

## GEOLOGIA DEL NORTE DE LA PENINSULA DE NICOYA, COSTA RICA

Percy Denyer & Olman Arias

Escuela Centroamericana de Geología, Universidad de Costa Rica,

Apdo. 35, 2060 UCR, San José, Costa Rica

**ABSTRACT:** The outcropping stratigraphic sequence of the following quadrangles is shown: Belén, Carrillo Norte, Matapalo and Punta Gorda. We mapped the following geologic units:

The Nicoya Ophiolitic Complex is constituted by basalts, radiolarites and the Potrero Intrusive, which is composed by gabros, diabases and plagiogranites. Probably, the origin of the Potrero Intrusive is related to a hot spot.

The sedimentary cover begins with hemipelagic rocks of the Sabana Grande Formation, which are overlaid by neritic and talud deposits of the Barbudal Formation, Rivas (or Curú) Formation and Brito (or Descartes) Formation. These units belong to the Upper Cretaceous and Paleogene.

The Ignimbrites of the Liberia and Bagaces Formations are covering the ophiolitic rocks and/or the sedimentary rocks in the north of the area.

The alluvial Quaternary deposits are showing recent tectonic movement, which is confirmed by abrasion terraces uplifted in several locations on the shoreline.

**RESUMEN:** Se presenta la estratigrafía generalizada de las hojas topográficas Belén, Carrillo Norte, Matapalo y Punta Gorda. En las cuales se cartografiaron las siguientes unidades:

El Complejo de Nicoya, constituido por basaltos, radiolaritas y el Intrusivo Potrero. Este último se describe por primera vez y se incluyen las siguientes litologías en esta formación: gabros, doleritas y plagiogranitos. El origen de esta unidad puede estar relacionado con un punto caliente.

La cobertura sedimentaria se inicia con las rocas hemipelágicas de Sabana Grande, las que están sobreyacidas por rocas neríticas y del talud de las formaciones Barbudal, Rivas (o Curú) y Brito (o Descartes), con edades del Cretácico Superior al Paleógeno.

Los depósitos ignimbríticos de las formaciones Liberia y Bagaces cubren la secuencia ofiolítica y/o sedimentaria en el norte del área.

Los depósitos aluviales Cuaternarios evidencian una tectónica reciente con la formación de terrazas en el río Brasil, lo cual es reafirmado por una costa que muestra plataformas recientemente levantadas.

### INTRODUCCION

Desde el punto de vista geológico, la Península de Nicoya es una de las regiones de Costa Rica más diversas y complejas. A pesar de la gran cantidad de estudios específicos no existe un cartografiado de la región a una escala de mayor detalle que 1:200 000 (Dengo, 1962 b; MIEM, 1982; H.-J Gursky et al., 1984). Por esto hemos emprendido el cartografiado del norte de la Península (Arias & Denyer, 1992a-b; Denyer & Arias, 1991).

La utilidad del mapa geológico como información base es indispensable para sustentar

todo trabajo geológico más específico, principalmente en casos como el de la Península, que por su ubicación geotectónica constituye una región donde los diferentes eventos geológicos que han ocurrido, dificultan el encontrar explicaciones diáfanos como causalidad del fenómeno geológico.

Este trabajo tiene como principal objetivo el mapeo y descripción de las unidades litoestratigráficas que afloran en el norte de la Península de Nicoya, entre las coordenadas Lambert Costa Rica Norte 257.5 y 294.3 norte y 330.0 y 372.3 este; cubriendo las siguientes hojas topográficas 1:50 000 del Instituto Geográfico

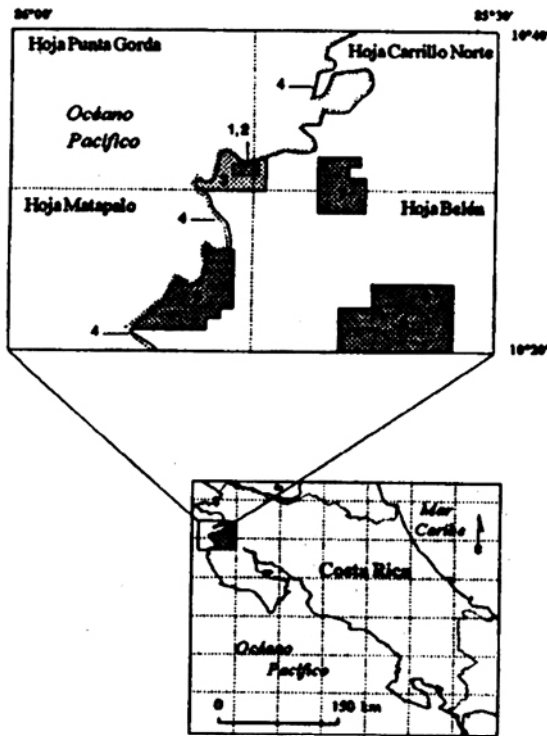


Fig. 1: Mapa de ubicación. Los cartografiados geológicos anteriores usados se muestran numerados. 1- Flores (1976), 2- Alán (1978), 3- Escalante (s.f.), 4- Gursky, H.-J. (1989), 5- Campaña Geológica 1990: M. Barrantes, G. Muñoz, S. Rivera y C. Villalta; 6- Campaña Geológica 1990: R. Chavarría, R. Fernández, R. Pérez, J. Torres y J.C. Varela; 7- Campaña Geológica 1991: J. Barrantes, S. Castro, R. Ramírez y W. Taylor.

Nacional: Carrillo Norte, Belén, Matapalo y Punta Gorda. Los mapas geológicos acompañan esta publicación y se agruparon en tres mapas: Arias & Denyer (1992 a y b) y Denyer & Arias (1992).

Las unidades geológicas que se han descrito y cartografiado corresponden a aquellas que pueden ser fácilmente reconocidas en el campo utilizando criterios litoestratigráficos. Se incluyen los resultados del mapeo realizado por los autores en el desarrollo del proyecto de investigación de la Universidad de Costa Rica N°113-90-071: "Análisis Geo-estructural de Costa Rica" con el apoyo, en áreas específicas, de las Campañas Geológicas de la Escuela de Geología de los años 1990 y 1991 (Fig. 1).

## Metodología de trabajo

Se considera, como principio básico, que cualquier cartografiado en estas unidades debe basarse en criterios claros de reconocimiento en el campo, mientras que los datos geoquímicos y de detalle paleontológico y sedimentológico pueden posteriormente ser correlacionados, dentro del cuadro estratigráfico previamente establecido. Con este concepto se emprendió el estudio cartográfico de esta área de la Península de Nicoya. Evidentemente, no son unidades geológicas de fácil mapeo, tanto por la complejidad estructural como por las dificultades del reconocimiento litológico.

Se trabajó con base en un cartografiado de afloramientos a escala 1:50 000 y 1:12 500, y la información se procesó en una escala de 1:50 000 (Arias & Denyer, 1992 a y b; Denyer & Arias, 1992).

Se delimitaron tres unidades litoestratigráficas dentro del Complejo: basaltos, radiolaritas e intrusivos (gabros, doleritas y plagiogranitos); en los mapas geológicos (Arias & Denyer, 1992 a-b y Denyer & Arias, 1992) no se diferencian los diferentes tipos de intrusivo.

La cobertura sedimentaria está representada por calcilitas y lutitas silíceas del Grupo Sabana Grande (Cretácico Superior), intercalaciones de lutita, arenisca, conglomerado y caliza de las formaciones Barbudal, Barra Honda, Rivas (o Curú) y Brito (o Descartes), los cuales pertenecen al Paleógeno o Cretácico terminal.

## MARCO GEOLOGICO REGIONAL Y TRABAJOS ANTERIORES

### Aspectos Geo-estructurales

Dengo (1962b) establece por primera vez un marco geo-estructural de la Península de Nicoya al denominar a un grupo litológico como "Complejo de Nicoya".

Existen diferentes modelos estructurales sobre el Complejo de Nicoya y algunos de ellos coinciden en la mecánica de emplazamiento. Galli-Olivier (1979), Schmidt-Effing (1980), Bourgois et al. (1984) y Baumgartner (1987) entre otros, consideran válido el modelo de prisma acrecional en el cual "tajadas" de corteza oceánica forman las diferentes unidades del Complejo de Nicoya.

Galli-Oliver (1979), propone la Península de Nicoya como un prisma acrecional originado a partir de la colisión de la placa Pacífica con la Caribe en el Santoniano Superior o Campaniano Inferior. Tal acreción se vio facilitada por fallas transcurrentes normales a la fosa.

De Boer (1979) propone el origen del Complejo de Nicoya a partir de la dorsal de Carnegie durante el Coniaciano y que la fragmentación de las placas Caribe y Cocos en el Paleoceno da origen a dos fajas volcánicas en el valle del Tempisque. Con el inicio de la subducción en el Oligoceno, se asocia el volcanismo de la cordillera de Tilarán además propone tres eventos deformacionales: el primero N-S, compresivo durante el Campaniano, de características dúctiles. El segundo NNW-SSW, compresivo durante el Paleoceno-Eoceno, de características frágiles. El tercero y último NE-SW, compresivo con características frágiles y dúctiles, el cual culmina con el establecimiento del arco volcánico de Talamanca-Tilarán, durante el Mioceno.

Kuijpers (1979 y 1980) propone tres fases tectónicas: la primera compresiva, que dio origen al sobrecorrimiento de la Unidad Esperanza sobre la Unidad Matapalo, provocando también plegamiento isoclinal con ejes aproximadamente norte-sur. La segunda fase también compresiva pero frágil, se caracterizó por la formación de planos "S" y pliegues de amplitudes hectométricas. La tercera y última de las fases se caracteriza por un predominio de fallamiento normal, afectando principalmente a las rocas plegadas.

Schmidt-Effing (1980) propone un origen de la Península de Nicoya a partir de la dorsal asísmica "Nicoya-Azuero", que se desarrolló después del Jurásico sobre la corteza oceánica primaria. Esta dorsal se desplazó en dirección de la zona de subducción de "Nicaragua-Panamá", dándose la colisión por el arribo de la dorsal asísmica a la fosa en el Campaniano, y así se inició el proceso que culmina con la formación de la Fosa Mesoamericana. Durante el desplazamiento de la dorsal asísmica se dio una serie de subcomplejos, así como de movimientos verticales importantes. Propone también un vulcanismo relacionado con fallas WNW a NW, las cuales se formaron desde el Campaniano hasta el Eoceno, siendo más jóvenes cuánto más al oeste. Después de la destrucción de la dorsal

asísmica y de la formación del subcomplejo de Quepos en el Paleoceno-Eoceno, se dio la formación de la actual zona de subducción. Se construye un prisma de acreción no relacionado genéticamente con el Complejo, el cual se forma por procesos de bajo corrimiento y después del Eoceno se orienta hacia el continente.

Auboin et al. (1982) proponen una compresión N-S durante el Cretácico inferior producto de los movimientos entre Norte y Sur América.

Lundberg (1983) compara el origen del Complejo de Nicoya con un frente de arco tipo Mariana, el que se caracteriza por estar constituido por prismas acrecionales, pero no implica que se trate de un "mélange" acrecional.

Baumgartner et al. (1984) dividen la historia geológica del litoral Pacífico en dos fases. La primera pre-Campaniana, que consiste en una compresión N-S, la cual produjo el sobrecorrimiento de las peridotitas de Santa Elena y el Complejo de Nicoya. La segunda fue post-Santoniana, en la cual se establece la Fosa Mesoamericana como margen convergente extensional (Auboin et al., 1984) y a partir de este momento los plegamientos y fallamientos son moderados, con ausencia de estructuras de acreción. Baumgartner (1987) coloca a la unidad Esperanza que Kuijpers consideraba la unidad cabalgante como el autóctono relativo.

Gursky, H.-J. et al. (1982) y Gursky, M. (1988) proponen cuatro eventos compresivos ortogonales entre sí. El primero en el post-Albiano a pre-Campaniano con sentido NW-SE; un segundo evento con rumbo NE-SW en el Campaniano; el tercero con dirección NW-SE en el Eoceno y el último con rumbo NE-SW. Las compresiones con dirección NE están relacionados con el movimiento de placas, que está todavía activo. Las compresiones NW pueden ser originadas por esfuerzos suprarregionales (M. Gursky, 1991). Gursky, H.-J et al. (1984) presentan cuatro mapas de la Península de Nicoya, que incluyen los aspectos estratigráficos, petrológicos, geoquímicos y estructurales. Este último lo constituye principalmente el trazado de lineamentos y su análisis estadístico, mediante la representación gráfica de la rosa de lineamentos.

Meschede et al. (1988) consideran que el Complejo de Nicoya se originó en una dorsal activa del Pacífico, la cual fue emplazada hasta

una posición aproximada a la actual por el desplazamiento del fondo oceánico. Basaltos alcalinos originados en regiones intraplaca están relacionados con el fenómeno del "sill event" que causó el engrosamiento de la corteza por inyección de diques basálticos y que originó la Placa Caribe, así como la fragmentación de la misma con respecto a la Placa Farallón, precursora de la Placa Pacífica.

Sick (1989) con base en estudios paleomagnéticos, llega a la conclusión de que los complejos ofiolíticos se formaron a partir del Jurásico en una posición ecuatorial.

### Aspectos estratigráficos

Las primeras menciones en la literatura sobre la geología de la Península de Nicoya provienen de Sapper en 1905 (cit. en Hoffstetter et al., 1960), quien se refiere a la cuarcita de "El Sardinal". Romanes (1912) describe pedernales radiolaríticos, doleritas y posibles basaltos en diferentes localidades de la Península de Nicoya. Mac Donald (1920/1921) se refiere a las "lavas de la Península de Nicoya". Otros autores como Sears (1919), Webber (1942) y Roberts (1944), al describir las mineralizaciones de manganeso, hacen referencias a la roca encajante. Dengo (1962 a y b) denomina formalmente al Complejo de Nicoya, nomenclatura usada por la Compañía Petrolera en Nicoya, Burica, Osa y Herradura.

La mayoría de los autores han aceptado la subdivisión del Complejo de Nicoya, establecida por Kuijpers (1979 y 1980): Unidad Matapalo la inferior, y Unidad Esperanza la superior. Burgois et al. (1984) y Baumgartner (1984 y 1987) hacen algunas modificaciones a esta estratigrafía.

Gursky H.-J. & Schmidt-Effing (1983) y Wildberg (1984) prefieren adoptar un equivalente al que denominan: Complejo de Nicoya Inferior, Complejo de Nicoya Superior y la Formación Punta Conchal. Valga mencionar que Schmidt-Effing (1980) propone 6 subcomplejos. DeBoer (1979) introduce 3 unidades: Sardinal, Junquillal y Santa Elena.

La edad definida para el Complejo de Nicoya ha sido analizada con diferentes métodos de datación, pero sí se puede observar que la mayoría de los autores recientes concuerda en establecer un rango de edades que oscila entre el Jurásico Temprano al Terciario Temprano (Baumgartner, 1987).

La cobertura sedimentaria que sobreyace al Complejo de Nicoya, de edad Cretácico Superior-Paleógena, fue generada básicamente por la erosión de las volcanitas del arco de islas ancestral (Galli, 1979).

Dengo (1962b), al efectuar estudios en la región de Guanacaste, estimó que sobre el Complejo de Nicoya yacen discordantemente rocas sedimentarias Cretácicas y Terciarias, que subdivide de la siguiente forma:

Formación Sabana Grande	Senoniano
Formación Rivas	Senoniano (Maastrich.- Campaniano)
Formación Barra Honda	Paleoceno
Formación Las Palmas	Paleoceno Sup.- Eoceno Inf.
Formación Brito	Eoceno
Formación Masachapa	Oligoceno
Formación Pta. Carballo	Mioceno Medio
Formación Montezuma	Mioceno Superior- Plioceno

Además, utilizando como parámetro la inconformidad basal entre el Complejo de Nicoya y la cobertura sedimentaria, subdividió las rocas sobreyacentes en dos series:

1. Serie del Campaniano-Eoceno Medio caracterizado por fuerte plegamiento.
2. Serie del Mioceno-(Plioceno?) cuya característica es plegamiento suave.

Kuijpers (1979) utiliza esta denominación e incluye dentro de la serie del Campaniano-Eoceno Medio las formaciones Sabana Grande, Rivas y Las Palmas, cuyas litologías comprenden rocas depositadas en aguas profundas, que incluyen calcilitutas, radiolaritas y lutitas; además calcarenitas, areniscas y conglomerados originados por corrientes de turbidez y flujos de gravedad.

La serie del Mioceno incluye las formaciones Punta Carballo, Montezuma y parte de la Formación Barra Honda, de litologías exclusivamente arrecifales.

Baumgartner (1987) destaca que el criterio de la deformación no es suficiente para realizar esa subdivisión, ya que la deformación de la cobertura sedimentaria es considerable en Santa Elena y en la parte NE-Central de Nicoya,

mientras que en el SW y el S de la Península, la deformación es mucho menor; de manera que los contactos entre la secuencia sedimentaria y los basaltos del Complejo son casi concordantes.

En general, la secuencia sedimentaria está formada por rocas clásticas y carbonatadas. Según Galli-Ollivier (1979) las rocas clásticas están compuestas en muchas partes por unidades detríticas transgresivas, de ambiente marino somero, subyacidas por conglomerados basales e interdigitados con calizas. En otras zonas afloran lutitas y areniscas de ambientes más profundos, o calizas y tobas calcáreas, también de origen profundo.

Baumgartner (1987) relaciona la composición de la secuencia sedimentaria con los niveles estructurales de la región. En la Península de Santa Elena y el norte de la Península de Nicoya, que constituyen las partes más altas, los niveles fueron someros, erosionados y expuestos, representados por conglomerados basales y por facies carbonatadas neríticas someras sobrepuestas. En el resto de la Península de Nicoya, se observa una asociación de brechas y conglomerados mal redondeados de la Formación Brecha Puerto Carrillo, con lutitas silíceas y/o calizas pelágicas, lo que sugiere que la erosión fue submarina a profundidades considerables.

Baumgartner et al. (1984), basándose en criterios genéticos y estratigráficos establece dos supergrupos para dividir la cobertura sedimentaria del litoral Pacífico:

#### 1. Supergrupo Garza

Incluye unidades depositadas en cuencas oceánicas y en zonas de talud del Cretácico y Terciario. Basado en el criterio de sedimentación es dividido en:

- a. Formación Brecha Puerto Carrillo
- b. Grupo Sabana Grande
- c. Grupo Sámara

#### 2. Supergrupo Mal País

Tiene una edad Eoceno Superior a Pliopleistoceno y abarca litologías carbonatadas y silicoclásticas. Entre sus formaciones están: Formación Punta Carballo, Formación Montezuma, etc.

Astorga (1987) estudió las secuencias sedimentarias de edad Cretácico-Paleógeno, que representan la cubierta de las cuencas Rivas-Tempisque y Sámara-Cabo Blanco. Utilizando el criterio de sistema deposicional profundo clasificó las series sedimentarias en cinco tipos:

- I. Tipo Puerto Carrillo
- II. Tipo Sabana Grande
- III. Tipo Curú
- IV. Tipo Descartes
- V. Tipo Arío

Además Astorga (1987) restringe el término de Supergrupo Garza a las series establecidas en las paleocuenas Sámara-Cabo Blanco y Rivas-Tempisque. Destaca que la estratigrafía del Supergrupo Garza depende de la zona analizada, de tal forma que la cuenca Sámara-Cabo Blanco está formada por Formación Brecha Puerto Carrillo, Formación Sabana Grande y Grupo Sámara (formaciones Curú y Arío), y la cuenca Rivas-Tempisque por Formación Brecha Puerto Carrillo, Formación Sabana Grande y Grupo Punta Gigante (formaciones Curú y Descartes).

Calvo (1987) asocia los sistemas de sedimentación nerítica de carácter carbonatado con eventos tectónicos de apertura y evolución del margen convergente y los sitúa en 4 etapas principales:

1. *Campaniano Superior*: se constituye una extensa plataforma carbonatada aislada, representada por las litofacies de la Formación El Viejo y Barra Honda.
2. *Paleoceno Superior-Eoceno Inferior*: se establecen pequeñas plataformas carbonatadas efímeras.
3. *Eoceno Medio-Superior*: se desarrollan extensas rampas y plataformas carbonatadas.
4. *Oligoceno Superior-Mioceno Inferior*: se caracterizó por las rampas carbonatadas efímeras, conformadas por lóbulos y barras bioclásticas esqueléticas.

## GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA LOCAL

El área cubierta por el mapeo de este trabajo comprende las hojas topográficas Carrillo

Norte, Punta Gorda, Matapalo y Belén (Fig. 1). Se encuentra localizado entre las latitudes  $10^{\circ}20'$  y  $10^{\circ}40'$  norte y las longitudes  $85^{\circ}30'$  y  $85^{\circ}54'$  oeste.

Además del trabajo de campo realizado por los autores, se compilaron los trabajos previos de los siguientes autores: Alán (1978), Barrantes (1990), Barrantes (1991), Castro (1991), Chavarría (1990), Escalante (s.f.), Fernández (1990), Flores (1976), Gursky, H.-J. (1989), Gursky et al. (1984), Muñoz (1990), Naciones Unidas (1975), Pérez (1990), Ramírez (1991), Rivera (1990), Taylor

(1991), Torres (1990), Varela (1990) y Villalta (1990). Las litologías encontradas y descritas se correlacionan, en la medida de lo posible, con unidades geológicas formales, previamente descritas en la geología regional.

La relación tectono-estratigráfica presente en gran parte del área estudiada es el resultado directo e indirecto de la formación y evolución de la Fosa Mesoamericana.

Se cartografiaron las siguientes unidades litoestratigráficas (Fig. 2):

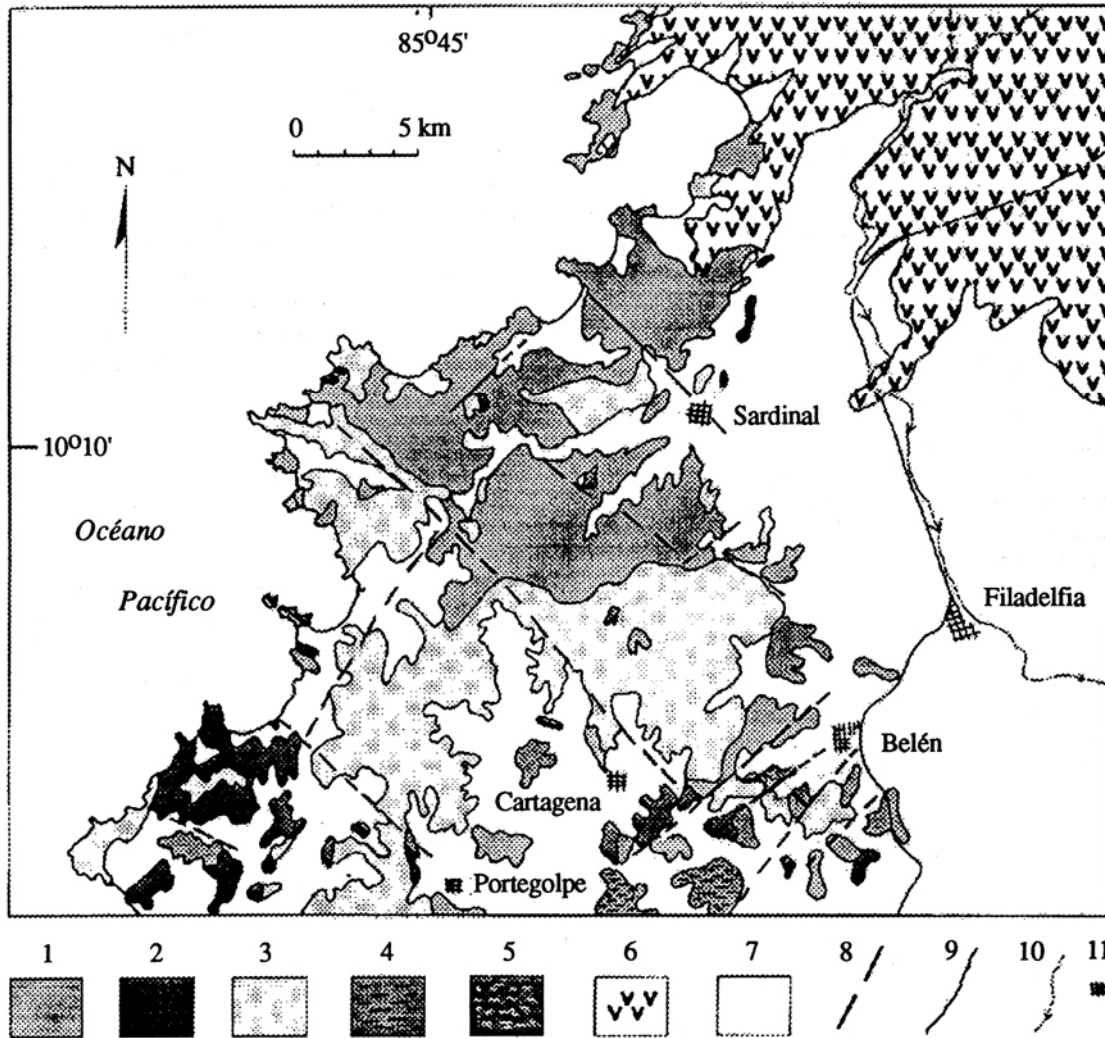


Fig. 2: Mapa geológico del norte de la Península de Nicoya

Explicación: 1 = Basaltos (Unidades Esperanza y Matapalo), 2 = Radiolarita (Formación Punta Conchal), 3 = Gabro (Intrusivo Potrero), 4 = Calcilita y lutita silícea (Grupo Sabana Grande), 5 = Intercalaciones de lutita, arenisca, conglomerado y caliza (Formaciones Barbudal, Rivas y Brito), 6 = Ignimbritas (Formaciones Bagaces y Liberia), 7 = Depósitos aluviales, 8 = Falla, 9 = Carretera, 10 = Río Tempisque, 11 = Población.

## COMPLEJO OFIOLITICO DE NICOYA

Dentro de esta unidad geológica se han diferenciado varias unidades, usando criterios litoestratigráficos. El Intrusivo Potrero se describe en forma separada por primera vez, y se considera que debe ser diferenciado del Complejo de Nicoya *sensu stricto*. Estas rocas fueron descritas parcialmente como parte de la Unidad Esperanza (sensu Kuijpers, 1979).

Los afloramientos del Intrusivo Potrero conforman las máximas elevaciones del área y las radiolaritas están en elevaciones menores a 100 m.s.n.m. Los basaltos y los intrusivos representan las dos unidades dominantes del Complejo de Nicoya. Los basaltos son más importantes al norte de la latitud 270 N, en donde se da un pseudoalineamiento este-oeste en el límite entre ambas unidades, y menormente al oeste de Matapalo y al norte y oeste de Belén.

### Basaltos

Corresponden con la Unidad Matapalo y la unidad Esperanza (Kuijpers, 1979 y 1980), o al Complejo Inferior (Gursky, H.-J. 1989 y Gursky, H.-J. & Schmidt-Effing, 1983). Sin embargo, en este trabajo no se hacen diferenciaciones geoquímicas, sino únicamente se utilizaron criterios de campo.

Los basaltos son de color verde a gris oscuro. Destaca la ausencia de basaltos en almohadilla, muy citados y descritos en algunos trabajos previos. Su textura es afanítica hasta ligeramente porfirítica, observándose a veces fenocristales de plagioclasa, augitas y opacos. Los minerales de alteración del tipo clorita y/o óxidos de hierro son los más frecuentes. Generalmente, se presentan vetillas de calcedonia, ceolitas, ópalo, y rara vez, de calcita.

Algunos de los basaltos, presentan una textura microscópica tipo "spinifex", muy similar a las rocas komatíticas del Arcaico. La textura se caracteriza por el crecimiento o entrecrecimiento de augita con plagioclasa en forma de "ramillete". Basaltos fanerozoicos con una textura similar, han sido descritos asociados a secuencias ofiolíticas y específicamente asociadas con basaltos tipo MORB (Arndt & Nisbest, 1982, Mühe et al., 1991). Se acepta que dicha textura puede ser el resultado de un enfriamiento extremadamente rápido (Augusthis, 1978).

La intensa meteorización y la alteración térmica de las radiolaritas dificulta distinguir los basaltos de los intrusivos (gabros y diabasas) y las radiolaritas alteradas. El alto grado de fracturamiento presente indica el intenso tectonismo que los ha afectado.

La mayoría de los basaltos se originaron en una dorsal medio-oceánica (Wildberg, 1987), cuya edad máxima es del Jurásico, con base en las radiolaritas (Baumgartner, 1987). Otra parte de los basaltos se formaron por un vulcanismo interplaca (Meschede et al., 1988), que dio origen a un arco de islas primitivo, los cuales se les considera como parte de la Formación Esperanza. Ambos tipos se diferencian solo químicamente, razón por la cual no se hizo la distinción en el mapa geológico. Más que a un arco volcánico primitivo, los basaltos se relacionan probablemente con las manifestaciones extrusivas del punto caliente, el cual también dio origen a los intrusivos.

### Radiolaritas

Forman parte de la Unidad Matapalo o la Formación Punta Conchal (H.-J. Gursky, 1989), aunque subordinadamente existen radiolaritas en la Unidad Esperanza (Kuijpers, 1979 y 1980 y Baumgartner, 1987).

Se encuentra concentrada en el sector SW del área mapeada, entre el poblado de Huacas, playa Cabuya (latitud 261 N, longitud 333 E, hoja Matapalo) y punta Salinas (latitud 269.5 N, longitud 340 E, en la hoja Matapalo). También se presentan al sur de Cartagena (hoja Belén) y al norte y sur de Sardinal (hoja Carrillo Norte).

Se trata de rocas de origen pelágico de grano fino a muy fino, estratificadas en estratos milimétricos a centimétricos. Presentan variedad de coloraciones (rojo, verde, amarillo, blanco, gris y negro). Generalmente se observan replegadas en pliegues cerrados hasta isoclinales, siendo los tipo chevron muy frecuentes, dando a estas rocas un aspecto caótico.

Frecuentemente se encuentran asociadas con mineralizaciones de Mn-Fe, resultado de una alteración hidrotermal, lo que provoca además que las radiolaritas se conviertan en jaspes y pedernales de colores rojo y amarillo muy intensos. El proceso está relacionado con un vulcanismo exhalativo de fondo oceánico como

el que se está dando actualmente en la dorsal Galápagos (Kuijpers & Denyer, 1979; Denyer & Kuijpers, 1979). Las mineralizaciones de manganeso se presentan en forma diseminada y en nódulos. Las localidades con mayor contenido de manganeso y/o sulfuros son:

La Mancuerna	latitud 268.2 N, longitud 351.0 E
El Francés	latitud 275.5 N, longitud 351.5 E
Punta Gorda	latitud 279.0 N, longitud 344.0 E
Zapotillal	latitud 264.0 N, longitud 335.5 E
Playa Real	latitud 263.0 N, longitud 335.0 E

En todos estos sitios afloran radiolaritas muy cerca del Intrusivo Potrero. En la mina "La Mancuerna" afloran además diques doleríticos.

Sobreyace disconformemente a la Unidad Basaltos, y es intruida por numerosos gabros y diabasas de la unidad Potrero, los cuales han afectado térmicamente a estos sedimentos. Dado el alto grado de tectonismo es difícil determinar su espesor. Kuijpers (1979) lo considera de unos 30 metros, Sprechmann (1984) de unos 40 metros, Gursky H.-J. (1989) indica que el espesor original alcanzó un mínimo de 50 m, pero que ha sido disminuido por actividad tectónica, ígnea o erosión. Presenta una fuerte deformación tectónica (pliegues isoclinales-chevron) y un alto grado de fallamiento. Destaca una gran plasticidad durante la deformación, la cual pudo haberse visto favorecida con el calentamiento de las radiolaritas por el intrusivo. En algunos lugares, como en el Cerro Encanto (Latitud 265 N, longitud 337 E) y Cuesta Huacas (latitud 261.5 N, longitud 343.6 E), dieron paso a metamorfismo de contacto. En ambos sitios las cornubianitas no se presentan plegadas; en el Cerro Encanto sirven como substrato a los pliegues plásticos.

Baumgartner (1984 y 1987), con base en los restos de radiolarios, ha logrado una zonificación temporal, concluyendo que existen asociaciones de radiolarios de diferentes edades que van desde el Jurásico Medio (Bajociense) en la zona de Huacas-Cartagena, hasta Jurásico Superior-Cretácico Inferior en el área de Brasilito y Playa Conchal.

#### **Intrusivo Potrero**

Está compuesto por gabros, doleritas y en menor grado plagiogranitos. Está distribuido

principalmente por debajo de la latitud 270 N y al norte de Potrero y al oeste de Sardinal. El cuerpo principal cubre un área superior a los 200 km<sup>2</sup>, y se ubica en la región sur-central del área de estudio (Fig. 2).

Los gabros (hasta microgabros o diabasas) son macroscópicamente de coloración oscura, de una textura porfirítica y muy rica en minerales máficos con acumulaciones esferoidales centimétricas de piroxenos. Es muy común encontrarlos como diques o "sills", que en algunas ocasiones están representados por cumulitas de bitownita, descritas anteriormente por Burgois et al. (1984). A nivel microscópico presentan una textura holocristalina-hipidiomórfica-intergranular a ligeramente subofítica con fenocristales de plagioclasa (tipo labradorita), augita titanífera, algunos opacos, rara vez apatito, olivino, y comúnmente cloritas y nontronitas (?) como minerales de alteración. A veces son difíciles de diferenciar de los basaltos, sobre todo a nivel macroscópico, para lo cual ayuda el tipo de meteorización, que en los intrusivos presenta arenización muy destacante.

Relacionados con estos intrusivos se presentan diques de doleritas con nódulos de anortositas (An 88-83) (Tournon, 1984), los cuales se caracterizan por un aumento del diámetro de los cristales de las paredes hacia el centro. Los diámetros van de centimétricos en las paredes hasta decimétricos en el centro; las plagioclasas son redondeadas sin zonación y flotan homogéneamente en la dolerita. La alteración se da en forma de arenización. Este tipo de dique se ha relacionado con cratones del Arcaico donde las plagioclasas alcanzan diámetros superiores a los 30 cm y actualmente estos diques se encuentran asociados con intrusiones generadas en puntos calientes, dorsales, dorsales asísmicas y fallas transformadas. En el punto caliente de Galápagos se está dando este mismo proceso, con formación de cristales de anortita superiores a los 3 cm (Phinney & Morrison, 1988).

Los plagiogranitos son rocas intrusivas de coloración blancuzca, textura holocristalina, rica en minerales leucocráticos (cuarzo y feldespatos sódicos) así como algunos máficos del tipo hedenbergita (?). Tournon (1984), denomina a estos intrusivos como "Intrusivo de Ocotál" al cual lo describe como un granófilo de baja temperatura (1010-1018°C) y de baja presión y lo



relaciona con las doleritas como una cristalización simultánea de dos líquidos inmiscibles entre sí, con lo cual los autores concuerdan; pues no se observa un contacto definido, sino más bien una transición entre el plagiogranito y el gabro, como en playa Carbón (Hoja Matapalo).

Los intrusivos son posteriores a las radiolaritas, con edad Cenomaniano, que han sido afectadas por el calor del cuerpo intrusivo y asimiladas, por lo menos parcialmente. Los sedimentos de Sabana Grande no han sido afectados por éstos, y por lo tanto su edad queda restringida entre el Cenomaniano y el Campaniano, o sea con una edad posible de 90 millones de años.

### GRUPO SABANA GRANDE

Se trata de rocas sedimentarias hemipelágicas que se han asociado con la Formación Sabana Grande (sensu Dengo, 1962), o bien al Sistema Depositional II Tipo Sabana Grande (Astorga, 1987). Se le ha asignado una edad de Campaniano Inferior (Baumgartner, 1984).

Aflora ampliamente en el sur de la hoja Belén, en tanto que en el oeste de la hoja Matapalo aparecen las lutitas silíceas cerca de Punta Conejo (Rivera, 1990). En la hoja Belén aflora en los cerros El Ocotal (latitud 258 N, longitud 357 E) y Pata de Mula (latitud 258 N, longitud 356 E), donde presenta buzamientos promedios de 35 grados al NW (Chavarría, 1990; Varela, 1990); en otros lugares varía de manera irregular (Pérez, 1990). Son frecuentes los pliegues y las fallas.

Sobreyace disconformemente a la Unidad Basaltos. Está formada por tres tipos de litologías:

- a) lutitas calcáreas
- b) lutitas silíceas
- c) areniscas finas calcáreas

Las areniscas son de grano fino a medio y se presentan en estratos de 2 a 6 cm de espesor. A veces es posible observar laminación paralela y no se encontró microfauna. Las lutitas calcáreas se presentan en estratos de 5-10 cm de espesor, generalmente son deleznable y de color gris; casi no se encontraron evidencias de microfósiles.

Ambas litologías se encuentran interstratificadas, aunque las areniscas son más abundantes en la parte basal de la secuencia. Hacia arriba las lutitas silíceas comienzan a aparecer y en la parte superior la secuencia culmina con lutitas silíceas. Estas lutitas presentan coloraciones blanco-amarillentas y a veces verdes (Punta Conejo: latitud 261 N, longitud 332 E), con altos porcentajes de vetillas silíceas.

### ROCAS CLASTICAS Y BIOCLASTICAS

Dentro de esta unidad se agrupan las formaciones Rivas o Curú, Brito o Descartes, Barra Honda y Barbudal.

Aflora restringidamente al suroeste de Belén, en Punta Piedra (latitud 291 N, longitud 357 E) y Punta Conejo (latitud 261 N, longitud 332 E). Se trata de estratos de espesor decimétrico de areniscas de grano medio con estratificación paralela e inclinada, que contiene gran cantidad de fragmentos de bivalvos, balanus y rudistas. Se encuentran intercalaciones centimétricas de un conglomerado bioclástico y/o brecha calcárea con clastos centimétricos de basalto. Presenta un marcado buzamiento al noreste, con espesores máximos de unos 15 metros y posiblemente se trata de una secuencia tectónicamente invertida. Sobreyace de manera disconforme a las lutitas verdes de Sabana Grande.

Las calizas son de coloración gris verdoso a blanco, hasta azul, dependiendo del grado de alteración. Pertenecen al Cretácico muy terminal-Paleoceno Inferior, según datación de Herbert Hagn (en: Denyer & Arias, 1990).

Varela (1990) y Fernández (1990) indican la presencia de areniscas con lutitas intercaladas, que sobreyacen al Complejo y subyacen a las calizas en forma concordante. Así mismo reportan un conglomerado brechoso aflorando en el Alto San Antonio (latitud 263 N, longitud 359 E), cerros La Penca (latitud 262 N, longitud 361 E) y Juanilama (latitud 263 N, longitud 360 E). Esta roca es de color gris oscuro, matriz arenosa con clastos centimétricos de basaltos y caliza y escasos moldes de gasterópodos. No se observó el contacto con las calizas, sin embargo la presencia de fragmentos de calizas muy similares a las descritas en esta misma zona, evidencia su carácter sobreyacente.

Torres (1990) reporta una secuencia de conglomerado de clastos basálticos con matriz

arenosa y gradación positiva; una arenisca media a fina con clastos ígneos tanto de carácter basáltico como de intrusivo (plagiogranito?), cristales de augita y fragmentos bioclásticos. Las calizas están compuestas principalmente por fragmentos de rudistas, corales y algas, así como fragmentos de basalto y bioclastos retrabajados, lo que evidencia un retrabajamiento previo a su depositación.

Rivera (1990) indica la presencia de calizas en Punta Conejo y alrededores, donde se encuentran en forma de bloques de hasta 50 metros cúbicos. Sobreyace en forma disconforme a las lutitas silíceas de coloración verde incluidas en las Lutitas-Areniscas Calcáreas y Lutitas Silíceas.

### FLUJOS PIROCLASTICOS

Dengo (1962b) dividió estos depósitos en dos unidades, Formación Bagaces (la más antigua) y Formación Liberia.

La distribución se limita al norte-noreste de la zona de estudio (Fig. 2). En la hoja Carrillo Norte se encuentran los mejores afloramientos de estas dos formaciones; generalmente se observa como un escarpe topográfico muy bien definido de unos 100 m de espesor. La Formación Bagaces contiene varios niveles de paleosuelos y algunos conglomerados intercalados; un buen afloramiento mostrando los niveles aluviales intercalados se localiza al sur de Guardia. El afloramiento más meridional es en la hoja Belén en la localidad de "El Cerrito".

La Formación Bagaces está compuesta por flujos de ignimbrita del Mioceno Superior al Plioceno, intercalados con lavas y materiales sedimentarios (Chiesa et al., 1992).

Chiesa (1991,1992) describe las rocas de la Formación Liberia como flujos de pómez pleistocenos, de color claro, con abundante matriz, pómez, fragmentos líticos, cuarzo, biotita, plagioclasa y anfíboles.

### DEPOSITOS RECIENTES

Los sedimentos aluviales recientes se encuentran mejor desarrollados en la hoja Carrillo Norte, donde tienen un espesor máximo de 70 m entre Comunidad y Sardinal (con base en el archivo de pozos de SENARA). En la hoja Belén

los espesores máximos están al norte de Filadelfia y al este de Belén, con valores máximos de 70 y 60 m respectivamente. En la hoja Matapalo y Punta Gorda el espesor generalmente no sobrepasa los 20 m.

El Río Brasil se caracteriza por contar con un espeso aluvión dispuesto en terrazas con bancos de cinco metros de espesor. Incluso se encontraron terrazas en la parte alta del río Brasil, donde en este momento predomina la erosión a la sedimentación.

En la cercanía de Los Planes (latitud 358.5 N, longitud 267 E) se encuentran depósitos aluviales de más de 30 m de espesor.

## GEOLOGIA ESTRUCTURAL

### Fallamiento

Es una región que ha sufrido un intenso tectonismo en el pasado geológico, pero que actualmente tiene una relativa calma tectónica. Esto, sumado a que la litología no es de fácil identificación, causa que las fallas importantes son difíciles de trazar. Evidencias de cizalla se encuentran en cada afloramiento, causado no solo por una tectónica sino por varios períodos y estilos tectónicos. De hecho, en la Península deben de existir diferentes terrenos (Sick, 1989), los cuales se unieron durante su viaje desde las cercanías del ecuador, y cuyo génesis probablemente está en relación con el punto caliente de las Galápagos.

Dentro de las fallas más importantes destaca la falla N40W que tiene una traza de una longitud de 20 km; atraviesa parte de las hojas Belén, Matapalo y Punta Gorda (ver mapas geológicos adjuntos y Fig. 2). El movimiento es vertical, en que el bloque noreste subió con respecto al suroeste. Esto se determinó por el escarpe visible en el campo, en las imágenes satelitarias y en las fotos aéreas.

Entre las otras fallas que aparecen en los mapas geológicos adjuntos, destaca la de dirección N40W, que pasa por la población de Sardinal hasta las cercanías de Playas del Coco. Esta es de tipo transcurrente dextral, con base en el desplazamiento del intrusivo y de la faja de radiolaritas que aflora casi N-S, y el doblez de los lineamientos fotogeológicos.

Cuatro fallas sinestrasales N35-40E fueron identificadas en la hoja Belén y se considera que

son la continuación de la falla que ubica Dengo (1962b) sobre el río Limones.

En la cercanía de El Llano (hoja Matapalo) se mapearon dos fallas, una N15W y otra N50W, ambas son dextrales, con base en los criterios de Petit (1987). Otras fallas sinestrales han sido mapeadas por Escalante (s.f.) en la hoja Punta Gorda y tienen rumbo N-S y NNE.

Cabe destacar que se han encontrado movimientos opuestos (por ejemplo en la localidad de Ocotal) en una escala de afloramiento, donde se interpreta que hubo movimientos contrarios a través de la historia geológica. En la mencionada localidad se pueden apreciar pequeñas fallas que desplazan diques centimétricos que están desplazados con un movimiento sinistral y los criterios de estrías (sensu Petit et al., 1983; Petit, 1987) indican un movimiento dextral. Esto se interpreta como una inversión del movimiento a lo largo de algunos planos de falla durante la historia geológica, donde las últimas estrías deben evidenciar el movimiento más reciente.

#### Discontinuidades

En la región existen varias discontinuidades regionales muy destacadas. El Grupo Sabana Grande sobreyace a las rocas del Complejo Ofiolítico de Nicoya en discordancia angular y discontinuidad litológica del Campaniano.

Rocas clásicas de las formaciones Rivas o Curú y Brito o Descartes, sobreyacen discordantemente las secuencias anteriores en el Cretácico Superior.

Los flujos ignimbíticos de las formaciones Liberia y Bagaces cubrieron discordantemente en el final del Neógeno, las secuencias sedimentarias e ígneas del Complejo y la cobertura sedimentaria.

#### Lineamentos fotogeológicos

En la hoja Carrillo Norte, el estudio fotogeológico muestra una pseudo-estratificación muy destacante con rumbo NE, inclinada al SE (Arias & Denyer, 1992a), la cual incluso está replegada por una falla NW-SE dextral. Valga decir que no es visible a escala de afloramiento. Se interpreta como evidencias de la acreción que sufrió el Complejo, probablemente durante las

fases iniciales de la formación de la Fosa Mesoamericana.

#### Plegamiento

Las radiolaritas se caracterizan por presentarse sumamente replegadas, en parte por un mecanismo sinsedimentario. El plegamiento es muy plástico, lo cual puede haber sido provocado por el calentamiento del intrusivo. En la hoja Carrillo Norte, los buzamientos están por encima de los 60 grados con rumbos N-NNE. En la hoja Belén los buzamientos de las radiolaritas se encuentran concentrados mayormente entre los 60 y los 65 grados, con rumbos NW. El comportamiento de las radiolaritas refleja que están controlados en gran parte por la presencia de las masas ígneas (Arias, 1992).

Los afloramientos de Sabana Grande se encuentran ubicados en la región meridional de la hoja Belén, el buzamiento se encuentra entre los 30 y 70 grados con un pequeño máximo entre los 45 y 50 grados, la dirección predominante del buzamiento es hacia el norte con tendencia al NW. Al igual que las radiolaritas sus buzamientos están fuertemente influenciados por la presencia de los intrusivos (Arias, 1992).

#### Tectónica del Cuaternario

El levantamiento Cuaternario de la Península de Nicoya es evidenciado por las terrazas aluvionales del río Brasil (Denyer & Arias, 1992) y los levantamientos rápidos de la costa en Cabo Velas, cerca de playa Carbón y Punta Conejo (Arias & Denyer, 1992b), donde se observan plataformas de erosión levantadas. Se han planteado dos posibles explicaciones: la primera como un producto de la acreción en la Fosa Mesoamericana y la segunda podría ser por el levantamiento isostático provocado por los intrusivos.

Ramírez (1991) menciona un basculamiento de los depósitos aluvionales hacia el noreste, en las cercanías de Playones (latitud 275 N, Longitud 353.5 E), probablemente a consecuencia de levantamientos recientes. Castro (1991) también reporta basculamientos inferiores a los ocho grados, en los alrededores de Sardinal.

## HISTORIA GEOLOGICA

Durante el Jurásico-Cretácico, se origina el basamento oceánico que constituye lo que actualmente se conoce como Complejo Ofiolítico de Nicoya. Asociado a un ambiente magmático de dorsal (Wildberg, 1987), estos basaltos fueron cubiertos por sedimentación pelágica típica de los fondos abisales (radiolaritas) desde el Sinemuriano al Santoniano (Baumgartner, 1984, 1987). Ambas litologías constituyen la Unidad Matapalo (Kuijpers, 1979-1980) o Complejo de Nicoya Inferior y Formación Punta Conchal (Gursky, H.-J. & Schmidt-Effing, 1983).

Emanaciones hidrotermales afectaron estas rocas generando mineralizaciones diseminadas y a veces nodulares de Mn-Fe (Kuijpers & Denyer, 1979). Esfuerzos tectónicos pudieron ya afectar estas litologías.

Un magmatismo intraplaca (Wildberg, 1987) durante el Albiano-Campaniano Inferior originó la Unidad Superior del Complejo de Nicoya (Gursky, H.J., 1989) o Unidad Esperanza (Kuijpers, 1979, 1980) representado por intrusiones gabroicas, además de basaltos y lentes radiolaríticas. La presencia de diques con cumulitas de bitownita (Bourgeois et al., 1984), similares a las encontradas en Galápagos, donde se encuentran anortositas subesféricas de 3 cm (Phinney & Morrison, 1988), es otra evidencia que permite asociar el origen de esta actividad magmática a un punto caliente. El origen de rocas del Caribe en el punto caliente de Galápagos es sugerido por Duncan & Hargraves (1984).

La corteza oceánica originada en la dorsal medio oceánica, al pasar sobre el punto caliente de las Galápagos, dio origen a los basaltos intraplaca y el Intrusivo Potrero. Este último colaboró con el engrosamiento de la corteza oceánica primitiva, manifestándose con la formación de montañas submarinas que colisionaron y provocaron la formación de microcomplejos dentro del Complejo de Nicoya.

Erosión y sedimentación del Complejo en asociación directa con el tectonismo originan los depósitos clásticos de la Formación Barbudal (Sprechmann, 1984; Seyfried & Sprechmann, 1985) durante el Campaniano Superior.

Sedimentación hemipelágica (Campaniano-Maastrichtiano) muy susceptible a cambios bruscos del CCD (Baumgartner, 1987) ocurrió en unas cuencas espacialmente restringidas y

sobreyacentes discordantemente al basamento ofiolítico. Corresponde con la depositación de Sabana Grande.

Durante el Paleógeno la sedimentación fue predominantemente clástica e inclusive pudieron haber deslizamientos de bloques de una antigua plataforma carbonatada (Calvo, 1987), evidenciando un levantamiento regional intenso y una tectónica sumamente activa, que culmina en el Eoceno (Baumgartner et al., 1984).

Desde el Mioceno Superior al Pleistoceno se depositan los flujos piroclásticos de las formaciones Bagaces y Liberia, correspondientes al volcanismo de la paleo-cordillera de Guanacaste. Son el resultado de una diferenciación de los magmas, ayudado por las condiciones tectónicas del final del Mioceno e inicios del Plioceno.

En el Cuaternario ocurre la sedimentación de hasta 70 m de depósitos aluviales, que se encuentran afectados por tectonismo, principalmente expresado por levantamientos de la costa.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a Siegfried Kussmaul, Gerardo Soto, Teresita Aguilar y Manuel Barrantes, por sus valiosos comentarios editoriales. Este trabajo se realizó como parte del proyecto de investigación # 113-90-071 de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

Nuestra gratitud al Instituto Geográfico Nacional, principalmente a su director Ing. Fernando Mauro Rudín, por el apoyo en la edición de los mapas geológicos que acompañan este trabajo.

## REFERENCIAS

- ALAN, M. A., 1978: Proyecto hierro, Mapa geológico y perfiles, Punta Gorda-Guanacaste (escala aprox. 1:6 000).- San José: CODESA (Corporación Costarricense de Desarrollo).
- ARNDT, N.T. & NISBET, E.G. (eds.), 1982: Komatiites.- London, Unwin Publishers, 526 págs.

- ARIAS, O., 1992: Manejo automatizado de datos estructurales y su aplicación en la geología estructural de Costa Rica.- Tesis Licenciatura, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 171 págs. + 4 diskettes.
- ARIAS, O. & DENYER, P., 1992a: Mapa geológico de la hoja Carrillo Norte, Guanacaste, Costa Rica (1:50 000).- San José: Instituto Geográfico Nacional.
- ARIAS, O. & DENYER, P., 1992b: Mapa geológico de las hojas Matapalo y Punta Gorda, Guanacaste, Costa Rica (1:50 000).- San José: Instituto Geográfico Nacional.
- ASTORGA, A., 1987: El Cretácico Superior y el Paleógeno de la vertiente Pacífica de Nicaragua Meridional y Costa Rica Septentrional: origen y dinámica de las cuencas profundas relacionadas al margen convergente de Centroamérica.- Tesis de Licenciatura, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 250 págs.
- AUBOIN, J., AZEMA, J. CARFANTAN, J. C., RANGIN, C., TARDY, M. & TOURNON, J., 1982: The Middle America Trench in the geological framework of Central America.- Washington: Initials Report DSDP 67: 747-755.
- AUGUSTITHIS, S.S., 1978: Atlas of textural patterns of basalts and their genetic significance.- Elsevier, Amsterdam, 323 págs.
- BARRANTES, J., 1991: Geología del sector Occidental de Sardinal, Guanacaste.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 61 págs. + apéndice + 2 mapas.
- BARRANTES, M., 1990: Aspectos geoestructurales y petrológicos de los basaltos, gabros y radiolaritas de la zona comprendida entre los cerros El Encanto, Capulín, Colorado y las playas de Platanar-Pedregosa, Cantón Santa Cruz, Guanacaste, Costa Rica.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 49 págs. + apéndice.
- BAUMGARTNER, P.O., 1984: El Complejo Ofiolítico de Nicoya (Costa Rica): Modelos estructurales analizados en función de las edades de los radiolarios ( Calloviense a Santoniense).- En: SPRECHMANN, P. (ed.): Manual de Geología de Costa Rica.- Editorial UCR, San José, I: 115-123.
- BAUMGARTNER, P.O., 1987: Tectónica y sedimentación del Cretácico Superior en la zona pacífica de Costa Rica (América Central).- En: BARBARIN, J.M.; GURSKY, H.J. & MEIBURG, P. (eds.): El Cretácico de México y América Central.(resúmenes).- Facultad de Ciencias de la Tierra U.A.N.L., Linares-México, II: 251-260.
- BAUMGARTNER, P.O., MORA, C., BUTTERLIN, J., SIGAL, J., GLACON, E., AZEMA, J., & BURGOIS, J., 1984: Sedimentación y paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del litoral Pacífico de Costa Rica.- Rev. Geol. América Central, 1: 57-136.
- BOURGOIS, J., AZEMA, J., BAUMGARTNER, P.O., TOURNON, J., DESMET, A. & AUBOIN, J., 1984: The gologic history of the Caribbean-Cocos plate boundary with special reference to the Nicoya Ophiolite Complex (Costa Rica) and D.S.D.P. results (Legs 67 and 84 of Guatemala): a synthesis.- Tectonophysics, 108: 1-32.
- CALVO, C., 1987: Las Calizas neríticas de la Vertiente Pacífica del Norte de Costa Rica y Sur de Nicaragua: Epocas y sistemas asociados con la apertura y evolución del margen convergente de la América Central meridional.- Tesis Licenciatura, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 165 págs.
- CASTRO, S., 1991: Cartografía e interpretación geológica de Artola y alrededores, Sardinal, Guanacaste.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 50 págs. + mapa.
- CHAVARRIA, R. A., 1990: Interpretación geológica del área de Coyolito de Belén, Carrillo, Provincia de Guanacaste, Costa Rica.- Informe Campaña Geológica,

- Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 54 págs. + apéndice.
- CHAVEZ, J., 1980: Aspectos geológicos de la cuenca del río Nimboyares, Guanacaste.- Tesis Licenciatura, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 32 págs.
- CHIESA, S., 1991: El flujo de pómez biotítica del Río Liberia (Guanacaste), Costa Rica, América Central. - Rev. Geol. América Central, 13: 73-84.
- CHIESA, S., CIVELLI, G., GILLOT, P.-Y., MORA, O. & ALVARADO, G.E., 1992: Rocas piroclásticas asociadas con la formación de la Caldera de Guayabo, Cordillera de Guanacaste, Costa Rica.- Rev. Geol. América Central, 14: 59-75.
- DeBOER, J., 1979: The outer arc of the Costa Rican Orogen (oceanic basement complexes of the Nicoya and Santa Elena Península).- Tectonophysics, 56(3-4): 221-259.
- DENGO, G., 1962a: Tectonic-igneous sequence in Costa Rica.- Petrologic studies, volume in honor of A.F. Buddington, Geol. Soc. Am.:133-161.
- DENGO, G., 1962b: Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica.- Instituto Geográfico Nacional, San José, 112 págs.
- DENYER, P., 1977: Apuntes sobre las mineralizaciones de manganeso del Complejo Ofiolítico de Nicoya, provincia de Guanacaste, Costa Rica.- Tesis Licenciatura, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 65 págs.
- DENYER, P. & KUIJPERS, E. P., 1979: Mineralizaciones de manganeso intercaladas en basaltos del complejo de Nicoya, Guanacaste, Costa Rica.- Inst. Geogr. Nac., Inf. Semestr.julio-diciembre: 91-108.
- DENYER, P. & ARIAS M., O.,(eds.), 1990c: Geología de una parte de las hojas Matapalo y Belén, Guanacaste, Costa Rica (Síntesis Campaña Geológica: febrero, 1990).- Informe Escuela de Geología-Universidad de Costa Rica, 20 págs.
- DENYER, P. & ARIAS, O., 1992: Mapa geológico de la hoja Belén, Guanacaste, Costa Rica (1:50 000).- Instituto Geográfico Nacional, San José.
- DUNCAN, R.A. & HARGRAVES, R.B., 1984: Plate tectonic of the Caribbean region in the mantle reference frame.- En: BONINI, W.E, HARGRAVES & SHAGAM, R. (eds.): The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics.- Geological Society of America, Memoir, 162: 81-93.
- ESCALANTE, G.,(s.f.): Geological map of Matapalo concession application and neighboring area (mapa 1: 50 000).- San José: Cities Service Minerals (Circum-Caribbean) S.A. [mapa no publicado].
- FERNANDEZ, R., 1990: Estudio geológico de una parte del poblado de Santa Ana del distrito de Belén Filadelfia, Guanacaste - Costa Rica.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 42 págs. + apéndice.
- FLORES, W. S., 1976: Estudio geológico relacionado con una mineralización de sulfuros en Punta Gorda, Costa Rica.- Tesis Licenciatura, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 35 págs. + 2 mapas.
- GALLI-OLIVIER, C., 1979: Ophiolite and island arc volcanism in Costa Rica.- Geol. Soc. America Bull., 90(1): 444-452.
- GURSKY, H.-J, 1989: Presencia y origen de rocas sedimentarias en el basamento ofiolítico de Costa Rica.- Rev. Geol. América Central, 8: 19-75.
- GURSKY, H.-J, GURSKY, M., SCHMIDT-EFFING, R. & WILBERG, H, 1984: Karten zur Geologie von Nordwest-Costa Rica (Mittelamerika) mit Erläuterungen.- Geologica et Paleontologica, 18: 173-182 + 4 mapas.

- GURSKY, H.-J & SCHMIDT-EFFING, 1983: Sedimentology of radiolarites within the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica, Central America.- En: IJIMA, A. HEIN, J.R. & SIEVER, R.- Developments in Sedimentology, 36: 127-142.
- GURSKY, H.-J, SCHMIDT-EFFING, R., STREBIN, M., WILDBERG, H., 1982: The ophiolite sequence in northwestern Costa Rica (Nicoya Complex). Outlines of stratigraphical, geochemical, sedimentological, and tectonical data.- En: Quinto Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina, Actas, III: 607-619.
- GURSKY, M.M., 1988: Análisis tectónico de la Península de Nicoya (Costa Rica) y su significado para el desarrollo estructural geodinámico de América Meridional.- Rev. Geol. América Central, 8: 19-75.
- GURSKY, M.M., 1991: Tectonics of the Nicoya Peninsula, Costa Rica, and implications for the geodynamic history of the Caribbean.- Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 6: 1557-1570.
- HOFFSTETER, R., DENGÖ, G. & WEYL, R., 1960: Costa Rica.- En: HOFFSTETER, R. (ed.): Lexique Stratigraphique International, Amérique Centrale.- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris, Fascículo 2,5: 223-306.
- KUIJPERS, E.P., 1979: La geología del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica.- Inst. Geogr. Nac., Inf. Semestr.julio-diciembre: 15-75.
- KUIJPERS, E.P., 1980: The geologic history of the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica and its geotectonic significance.- Tectonophysics, 68: 233-255.
- KUIJPERS, E.P. & DENYER, P., 1979: Volcanic exhalative manganese deposits of the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica.- Economic Geol. 74: 672-678.
- LUNDBERG, N., 1983: Development of fore arcs of intraoceanic subduction zones.- Tectonics, 2(1): 51-61.
- MacDONALD, D. F., 1920/1921: Informe final geológico y geográfico de Costa Rica.- Revista de Costa Rica, 2: 28-32, 50-57, 106-111, 139-148.
- MESCHEDÉ, M., SICK, M. & FRISCH, W., 1988: Interpretación geodinámica de los Complejos Ofiolíticos de Costa Rica.- Rev. Geol. América Central, 8: 1-18.
- MIEM, 1982: Mapa geológico de Costa Rica (9 mapas 1:200 000).- Instituto Geográfico Nacional, San José.
- MUÑOZ, H.,G. 1990: Estudio geológico de Punta Conchal y alrededores, Guanacaste, Costa Rica.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 31 págs.+ apéndice.
- MÜHE, R.K., BOHRMANN, H., HÖRMANN, P.K., THIEDE, J. & STOFFERS, P., 1991: Spinifex basalts with komatite-tholeiite trend from the Nassen-Gakkel Ridge (Arctic Ocean).- Tectonophysics, 191(1): 95-108.
- NACIONES UNIDAS, 1975: Investigaciones de aguas subterráneas en zonas seleccionadas de Costa Rica.- Nueva York: Informe Técnico del programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 261 págs. + mapas.
- PEREZ, R., 1990: Geología del área al Sur de Cartagena, Guanacaste, Costa Rica.- Inf. Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 36 págs. + apéndice.
- PETIT, J. P., 1987: Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks.- J. Structural Geol., 9(5/6): 597-608.
- PETIT, J. P., PROUST, F. & TAPPONNIER, P., 1983: Critères de Sens de mouvement sur les miroirs de faille en roches non calcaires.- Bull. Soc. géol. France, 7, t. XXV (4): 589-608.
- PHINNEY, W. C. & MORRISON, D. A., 1988: Tectonic implications of Archean anorthosite occurrences.- Lunar Planetary Inst.Tech. Report, 88-06: 135-137.

- RAMIREZ, R., 1991: Geología e indicadores geomórficos de levantamientos recientes de las rocas ofiolíticas (Jurásico-Cretácico), en el área localizada al Suroeste de Sardinal, provincia de Guanacaste.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 28 págs. + apéndice + 2 mapas.
- RIVERA, S., 1990: Estudio geológico de la zona entre Matapalo y Cabo Velas, Prov. Guanacaste.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 36 págs. + apéndice.
- ROBERTS, R.J., 1944: Manganese deposits in Costa Rica.- U.S. Geol. Survey Bull. 935: 387-414.
- ROMANES, J., 1912: Geological notes on the Peninsula of Nicoya, Costa Rica.- Geol. Magazine London, 9: 258-265.
- SEYFRIED, H. & SPRECHMANN, P., 1985: Acerca de la formación del puente-istmo Centroamericano Meridional, con énfasis en el desarrollo acaecido desde el Campaniense al Eoceno.- Rev. Geol. América Central, 2: 63-87.
- SCHMIDT-EFFING, R., 1980: Rasgos fundamentales en la historia del Complejo de Nicoya (América Central Meridional).- Brenesia, 18: 231-252.
- SEARS, J. D., 1919: Deposits of manganese ore in Costa Rica and Panamá.- Bull. U.S. Geol. Survey, 710 C: 61-91.
- SICK, M., 1989, Paleomagnetism of Ophiolite Complexes from the Southern Middle American Landbridge (Costa Rican and Western Panama).- Tübinger Geowissenschaftliche Abhandlungen, Tübingen, 108 págs.
- SPRECHMANN, P. (ed.), 1984: Manual de Geología de Costa Rica -Estratigrafía.- Editorial Universidad de Costa Rica, San José, Vol. 1, 316 págs.
- TAYLOR, W., 1991: Interpretación geológica y estructural de Libertad y alrededores, Sardinal, Guanacaste.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 61 págs. + 2 mapas.
- TORRES, J. E., 1990: Geología del área Sur de Belén y alrededores de Río Cañas, parte de las hojas Belén y Diría.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 24 págs. + apéndice.
- TOURNON, J., 1984: Magmatismes du Mesozoique a l'actual en Amerique Centrale: L'exemple de Costa Rica, des ophiolites aux andesites.- Tesis Doctoral Univ. Pierre et Marie Curie, 335 págs.
- VARELA, C., 1990: Estudio e interpretación geológica del área de Santa Ana de Belén, Guanacaste.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 72 págs.
- VILLALTA, C., 1990: Estudio geológico de una sección entre Brasilito y Puntas Salinas.- Informe Campaña Geológica, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, 79 págs.
- WEBBER, B. N., 1942: Manganese deposits in Costa Rica .- Am. Inst. Metallurgical Engineers, Tech. Paper, 1445, 7 págs.
- WILDBERG, H., 1984: Der Nicoya-Komplex, Costa Rica, Zentralamerika: Magmatismus und Genese eines polygenetischen Ophiolith-Komplexes.- Münster. Forsch. Geol. Paläont. 62: 123 págs.
- WILDBERG, H., 1987: High level and low level plagiogranites from the Nicoya Ophiolite Complex, Costa Rica, Central America.- Geol. Rundschau, 76(1): 285-301.
- WILBERG, H. & BAUMANN, A., 1987: Composición de isótopos de las rocas magmáticas del Complejo Ofiolítico de Nicoya, Costa Rica, América Central.- En: MILLER, H. (Ed.): Investigaciones alemanas recientes en Latinoamérica: geología. - Bonn: Deutsche Forschungsgemeinschaft- Instituto de Investigación Científica: 18-24.