 2004: Middle Miocene to present plate tectonic history of the southern Central American Volcanic Arc.- *Tectonophysics*, 392: 325-348.
- MADRIGAL, P., GAZEL, E., DENYER, P., SMITH, I., JICHA, B., FLORES, K.E., COLEMAN, D. & SNOW, J., 2015: A melt-focusing zone in the lithospheric mantle preserved in the Santa Elena Ophiolite, Costa Rica.- *Lithos*, (230): 189-205.
- MANN, P., SHUBERT, C. & BURKE, K., 1990: Review of Caribbean neotectonics.- *Geol. Soc. Am. The geology of North America*, Volume H: 307-338.
- RANERO, C.R. & VON HUENE, R., 2000: Subduction erosion along the Middle America convergent margin.- *Nature*, 13(6779): 748-52.
- RYAN, W.B.F., CARBOTTE, S.M., COPLAN, J.O., O'HARA, S., MELKONIAN, A., ARKO, R., WEISSEL, R.A., FERRINI, V., GOODWILLIE, A., NITSCHKE, F., BONCZKOWSKI, J. & ZEMSKY, R., 2009: Global Multi-Resolution Topography synthesis.- *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 10, Q03014, doi: 10.1029/2008GC002332.
- VON HUENE, R., BIALAS, J., EMEIS, K., FLUH, E., LEANDRO, C., CROPP, B., CSERNOK, T., FABEL, E., PEREZ, I., FLORES, A., HOFFMANN, J., HOLLER, P., LEON, R., BARRIOS, O., CHAVARRIA, J., JESCHKE, G. & ESCOBEDO, D., 1995: Morphotectonics of the Pacific margin of Costa Rica, editor P. Mann, en *Geologic and Tectonic development of the Caribbean plate boundary in Central America*, Spec. Publ. Geol. Soc. Amer., 295: 291-307.

Acerca de los autores y las autoras

Todos los autores y autoras que participan en este libro son costarricenses e hicieron estudios de educación superior en la Universidad de Costa Rica (UCR). Los geólogos de profesión obtuvieron su grado de bachiller en la Escuela Centroamericana de Geología (ECG) de la UCR y otro profesional en Ciencias Biológicas en la Escuela de Biología de la UCR. Varios de los autores laboran o han trabajado en el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Percy Denyer: Geólogo, con título de doctorado de la Universidad de Costa Rica, profesor de la ECG y exdirector de esta institución. Actualmente es el director del Centro de Investigación en Ciencias Geológicas (UCR).

Guillermo E. Alvarado: Geólogo, con título de doctorado de la Universidad de Kiel (Alemania). Fue profesor de la ECG. Por muchos años laboró en el ICE y actualmente labora en la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias.

Teresita Aguilar: Geóloga, con un título de maestría de la UCR. Es profesora retirada y exdirectora de la ECG.

Walter Montero: Geólogo, con título de maestría de la Universidad Autónoma de México. Es profesor retirado y exdirector de la ECG.

Pilar Madrigal: Geóloga, con título de doctorado del Virginia Tech. Actualmente es profesora de la ECG.

Oscar Lücke: Geólogo, con título de doctorado de la Universidad de Kiel. Actualmente es profesor de la ECG.

Esteban Gazel: Geólogo, con título de doctorado de la Universidad de Rutgers. Actualmente es profesor de la Universidad de Cornell.

Wendy Pérez: Geóloga, con título de doctorado de la Universidad de Kiel. Actualmente trabaja en Alemania en la compañía Erwatec.

Carlos A. Vargas: Geólogo, con título de maestría de la Universidad de Nuevo México. Actualmente trabaja para la empresa minera Randgold Resources.

Juan P. Solano: Geólogo, con título de licenciatura de la ECG. Actualmente trabaja para la empresa Tecnoambiente y es colaborador del CICG.

Geisell Barrantes: Geóloga, con título de licenciatura de la ECG. Actualmente trabaja con la Municipalidad de Liberia.

Pablo Herrera: Geólogo de la ECG. Por muchos años trabajó en Papagayo (Guanacaste) y actualmente trabaja en la Municipalidad de Mora.

María M. Chavarría: Bióloga de la UCR. Actualmente trabaja en el Área de Conservación Guanacaste.

Gerardo J. Soto: Geólogo, cuenta con una maestría de la Universidad Latina. Actualmente es consultor y profesor de la ECG.

Eduardo Vega: Geólogo, con un título de licenciatura de la ECG. Actualmente labora para el ICE.

Waldo Taylor: Geólogo, con título de maestría de lBergen. Actualmente labora para el ICE.

Kenneth Pérez: Geólogo de la ECG. Trabajó varios años en el ICE. Actualmente trabaja como consultor.

Manuel Barrantes: Geólogo de la ECG. Actualmente labora para el ICE.

Esta es una
muestra del libro
en la que se despliega
un número limitado de páginas.

Adquiera el libro completo en la
Librería UCR Virtual.

LIBRERÍA
UCR

VIRTUAL

Se pretende con este libro dar una perspectiva geológica, desde distintos puntos de vista, de la región noroeste de Costa Rica. Para esto se incluyen siete capítulos que abarcan temas geológicos fundamentales, como son: estratigrafía, petrología, vulcanología y tectónica. Además, se presentan 16 mapas geológicos a escala 1:50 000, un cuadro estratigráfico sintético y un mapa tectónico generalizado. Este trabajo incluye toda el área correspondiente al Área de Conservación Guanacaste.

Los autores parten del concepto de que el mapa geológico es el elemento primigenio para la conceptualización del modelo geológico. A partir de esto, se pueden desarrollar, con mayor propiedad, estudios específicos tanto de índole académico como aplicado.

Basados en un punto de vista geológico, esta región es excepcional, pues representa una síntesis de la historia geológica de Costa Rica. Desde un basamento que proviene del manto terrestre y rocas ígneas y sedimentarias asociadas de hasta unos 150 millones de años; incluye las rocas sedimentarias que se depositaron desde los 65 a los 25 millones de años, hasta los productos volcánicos que se registran desde los 8 millones de años hasta el presente. Esto solo por mencionar los eventos más relevantes.

La geología de esta región debe ser considerada como parte del legado patrimonial del país, entendiendo por patrimonio geológico el conjunto de elementos geológicos que destacan por su valor científico, cultural o educativo.

Autores

<i>Teresita Aguilar</i>	<i>Walter Montero</i>	<i>María M. Chavarría</i>
<i>Guillermo E. Alvarado</i>	<i>Wendy Pérez</i>	<i>Gerardo J. Soto</i>
<i>Percy Denyer</i>	<i>Juan P. Solano</i>	<i>Eduardo Vega</i>
<i>Esteban Gazel</i>	<i>Carlos A. Vargas</i>	<i>Waldo Taylor</i>
<i>Oscar H. Lücke</i>	<i>Geisell Barrantes</i>	<i>Kenneth Pérez</i>
<i>Pilar Madrigal</i>	<i>Pablo Herrera</i>	<i>Manuel Barrantes</i>

ISBN 978-9968-46-797-1



9 789968 467971



CICG

Centro de
Investigación en
Ciencias Geológicas