Revista Geológica de América Central, 70, 1-16, 2024
doi: https://doi.org/10.15517/rgac.2024.58434
ISSN: 0256-7024

Lutitas negras de Tranquerillas: Formación Peña Negra del Mioceno Medio, Costa Rica

Tranquerillas black shales: Peña Negra Formation of Middle Miocene, Costa Rica

Percy Denyer*[1, 2], Teresita Aguilar[1], Erick Rodríguez[1, 3], Raúl Trejos-Tamayo[4, 5], Manuel Barrantes[6] y María I. Sandoval[1, 2]

[1]Universidad de Costa Rica (UCR), Centro de Investigación en Ciencias Geológicas (CICG), San José, Costa Rica
[2]Universidad de Costa Rica (UCR), Escuela Centroamericana de Geología (ECG), San José, Costa Rica
[3]Municipalidad de Upala, Upala, Alajuela, Costa Rica
[4]Universidad de Salamanca, Departamento de Geología, Salamanca, España
[5]Universidad de Caldas, Instituto de Investigaciones en Estratigrafía (IIES), Caldas, Colombia
[6]Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), San José, Costa Rica
*Autor de contacto: percy.denyer@ucr.ac.cr

(Recibido: 20/09/2023; aceptado: 12/12/2023)

ABSTRACT: The occurrence of black shales and sandstones in the Candelaria basin, as well as in the Térraba, Tárcoles and Limón Sur basins has generated inconsistencies and errors in the stratigraphic interpretation, age and origin of these rocks. This is exemplified at the locality of Tranquerillas, where the Tranquerilla Member was associated with the Térraba Formation (Oligocene-Lower Miocene). Based on micropaleontological dating, this work clarifies a Middle Miocene age for this locality. This age and its origin in a shallow marine environment, high primary productivity and oxygen depletion, indicate that these lithologies are instead correlated with the Peña Negra Formation. These results have implications in the tectonic and cartographic model of the area, allowing a more simplified interpretation of the geology of the Tranquerillas locality. Additionally, the designation of these rocks under the member category is no longer necessary.
Keywords: Candelaria basin; Terraba Formation; *Ciperoella angulioficinalis*; *Orbulina suturalis; tectonic*.

RESUMEN: La ocurrencia de areniscas y lutitas negras en la cuenca Candelaria, así como en las cuencas Térraba, Tárcoles y Limón Sur ha generado inconsistencias y errores en la interpretación estratigráfica, la edad y el origen de estas rocas. Como ejemplo la localidad de Tranquerillas, donde se definió el Miembro Tranquerillas adscrito a la Formación Térraba (Oligoceno-Mioceno Inferior). En este trabajo, con base en una datación micropaleontológica se precisa una edad Mioceno Medio para esta localidad. Esta edad, aunado a su origen, en un ambiente marino somero, alta productividad primaria y escasez de oxígeno, permite determinar que estas litologías se correlacionan con la Formación Peña Negra. Estos resultados tienen implicaciones en el modelo tectónico y cartográfico de la zona, permitiendo una interpretación más simplificada de la geología de la localidad de Tranquerillas. Además, no se considera necesario mantener la categoría de miembro para designar estas rocas.
Palabras clave: cuenca Candelaria; Formación Térraba; *Ciperoella angulioficinalis*; *Orbulina suturalis*; tectónica.

La Revista Geológica de América Central utiliza una licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional
Para más información: https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es

Introducción

La ocurrencia de rocas sedimentarias de granulometría fina, areniscas finas y lutitas, de color oscuro hasta negras, se da en diferentes localidades de Costa Rica y forman parte de varias unidades geológicas y varias cuencas sedimentarias (Astorga et al., 1991; Sprechmann, 1984). En la zona sur, dentro de la cuenca Térraba (Fig. 1), son parte de la Formación Térraba del Oligoceno - Mioceno Inferior (Dengo, 1953, 1962; Henningsen, 1966) y de la Formación Curré del Mioceno Medio (Alfaro et al., 2023). En la cuenca de Limón en la Formación Uscari (Fig. 1) cuya edad varía desde el Mioceno inferior hasta la base del Plioceno (Bottazzi-Basti et al., 2021). En esta misma cuenca Taylor (1975), reconoce litologías similares que denomina Miembro Arcillas Moín, de la Formación Río Banano (Pleistoceno). En la cuenca Candelaria, en la parte central del país (Fig. 1), Denyer y Arias (1991) describen lutitas y areniscas negras en la Formación Peña Negra, con una edad Mioceno Medio. En la cuenca Tárcoles (Fig. 1), específicamente en el río Esparza, como parte de la Formación Punta Carballo, Fischer y Aguilar (1995), describen sedimentos clásticos finos, oscuros, depositados en condiciones disaeróbicas del Mioceno Medio - Superior. En otras localidades de la región, también existen litologías similares, por ejemplo, la Cuenca del Canal en el territorio panameño, se han descrito sedimentos marinos disaeróbicos depositados en cuencas temporalmente anóxicas (Bundschuh y Alvarado, 2007). Como se hace evidente, existe un cierto paralelismo cronológico en la ocurrencia de estas litologías, que corresponde con eventos correlacionables de la historia geológica regional, en un período de tiempo en que prevalecieron condiciones ecológicas distintivas, con el desarrollo de cuencas cerradas de diferente profundidad y el retrabajo intensivo de rocas volcánicas preexistentes.

Por la similitud de estas litologías y su importancia dentro de la historia geológica de Costa Rica se hace imperativo hacer revisiones y verificaciones de la edad y las relaciones estratigráficas de las unidades geológicas mencionadas anteriormente. En este sentido se escribe esta contribución, que trata de aclarar confusiones de índole estratigráfico y cronológico, así como visualizar las consecuencias de la interpretación geológica, como resultado de nuevos estudios micropaleontológicos que presentan claras divergencias con la conceptualización existente en las décadas de los años 70 y 80 e inicios de los años 90. Se aportan nuevos datos que complementan los estudios originales (p.e. Aguilar, 1978; Alán, 1978; Castillo, 1967, 1969; Denyer y Arias, 1991; Krushensky, et al., 1976), específicamente en la localidad de Tranquerillas, localizada unos 15 km al sur-suroeste de San José (Fig. 1).

Originalmente se había hecho una correlación entre la Formación Térraba y las lutitas negras aflorantes en la región central del país (Cuenca Candelaria), particularmente en la localidad de Tranquerillas (Miembro Tranquerillas). Sin embargo, un análisis cuidadoso de los sedimentos y de la fauna que contienen, sugiere inconsistencias en la posición estratigráfica y dificultades para ubicarla en el contexto tectónico estratigráfico de la región central del país.

Lutitas negras de la región central

A través de los años, estas rocas sedimentarias (lutitas y areniscas finas negras) han sido incluidas dentro de diversas unidades estratigráficas, dependiendo de los autores. Romanes (1912) estudió unas margas y areniscas en el cerro Candelaria, las cuales subyacían a las calizas de San Miguel, indicando que contenían restos fósiles de plantas y péctenes pequeños. En las margas menciona *Pectunculus*, *Astarte*, *Arca* y *Pyrula* y ubica los estratos en el Mioceno Inferior - Oligoceno Superior. Schuchert (1935) indica que "en asociación con las calizas de San Miguel y aparentemente sobreyaciéndolas, se encuentran las lutitas de Cartago (Cartago *shale*), más de 1000 pies [aproximadamente 300 m] de espesor, cuya edad y relaciones estructurales se desconocen" (Schuchert, 1935, p. 604). Dóndoli y Torres (1954), describen margas y areniscas suaves, es su mayoría calcáreas, dentro de la Formación Conglomerado-Arenácea.

Woodring y Malavassi (1961) describen, cerca de la localidad de Turrúcares, al oeste de San José, la presencia de lutitas calcáreas negras y lodolitas limosas, que contienen unos pocos foraminíferos, a las cuales les asignan una edad Oligoceno superior?, aunque no especifican con base a que infieren esa edad. Estos sedimentos se encuentran subyaciendo mediante una discontinuidad, a una secuencia de areniscas de grano fino y lutitas arenosas que contienen foraminíferos (Woodring y Malavassi, 1961). Los foraminíferos plantónicos que fueron identificados son: *Globigerina bulloides* d 'Orbigny; *Globigerinoides* cf. *G. ruber* (d'Orbigny); *Globigerinoides transitorius* Blow; *Globigerinoides trilobus* (Reuss); *Globobulimina pacifica* Cushman;

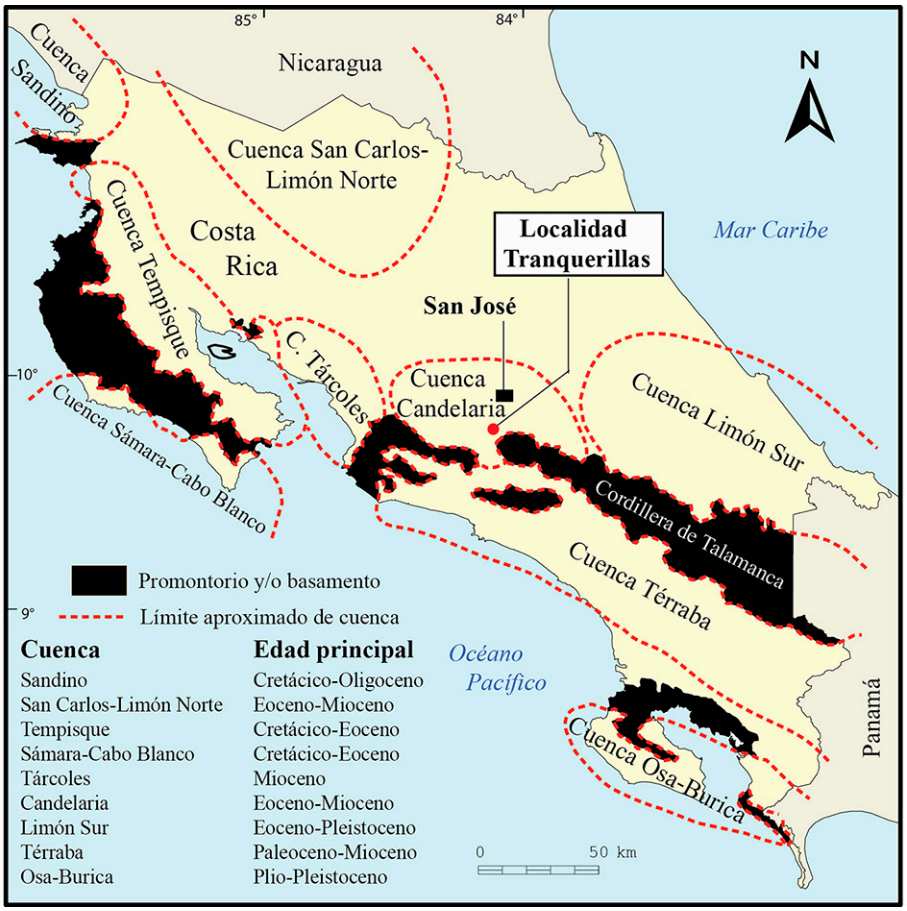

Fig. 1: Ubicación de las principales cuencas de Costa Rica. Se ubica la localidad de Tranquerillas.

Globoquadrina altispira (Cushman y Jarvis); *Orbulina suturalis* Bronnimann y *Turborotalia mayeri* (Cushman y Ellisor). Mientras que los foraminíferos bentónicos corresponden a: *Biorbulina bilobata* (d'Orbigny); *Bolivina marginata* var. *multicostata* Cushman; *Bolivina imporcata* Cushman and Renz; *Bulimina* cf. *B. tessellata* Cushman and Todd; *Bulimina* cf. *B. uvigerinaformis* Cushman and Kleinpell; *Frondicularia* sp. (fragments); *Nonion costiferum* (Cushman); *Plectofrondicularia* sp. (fragmentos); *Rectoglandulina* sp.; *Robulus* sp.; *Saracenaria* sp.; *Siphogenerina lamellata* Cushman; *Uvigerina peregrina* Cushman. Esta asociación de foraminíferos sugiere una edad de Mioceno Medio. Sobreyaciendo a esta secuencia sedimentaria, Woodring y Malavassi (1961) describen unas areniscas de grano medio, algo calcáreas y areniscas de grano grueso, incluyendo capas de conglomerado, en las cuales identifican un grupo de moluscos, *Balanus* sp. y equinoideos que indican una edad de Mioceno Temprano o Medio. Entre los moluscos reconocen ejemplares de Pecten (*Flabellipecten*?) sp.; *Aequipecten* sp.; *Crassatella* cf. *deformis*; *Turritella (Torcula) altilira*.

Woodring y Malavassi (1961) mencionan la presencia, en otras localidades como Brasil de Santa Ana, San Antonio de Desamparados, Patarrá y Santa María de Dota, de varias especies de moluscos, entre ellas *Semicassis*? sp.; *Gemmula*? sp.; *Pecten (Pecten)* sp.; *Trachycardium* sp.; *Trachycardium* aff. *dominicense*; *Chione*? sp.; *Pachychilus aff. P. atratus*; *Hemisinus altispirus*; *Pachychilus? taratanoides*; *Hemisinus altrance*; *Liropecten? (Nodipecten?)* sp.; *Liropecten (Nodipecten?)* cf. *nodusus*; *Balanus* sp.; *Crassostrea?* sp.; *Turritella* sp.; *Natica* sp.; *Miltha* sp.; *Clementia dariena*. Muchas de estas formas son comunes en el Mioceno de la región (Woodring, 1973).

Dóndoli y Chaves (1968) cartografían una unidad con el nombre de Formación Piedras Negras, que probablemente se refiere a estas litologías. La caracterizan como Depósitos clásticos finos, margosos, localmente calizas.

Castillo (1969) incluye, dentro de la Formación Térraba, las interestratificaciones de arenisca, limolita, lutita negra a gris oscuro calcáreas y algo de caliza, que afloran en las hojas cartográficas de Abra y Río Grande (mapa escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional). Son rocas generalmente bien estratificadas, con vetas de calcita y algunos fósiles. Se presentan intensamente meteorizadas en superficie, dando como resultado suelos arcillosos amarillos, rojos y pardos, con meteorización esferoidal. Indica que descansa sobre la Formación Pacacua y es sobreyacida en forma concordante por la Caliza de San Miguel (Formación San Miguel), y en forma discordante por las formaciones Turrúcares y Aguacate y las rocas volcánicas, lahares y aluviones del Valle Central Occidental. También menciona el hallazgo de fósiles cerca de Aserrí y en la quebrada Mesén (parte alta de la quebrada Quebradas, por Alto Coris), entre ellos, *Aequipecten plurinominis* y *Pecten (Flabellipecten) gatunensis*, indicando que son del Mioceno Inferior. Le asigna una edad a la formación de Mioceno Inferior a ¿Oligoceno?, con base en los fósiles encontrados y en la correlación con la localidad tipo. Este mismo autor indica que se encuentra bien expuesta en Patarrá, Aserrí, Lomas Salitral, El Tablazo, hasta el pueblo de Tabarcia y flancos este y sur de los cerros de Turrúcares (Castillo, 1969).

Alán (1978), define el Miembro Tranquerillas dentro de la Formación Térraba, para designar una sección estratigráfica aflorante en la quebrada Tarbaca, de Norte a Sur hasta el poblado de Tranquerillas, que considera que tiene características litológicas y paleontológicas particulares, indicando:

> Consiste de un volcánico prácticamente indiferenciado y a veces retrabajado, de composición andesítico-basáltica, con capas de lava en algunas partes bastante continuas; además de brechas e intraconglomerados lentificados al igual que pequeños y esporádicos estratos de areniscas tobáceas o tobas y vulcarenitas. La masa en su totalidad fue depositada con bastante rapidez…Los colores comprenden grises oscurecidos, verdes, café y marrones o rojos opacos. Se alteran a tonos amarillentos, pardo claro, verdes pálidos, grises y violetas (Alán, 1978, p. 17).

En la localidad de Tranquerillas específicamente reconoce un conglomerado fosilífero, con un espesor aproximado de 25 m, que permitió datar la base de la unidad, consiste en clastos redondeados, desde 2 mm hasta 10 cm de diámetro, en una matriz arenosa o tobácea de grano grueso. Colores pardos y marrones, pocas veces verdosos. Este conglomerado cambia hacia la parte basal y lateral a areniscas conglomeráticas, areniscas y lutitas tobáceas (Alán, 1978). En estos conglomerados R. Fischer (Alán, 1978) reconoce la siguiente fauna:

Briozoos: *Hemiphylactella* sp.; *Omoiosia* sp.; *Plagiosmittia* sp. (Oligoceno) y *Flustra* sp. Bivalvos: *Ostrea* sp.; *Spondylus* sp.; *Pecten* sp.; *Lyropecten* sp.; *Flabellipecten* sp.; *Lima* sp. y *Glycimeris* sp. Foraminíferos: *Lenticulina* sp. y *Globigerina ciperoensis* Bolli (Oligoceno). Esponjas: **Cliona** sp. Cirripedios: *Balanus* sp. Vertebrados: Diente de tiburón. Se realizó una revisión de esta fauna, particularmente se buscaron los foraminíferos en la Colección de Fósiles de la Escuela Centroamericana de Geología (Laboratorio de Paleontología), donde según Alán (1978) estaban depositados, sin embargo, no se pudieron localizar.

Los restos están de regular a mal preservados y son característicos de un ambiente marino somero, con aguas turbulentas, temperaturas altas y clima tropical (Alán, 1978). Además, indica que el Miembro Tranquerillas está intercalado entre las lutitas y areniscas calcáreas de la "Formación Térraba", lo cual se puede comprobar en la quebrada Tarbaca, en Tranquerillas, sobre la carretera Tarbaca-Jorco y en la quebrada Salitral. Le asigna una edad del Oligoceno, con base en los fósiles y en la correlación con la Formación Térraba.

Aguilar (1978) hace un estudio detallado de la macrofauna del Miembro Tranquerillas, la cual contiene principalmente moluscos y briozoos, en menor cantidad esponjas, corales, braquiópodos, equinodermos y restos de vertebrados (escamas de peces y dientes de tiburón). Además, identificó erróneamente como Artrópodos unos restos fósiles, que en realidad corresponden con escamas de peces. La fauna está mal preservada, presentándose generalmente como impresiones y moldes, muy pocas veces se conserva parcialmente el esqueleto o la concha (esponjas silíceas, algunos briozoos y pocos bivalvos). Destaca que no se encontraron fósiles que permitan determinar la edad, por lo cual se refiere a la datación de Alán (1978). Los moluscos

reconocidos son: Bivalvia, *Glycymeris* sp., *Pinna (Pinna)* sp., *Atrina* sp., *Hyotissa* sp., *Ostrea* sp, *Lopha* sp., *Eburneopecten* sp., *Chlamys* sp., *Chlamys (Aequipecten) aff. plurinominis*, *Chlamys (Equichlamys)* sp., *C. (Liropecten)* sp., varias especies de Pecten indeterminadas, varias especies de *Pecten (Flabellipecten)* sp., *Spondylus* sp., *Lima* sp. Gasterópoda, *Scalina* sp., *Natica* sp., *Malea* sp., *Oliva* sp. Scaphopoda, y *Dentalium* sp.

Aguilar (1984) señala el hallazgo de *G. ciperoensis*, un foraminífero referido como guía del Oligoceno (Alán, 1978), aunque menciona que existen registros esporádicos de la especie en el Mioceno Temprano bajo (Stainforth et al., 1975, fig. 16)

Alan y Fischer (1982) documentan el primer hallazgo de braquiópodos en Costa Rica *Liothyrella inexpectata* n. sp., en las lutitas interpretadas como parte de la Formación Térraba de edad Oligoceno. Sin embargo, estos mismos autores indican que el género *Liothyrella* se conoce desde el Mioceno hasta el presente. En cuanto a los aspectos ecológicos, Alan y Fischer (1982) indican que las especies actuales viven en aguas marinas en una profundidad entre 50 y 600 m, pegada al fondo blando arenoso, con turbulencia en una región expuesta al mar abierto.

Denyer y Arias (1991) incluyen al Miembro Tranquerillas en el cartografiado geológico de la hoja Caraigres e indican que el Miembro Tranquerillas corresponde más con una unidad bioestratigráfica que una unidad litoestratigráfica. Además, resaltan que desde las primeras definiciones informales hubo confusión y falta de claridad respecto a la litología y la posición estratigráfica del miembro, lo cual se puede deber al fuerte tectonismo del área donde aflora y que probablemente en algunas partes es confundido tectónicamente con la Formación Peña Negra. También indican que si la correlación estratigráfica es correcta (con la Formación Térraba), se evidencia un hiato o muy poca sedimentación durante el Mioceno Inferior en esta área. Consideran que la cronología y litología apuntan a una mejor correlación con la Formación Caraigres.

Métodos

Se hicieron varios recorridos por la localidad de Tranquerillas, basados en los trabajos de Alán (1978) y Aguilar (1978) principalmente en las localidades donde se indica la presencia de fósiles. Además, se trató de verificar los datos de buzamientos tomados por los autores anteriores y que se incluyen en el mapa de Arias y Denyer (1990), aunque la intensa meteorización que presentan las lutitas y areniscas finas dificulta mucho la identificación de los planos de estratificación correctos; de igual forma en ocasiones se reconocen diaclasas sistemáticas que se confunden con los planos de buzamiento En cada sitio visitado se verificó la litología y se tomaron todos los datos geológicos pertinentes. Específicamente se visitaron las dos localidades que se indican en el mapa geológico de Alán (1978), ambos cerca a la quebrada Salitral, entre las localidades de Tranquerillas y Salitral.

Se realizó una revisión de algunos de los especímenes reportados en la localidad de Tranquerillas, que se encuentran en la Colección de Fósiles de la Escuela Centroamericana de Geología (Laboratorio de Paleontología).

Se hicieron muestreos detallados de las lutitas oscuras. Estas muestras fueron debidamente procesadas para estudios micropaleontológicos, con el fin de corroborar la edad por medio de foraminíferos planctónicos de estas rocas. El procesado de las muestras se hizo en los laboratorios de la Escuela Centroamericana de Geología, y consistió en la disgregación de la muestra por medio de peróxido de hidrógeno y tamizado por vía húmeda en un tamiz de apertura de 63µm. Luego, una vez eliminada la humedad de las muestras, se tamizó en seco en tamices de apertura 150µm y 250 µm.

Para la obtención de imágenes de foraminíferos, estos se adhieren a una base con cinta doble cara de carbón y posteriormente se recubren de 60-120 nm de oro-platino por medio del cobertor iónico marca EMS-150RS, posteriormente las imágenes fueron tomadas con un microscopio electrónico de barrido.

Además, se hicieron secciones seis delgadas y se realizó la petrografía convencional, con el fin de hacer la caracterización correspondiente y específicamente poder proceder a la comparación con rocas similares que afloran en la región central del país.

Paleontología

Con miras a aclarar la posición estratigráfica y la edad del Miembro Tranquerillas, se procedió a hacer una revisión de las especies y de los rangos estratigráficos asignados a la fauna determinada por Aguilar (1978). En ese trabajo se señala que la macrofauna no es determinante para la edad, la única excepción es el briozoo Plagiosmittia sp., género restringido al Eoceno-Oligoceno (Bassler, 1953). Sin embargo, las características que se utilizaron para la determinación, se presentan en otros géneros como por ejemplo Marguetta (Eoceno- Reciente) o Smittinella (Terciario, con especies del Mioceno) (Bassler, 1953). Por esta razón se analizaron las muestras que se encuentran en la Colección de Originales de la Escuela Centroamericana de Geología (CF-2209, CF-2210). Se trata de cuatro fragmentos de colonias tubulares, con zoecias dispuestas en líneas longitudinales y alternas, preservadas como moldes internos incompletos, lo cual complica un reconocimiento específico y definitivo del material. Por no ser una determinación totalmente segura y la mala conservación de los fragmentos, consideramos que no es conveniente basar la posición estratigráfica de esta unidad es esta única especie.

No se descarta que la fauna haya sido afectada por un proceso de transporte, aunque sea de una fuente cercana ya que son solo fragmentos y se encuentran en un conglomerado. Otra posibilidad es que el género haya sobrevivido en una especie de refugio y pasado el límite Oligoceno -Mioceno en esa localidad.

Aunado a esto, el resto de la fauna, principalmente los moluscos enlistados (Aguilar, 1978; Alán, 1978) son géneros y especies comunes en el Mioceno de la región, aunque algunos tienen un rango más amplio. Entre ellas hay que destacar los bivalvos: *Chlamys (Aequipecten) aff. Plurinominis* y *Pecten (Flabellipecten?)* sp., frecuentes en varias formaciones del Mioceno de Costa Rica (Fm. Turrúcares, Formación Peña Negra) y en el Mioceno Medio de la región (Formación Gatún, Panamá; Formación Gurabo, República Dominicana; Formación Bowden, Jamaica; Formación Falcón, Venezuela; Formación Progreso, Ecuador (Woodring, 1982).

Es importante resaltar que, a pesar de no estar muy bien conservada, la fauna fósil es abundante y diversa, lo cual no es común en otras localidades con facies semejantes, por lo que la localidad merece un tratamiento especial. De igual manera, los afloramientos están muy tectonizados y meteorizados complicando aún más la interpretación.

Sistemática micropaleontológica

Con base en la muestra recolectada en la localidad de Tranquerillas, coordenadas 488547W/1084164N (9°48,287/-84°06,267) se encontró la siguiente fauna:

Filo FORAMINIFERA d'Orbigny, 1826
Clase GLOBOTHALAMEA Pawlowski et al., 2013
Orden ROTALIIDA Delage y Hérouard, 1896
Familia GLOBIGERINIDAE Carpenter et al., 1862

Género *Ciperoella* Olsson y Hemleben en Olsson et al., 2018
Especie tipo: *Globigerina ciperoensis* Bolli, 1954
Ciperoella anguliofficinalis Blow, 1969
Fig. 2- 1, 2
1969 *Globigerina anguliofficinalis* — Blow, pp. 379, pl. 11, figs. 1, 2.
2018 *Ciperoella anguliofficinalis* (Blow) — Olsson et al., pp. 217, pl. 7.1, figs. 1-18.

Género *Globigerinella* Cushman, 1927
Especie tipo: *Globigerina aequilateralis* Brady, 1879

Globigerinella cf. *obesa* Bolli, 1957
Fig. 2- 3,4, 5
1957 *Globorotalia obesa* — Bolli, pp. 119, pl. 29, figs. 2a - 3.
1983 *Globigerinella obesa* (Bolli) — Kennett y Srinivasan, pp. 234, pl. 59, figs. 2 - 5.
2018 *Globigerinella obesa* (Bolli) — Spezzaferri, Coxall, Olsson y Hemleben, pp. 198, pl. 6.1, figs. 14 - 17, pl. 6.8, figs. 1 - 23.

Comentario: Concha de forma lobular, troco espiral bajo - moderado, presenta 4 cámaras globulares en la última vuelta que aumentan gradualmente su tamaño, la apertura se encuentra saturada de sedimento, sin embargo, se interpreta de tipo umbilical a extraumbilical. Debido a la mala preservación no se puede observan el tipo de pared, sin embargo, se puede observar una superficie lisa.

Género *Globoturborotalita* Hofker, 1976
Especie tipo: *Globigerina rubescens* Hofker, 1976
Globoturborotalita cf. *brazieri* Jenkins, 1965
Fig. 2- 6,7, 8
1965 *Globigerina brazieri* — Jenkins, pp. 1098, figs. 6 (43-51).
1983 *Globigerina (Zeaglobigerina) brazieri* (Jenkins) — Kennett y Srinivasan, pp. 43, pl. 7, figs. 7, 8.
2018 *Globoturborotalita brazieri* (Jenkins) — Spezzaferri, Olsson, Hemleben, Wade y Coxal, pp. 235, pl. 8.1, figs. 8 - 14.

Comentario: Concha de forma subcuadrada y pobre a moderadamente lobular, troco espiral bajo, presenta 31/2 cámaras subglobulares en la última vuelta, la última cámara es de mayor tamaño y de forma subcuadrada, la apertura es umbilical con forma de arco alto y simétrico rodeado por un labio delgado. Debido a la mala preservación no es claro el tipo de pared, sin embargo, puede inferirse una estructura cancelada.

Género *Orbulina* d'Orbigny, 1839
Especie tipo: *Orbulina universa* d'Orbigny, 1839
Orbulina suturalis Brönnimann, 1951
Fig. 2 - 12, 13
1933 *Candorbulina universa* — Jedlitschka, pp. 65, figs. 17 - 26
1951 *Orbulina suturalis* (Jedlitschka) — Brönnimann, pp. 135, pl. 4, figs. 132 - 138.

Comentario: Concha de forma circular, la última cámara es esférica y no envuelve por completo a las 2 anteriores, esto puede deberse a que el espécimen se encuentra en un estadio joven (Kenneth y Srinivasan, 1983). No es posible observar aperturas sobre la última cámara. La mala preservación no permite identificar el tipo de pared, sin embargo, aparenta ser espinosa al menos en algunas partes de la última cámara.

Género *Paragloborotalia* Cifelli, 1982
Especie tipo: *Globorotalia opima* subsp. *opima* Bolli, 1957
Paragloborotalia cf. *nana* Bolli, 1957
Fig.2-14, 15
1957 *Globorotalia opima nana* — Bolli, pp. 118, pl. 28, figs. 3a - c.
1983 *Globorotalia nana* (Bolli) — Kennett y Srinivasan, pp. 106, pl. 24, figs. 3 - 5.
2018 *Paragloborotalia nana* (Bolli) — Leckie et al., pp. 149, pl. 5.7, figs. 1 - 16.

Comentario: Concha de forma cuadrada a subcuadrada y pobremente lobular, troco espiral muy bajo. Presenta 4 cámaras sub esféricas en la última vuelta. Las suturas son radiales y dispuestas en forma de cruz. Presenta una apertura umbilical – extra umbilical. Debido a la mala preservación no es posible definir el tipo de pared, sin embargo, en algunos sectores del espécimen se puede inferir una pared cancelada.

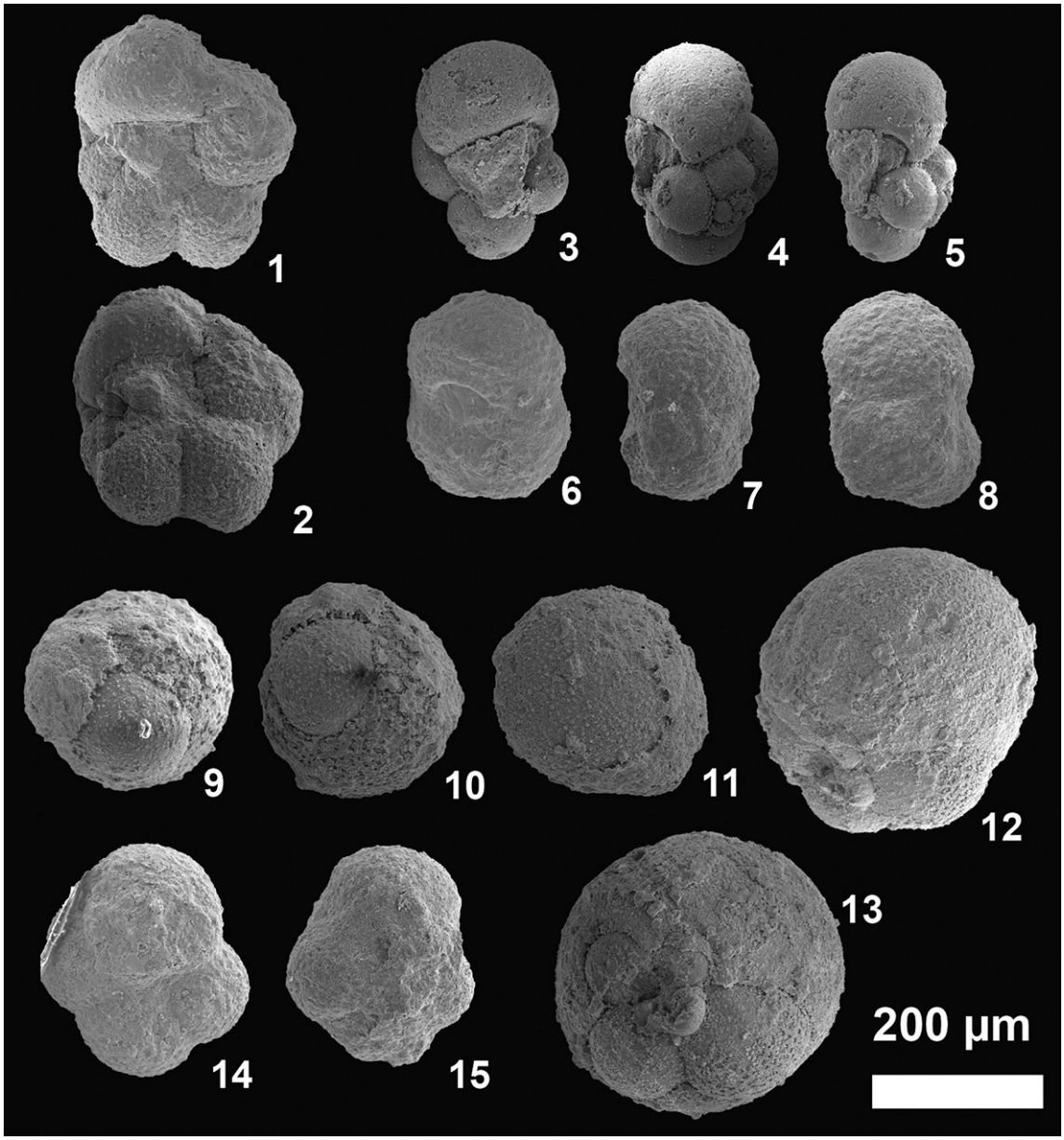

Fig. 2 : 1 – 2 : *Ciperoella angulioficinalis*; 3 - 5: *Globigerinella* cf. *obesa*; 6 - 8: *Globoturborotalita* cf. *brazieri*; 9 - 10, 11: *Orbulina* cf. *suturalis*; 12 - 13: *Orbulina suturalis*; 14 – 15: *Paragloborotalia* cf. *nana*.

Resultados micropaleontológicos

La concurrencia de las especies *Ciperoella angulioficinalis* y *Orbulina suturalis* en la muestra procesada, permiten establecer un modelo de edad que corresponde con el horizonte que delimita las biozonas M5b y M6 según la zonación de Wade et al. (2011), aproximadamente a los 15,1 millones de años en el Langhiense, Mioceno Medio (Fig. 3). También se

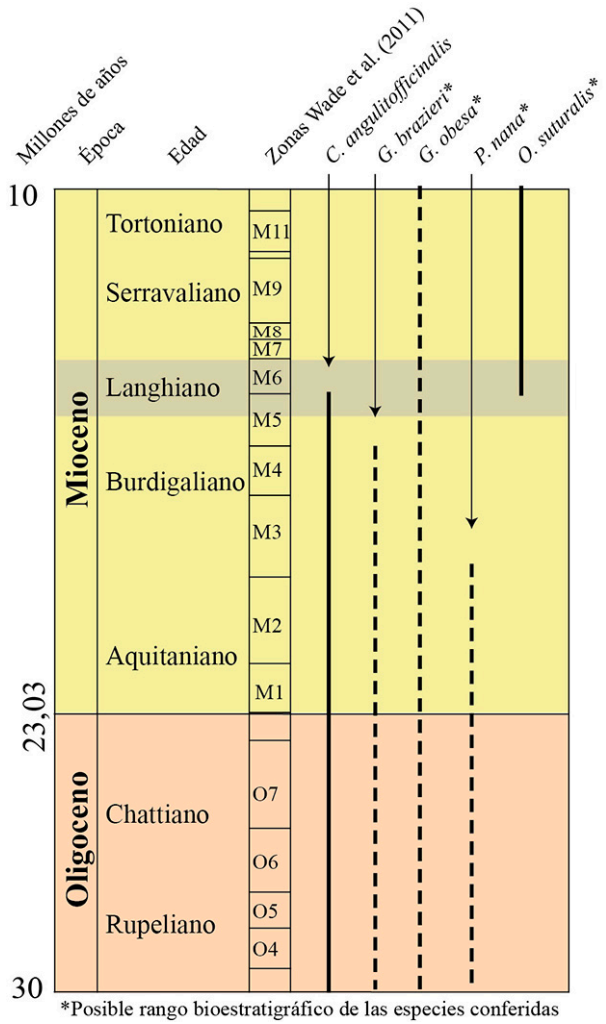

Fig. 3: Rango bioestratigráfico de las especies observadas en este trabajo.

identificaron otras especies como *Globigerinella* cf. *obesa*, *Globoturborotalita* cf. *brazieri* y *Paragloborotalia* cf. *nana*, las cuales permiten interpretar la existencia de poblaciones planctónicas de edad más antigua, hasta el Burdigaliense, y, por ende, evidencia de retrabajo.

Aspectos estratigráficos y sedimentológicos

Como se mencionó anteriormente, en diversas localidades del país afloran areniscas y lutitas negras, algunas veces con intercalaciones de calizas y lutitas calcáreas. Específicamente, en la Región Central, localidad de Tranquerillas han sido descritas, estas facies, como parte del Miembro Tranquerillas (Alán, 1978),

Estas secuencias sedimentarias han generado confusión y dudas, tanto en su posición estratigráfica como en su edad. Incluso, en el mapa geológico de la hoja Caraigres (Arias y Denyer, 1990), el Miembro Tranquerillas lo presentan rodeado por fallas inversas, para poder explicar su posición topográfica y estratigráfica.

Con base en criterios puramente litológicos (litocorrelación), estas facies han sido correlacionadas con facies semejantes de la Formación Térraba, que corresponden con depósitos turbidíticos y sedimentos finos, areniscas y lutitas oscuras del Oligoceno-Mioceno Inferior, considerando que se trata de un mismo evento de depositación de facies oscuras. Sin embargo, existen diversas posibilidades de generación de sedimentos oscuros (areniscas y lutitas negras), las cuales pueden ser depositadas por diferentes procesos y en diversos ambientes sedimentarios (Trabucho-Alexandre et al., 2012). El término "lutitas negras" es útil para referirse a rocas sedimentarias ricas en materia orgánica, pero es claro que estas rocas pueden tener diferentes orígenes y depositarse en diferentes edades. La discusión principal se centra en el origen somero o profundo de estos depósitos (Arthur y Sageman, 1994). Lo que tienen en común estos depósitos, es un contenido mayor de materia orgánica particulada (más de 10 %) que el promedio de rocas marinas, que es la causa principal del color oscuro que presentan, son pobres en fauna bentónica (Arthur y Sageman, 1994) y coinciden temporalmente con períodos de incremento de la actividad volcánica y tectónica (Acevedo, 2018; Trabucho et al.,2012).

Estas condiciones han prevalecido en diferentes momentos de la evolución geológica de Costa Rica, por lo que se pueden encontrar depósitos de facies semejantes en diferentes localidades del país y en distintas edades, como ha sido expuesto en este trabajo.

Por tanto, facies de areniscas y lutitas negras constituidas principalmente por sedimentos de origen volcánico y materia orgánica particulada pueden ser generados por diferentes procesos (Acevedo, 2018; Trabucho et al.,2012): 1. Sedimentación pelágica lenta. 2. Corrientes de fondo, que arrastran sedimentos de diversos tamaños dependiendo de su fuerza 3. flujo hiperpicnial, mediante la descarga de sedimento suspendido en la boca de los ríos durante periodos de inundación, el flujo de fondo es causado por la densidad excesiva del sedimento y, en algunos casos, el sedimento se asienta relativamente cerca de la desembocadura de los ríos, pero el flujo hiperpicnial puede continuar hacia las zonas profundas a través de pendientes de pro-deltas, 4. corrientes de turbidez, tanto los sedimentos como la materia orgánica son transferidos del agua superficial a profunda de manera turbulenta, propulsados por la gravedad en zonas de pendiente. 5. Deslizamientos en masa por la gravedad, que pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos ladera abajo, hacia el fondo marino en un solo evento (Acevedo, 2018; Hampton et al., 1997).

La depositación de estos sedimentos indica una alta productividad primaria, escasez o casi ausencia de oxígeno, sepultamiento rápido de la materia orgánica debido a altas tasas de sedimentación y preferiblemente sedimentos de grano fino, por ser menos permeables, lo que dificulta la circulación de agua (Acevedo, 2018; Arthur y Sageman, 1994; Trabucho et al., 2012). Estas condiciones se pueden dar en los márgenes continentales, lagunas y mares restringidos, deltas, lagos y pantanos.

Con el fin de tener un aproximado del contenido de materia orgánica, se realizaron estudios de secciones delgadas y muestras de roca, para hacer una correlación más específica de diversas localidades, obteniéndose valores muy consistentes de materia orgánica particulada entre 20-25% (Cuadro 1; Fig. 4). El análisis permitió comparar las muestras de la localidad de Tranquerillas con otras muestras típicas de la Formación Peña Negra, aflorante en localidades cercanas (Acosta).

Este análisis permite concluir que los sedimentos oscuros aflorantes en la localidad de Tranquerillas, son semejantes en composición a las rocas típicas de la Formación Peña Negra.

En la localidad de Tranquerillas, lo particular es la intercalación de facies gruesas, conglomerados y brechas con un contenido fosilífero abundante y diverso, con organismos que no son frecuentes en otras localidades donde afloran lutitas negras en la Región Central e indican condiciones locales de depositación más energéticas y en ambientes posiblemente más someros.

En el caso de los sedimentos estudiados, se considera que el mecanismo principal de acumulación fue por una sobrecarga de sedimentos, cerca de la desembocadura de un río, posiblemente debido a un incremento del aporte por una intensa actividad volcánica. Lo cual puede ser reafirmado por la presencia de conglomerados fosilíferos intercalados, con organismos de ambiente somero, por el retrabajamiento, representado en los foraminíferos de edades más antiguas (Aguilar, 1978; Alán, 1978; Denyer y Arias, 1991) y por la presencia de depósitos volcaniclásticos por encima de la secuencia (Alan, 1978).

Con respecto a la correlación estratigráfica, la edad (Mioceno Medio), basada en el estudio de los foraminíferos planctónicos, permite reafirmar la inclusión de estas rocas en la Formación Peña Negra y no como habían sido considerados anteriormente en la Formación Térraba (Aguilar, 1978; Alán, 1978; Castillo, 1969; Denyer y Arias, 1991; Sprechmann, 1984). Se considera, además, que no se justifica la denominación de Miembro Tranquerillas propuesta por Alán (1978), según las sugerencias de la Guía Estratigráfica Internacional (Salvador, 1994), debido que no se puede diferenciar de otras localidades donde aflora la Formación Peña Negra.

Cuadro 1

Comparación de localidades de Peña Negra y Tranquerillas.

TIPO COMPONENTE		MUESTRAS LOCALIDAD		
		Caraigres (%)	Peña Negra (promedio [%])	Tranquerillas (%)
CRISTALES	Plagioclasas	12	8-10	5-6
	Opacos	2	1-2	1
	Glauconita	± 1	-	-
	Cuarzo	5	-	-
	Máficos alterados	2	-	-
	Calcita	14	-	-
	Otros	±1	±1	1
FRAGMENTOS DE ROCA	Volcánicos alterados	±1	5-6	±1
BIOCLASTOS	Foraminíferos	4	8-10	8-10
	Espículas	±1	-	-
	Otros bioclastos	3	1-2	1
MATRIZ	Matriz	40	50-55	55
	Materia orgánica	18	20-25	25
OTROS	Vetillas de calcita	-	1	1-2

Consecuencias al mapa geológico y la tectónica

El mapa geológico de Arias y Denyer (1990) consideraba un modelo estratigráfico de varias unidades en la cuenca Candelaria, por lo que la posición del Miembro Tranquerillas, de edad Oligoceno, obligaba a rodear la ubicación espacial del Miembro Tranquerillas con fallas inversas, pues la unidad en contacto directo corresponde con la Formación La Cruz, de edad Mioceno Superior (Fig. 5A) y el modelo estratigráfico de Denyer y Arias (1991) implicaba un faltante de las formaciones Pacacua y Peña Negra.

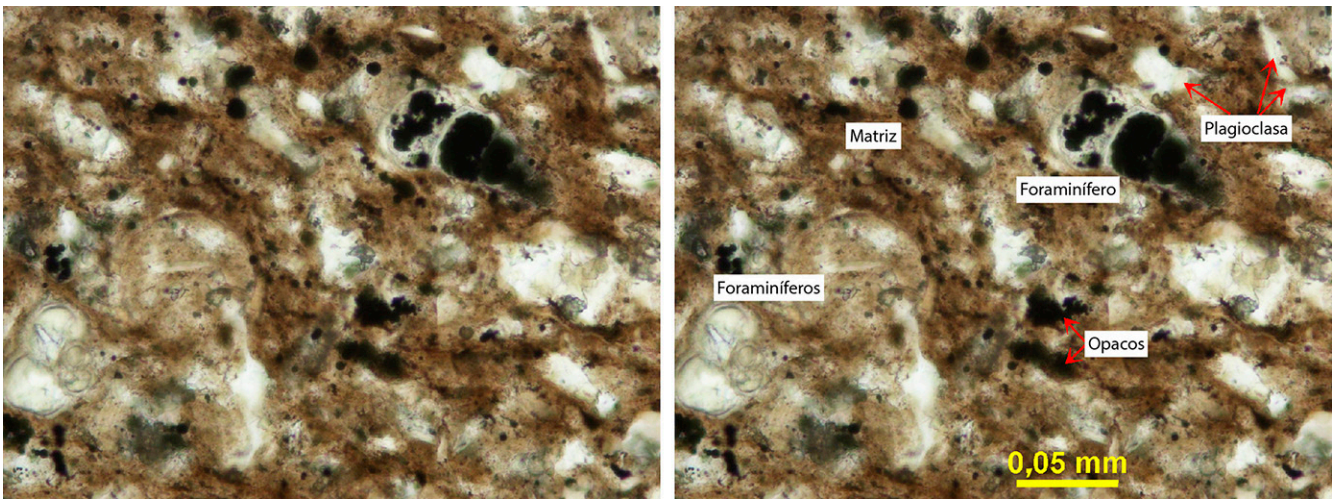

Fig. 4: Microfotografía de una muestra de lutita negra. Muestra los componentes principales, rotulados en la fotografía derecha. La materia orgánica se encuentra como pequeños puntos negros en la matriz.

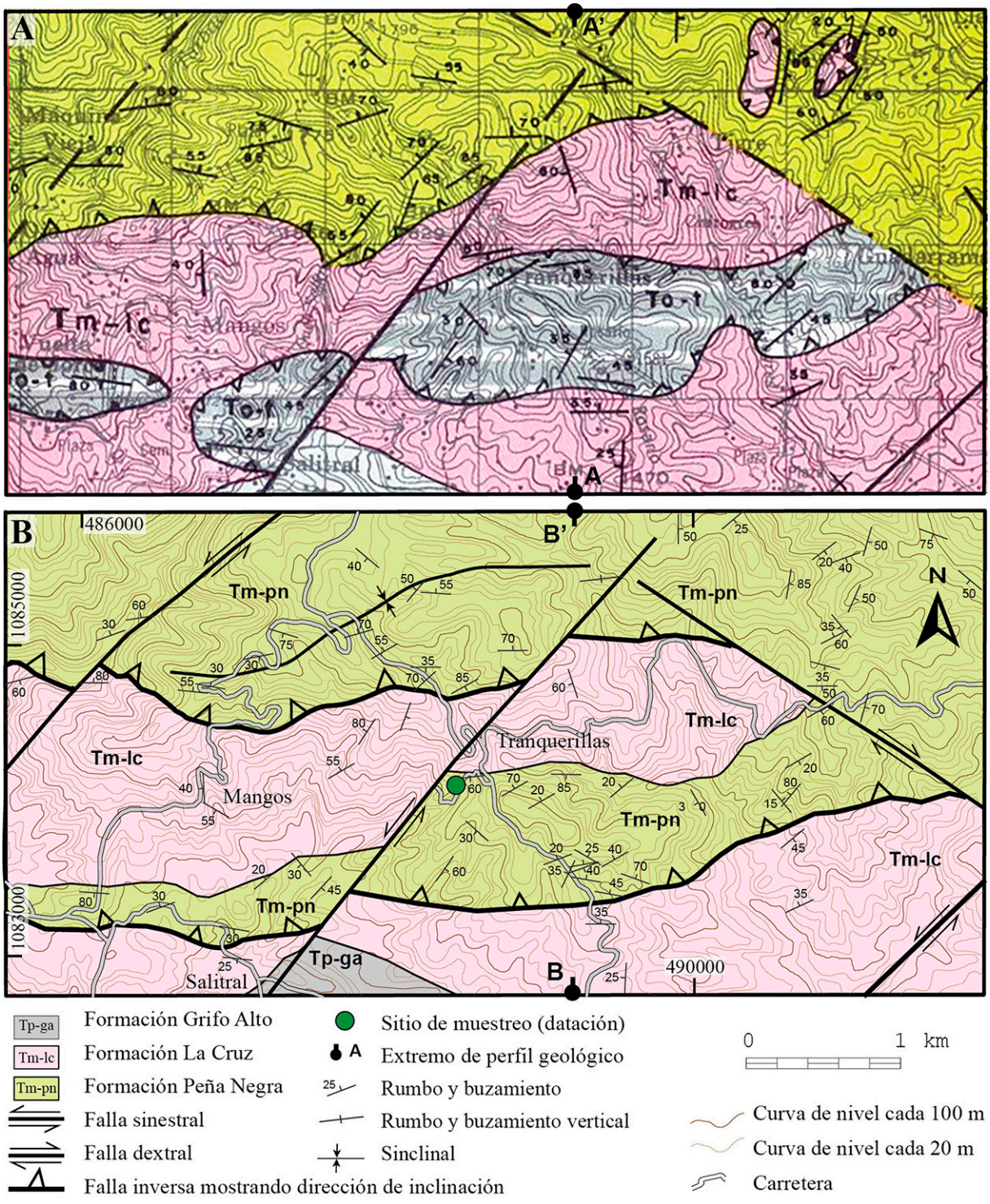

Fig. 5: A) Fragmento del mapa geológico de Arias y Denyer (1990). B) Actualización del mapa geológico, con la inclusión de nuevos datos de buzamiento y recorridos a lo largo de la zona.

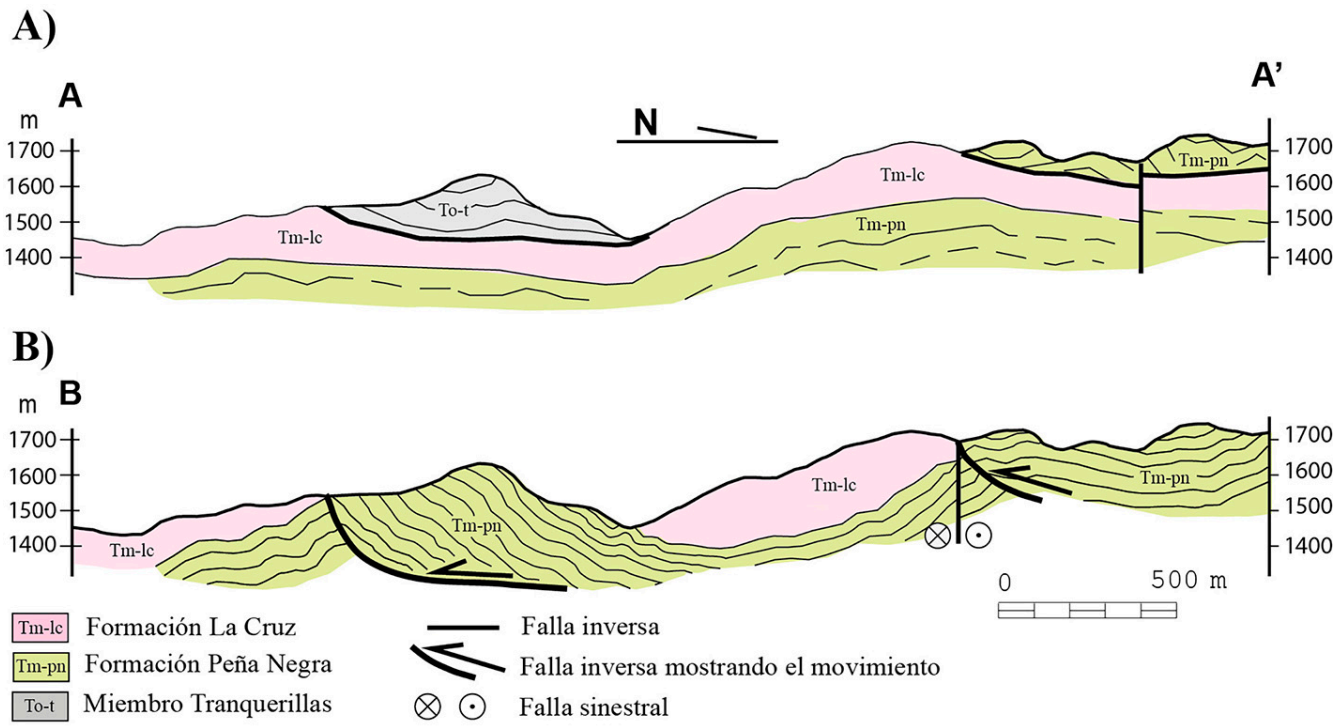

Fig. 6: Perfiles geológicos. A) Interpretación con base en el mapa de Arias y Denyer (1990). B) Perfil según el mapa propuesto en este trabajo.

Con base en los datos recabados en este proyecto se hace una actualización del mapa geológico (Fig. 5B), se reubican ligeramente las tres fallas sinestrales noreste que aparecen en el mapa, se incluyen nuevos buzamientos y se eliminan los afloramientos de la Formación La Cruz en el noreste de la figura 5. Pero el aspecto más importante es la sustitución del Miembro Tranquerillas por la Formación Peña Negra. Siguiendo el modelo estratigráfico de Denyer y Arias (1991), la Formación La Cruz sobreyace a la Formación Peña Negra en contacto concordante. Esto último hace innecesario el fallamiento inverso que se expresaba en el mapa de Arias y Denyer (1990). Sin embargo, siempre se interpretó la existencia de fallas inversas de dirección general este-oeste y con planos inclinados al norte, debido a las direcciones de buzamientos, que no permitían poner las unidades en posición estratigráfica normal. La interpretación diferente, basada en el mapa de Arias y Denyer (1990) se observa en la figura 5A, y la nueva interpretación se dibuja en la figura 5B.

Conclusiones

La localidad de Tanquerillas presenta litologías características y distintintivas que permiten reconocer una facies de areniscas y lutitas negras, desarrollada en un ambiente marino somero, sublitoral, lo que difiere con la conceptualización de una génesis en un ambiente marino profundo, anteriormente aceptado. La depositación de estos sedimentos indica una alta productividad primaria, escasez o casi ausencia de oxígeno, sepultamiento rápido de la materia orgánica debido a altas tasas de sedimentación

La edad obtenida en una muestra tomada en la localidad de Tranquerillas corresponde con el horizonte que delimita las biozonas M5b y M6 según la zonación de Wade et al. (2011), aproximadamente a los 15,1 millones de años en el Langhiense, Mioceno Medio con posible retrabajamiento del Mioceno Temprano. Lo cual no es congruente con la correlación con la Formación Térraba, sino más bien que esta secuencia sedimentaria corresponde con la Formación Peña Negra.

Existe una buena correlación litológica y similitud de ambiente de depositación con la Formación Peña Negra. De igual forma, la cantidad de materia orgánica particulada es similar con otros afloramientos de la Formación Peña Negra (20-25%).

No se considera conveniente mantener el rango de miembro, para las rocas de la localidad de Tranquerillas, debido a que no hay suficientes características distintivas que permitan separar estas rocas de otros afloramientos de la Formación Peña Negra.

Con este trabajo se ejemplifica de forma abrumadora la necesidad de realizar estudios bioestratigráficos como apoyo directo a los estudios tectónico-estructurales.

Agradecimientos

Esta investigación fue realizada dentro del marco de los proyectos 830-B0-242 y 830-C2-158 de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

Referencias

Acevedo, S. M. (2018). *Caracterización geoquímica y petrofísica de la Formación La Casita en afloramientos del noreste de México.* (Tesis de maestría inédita). Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, México.

Aguilar, A. T. (1978). *Fauna de un perfil de la Formación Térraba: Oligoceno, Costa Rica.* (Tesis de Licenciatura inédita). Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Aguilar, T. (1984). Miembro Tranquerillas de la "Formación Térraba". En P. Sprechmann (ed.), *Manual de geología de Costa Rica* (Vol. 1, pp. 13-17). Editorial Universidad de Costa Rica.

Alán, M. (1978). *Geología del área noroeste de San Gabriel de Aserrí.* Universidad de Costa Rica. Informe Campaña Geológica.

Alan, M. A., y Fischer, R. (1982). Primer hallazgo de braquiópodos en Costa Rica. *Brenesia*, 19-20, 333-351.

Alfaro, A., Denyer, P., Calvo, C., Bolz A., Aguilar, T., Vargas, C., Chesnel, V., y Rodriguez, E. (2023). Tectonostratigraphic model of the Fila Costeña in southern Central America based on new biostratigraphic data: implications of a two-thrust-fault hypothesis. *Journal of South American Earth Sciences*, 128. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104465

Arias, O., y Denyer, P. (1990a). *Geología de la hoja Caraigres.* (Escala 1:50 000). Instituto Geográfico Nacional.

Arthur, M. A., y Sageman, B. B. (1994). Marine black shales: depositional mechanisms and environments of ancient deposits. *Annual Reviews Earth and Planetary Sciences*, 22, 499-551.

Astorga, A., Fernández, J. A., Barboza, G., Campos, L., Obando, J. A., Aguilar, L. A., y Obando. (1991). Cuencas sedimentarias de Costa Rica: evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. *Revista Geológica de América Central*, 13, 25-59.

Bassler, R. S. (1953). Bryozoa. En R. C. Moore (ed.), *Treatise on invertebrate paleontology* (pp. i-xiii, G1-G253). Geological Society of America

Blow, W. H. (1969). Late middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. En P. Brönnimann y H. H. Renz (eds.), *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils* (pp. 121-160). E. J. Brill 1969. Hfl. 500.

Bolli, H. M. (1954). Note on *Globigerina concinna* Reuss 1850. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 5(1), 1-3.

Bolli, H. M., Loeblich, A. R., y Tappan, H. (1957). Planktonic foraminiferal families Hantkeninidae, Orbulinidae, Globorotaliidae and Globotruncanidae. En A. R. Loeblich, H. Tappan, J. P. Beckmann, H. M. Bolli, E. Montanaro, J. C. Troelsen (eds.), *Studies in Foraminifera* (pp. 3-50). U.S. Government Printing Office.

Bottazzi-Basti, G., Obando-Acuña, L. G., y Fernández-Solorzano, J. A. (2021). Episodios tectonosedimentarios de la cuenca Limón Sur. *Revista Geológica de América Central*, 65, 1-17.

Brady, H. B. (1879). Notes on some of the reticularian Rhizopoda of the "Challenger" expedition. *On new or little known arenaceous types. Quarterly Journal of Microscopical Science*, 19, 20-63.

Brönnimann, P. (1951). Globigerinita naparimaensis n. gen., n. sp., from the Miocene of Trinidad. *Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research*, 2(1), 16-18.

Bundschuh, J., y Alvarado, G. E. (eds.). (2007). *Central America: geology, resources and hazards*. Taylor & Francis.

Carpenter, W. B., Parker, W. K., y Jones, T. R. (1862). *Introduction to the study of the Foraminifera.* Ray Society by R. Hardwicke.

Castillo, R. (1967). Aspectos de geología económica de las hojas Abra y Río Grande. *Informes Técnicos y Nota s Geológicas*, *Ministerio de Industria y Comercio*, 6(8), 1-14.

Castillo, R. (1969). Geología de los mapas básicos Abra y partes de Río Grande, Costa Rica. *Informes Técnicos y Notas Geológicas*, *Dirección de Geología, Minas y Petróleo*, 33, 1-40.

Cifelli, R. (1982). Early occurrences and some phylogenetic implications of spiny, honeycomb textured planktonic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 12(2), 105-115.

Cushman, J. A. (1927). New and interesting foraminifera from Mexico and Texas. *Contributions from the Cushman Laboratory for Foraminiferal Research*, 3, 111-119.

Delage, Y., y Hérouard, E. (1896). *Traité de zoologie concrète. La cellule et les protozoaires*. Schleicher, Frères.

Dengo, G. (1953). *A preliminary survey of the geology of Puntarenas province, Costa Rica.* Ministerio de Agricultura e Industrias. Informe Interno CPCR-19.

Dengo, G. (1962). *Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica.* Instituto Geográfico Nacional.

Denyer, P., y Arias, O. (1990). *Geología de la hoja Abra.* (Escala 1:50 000). Instituto Geográfico Nacional.

Denyer, P., y Arias, O. (1991). Estratigrafía de la Región Central de Costa Rica. *Revista Geológica de América Central*, 12, 1-59.

Dóndoli, B. C., y Torres, C. (1954). *Estudio geo-agronómico de la región oriental de la Meseta Central.* Ministerio de Agricultura e Industria. Informe interno.

Dóndoli, C., y Chaves C., R. (1968). *Mapa adjunto al estudio geológico del Valle Central.* (Escala 1:50 000). Instituto Geográfico Nacional.

d'Orbigny, A. (1826). Tableau methodique de la Classe de Cephalopodes. *Annals des Sciences Naturelles*, 7, 245-314.

d'Orbigny, A. (1839). Voyage dans l'Amérique Meridionale. *Foraminiferes*, 5, 1-27.

Fischer, R., y Aguilar, T. (1995) La asociación bentónica del Bivalvo Miocénico Nuculana fundationis: índice de condiciones disaeróbicas en sedimentos clásticos finos. *Revista Geológica de América Central*, 18, 65-76.

Hampton, M., Lee, H., y Locat, J. (1997). Submarine landslides. *Reviews of Geophysics*, 34, 33-59.

Henningsen, D. (1966). Die pazifische Küstenkodillere (Cordillera Costeña) Costa Ricas und ihre Stellung innerhalb des südzentralamerikanischen Gebirges. *Geotektonische Forschungen*, 23, 3-66.

Hofker, J. (1976). La famille Turborotalitidae. *Revue de Micropaléontologie*, 19, 47-53.

Jedlitschka, H. (1934). Über Candorbulina, eine neue Foraminiferen-Gattung und zwei neue Candeina Arten. *Verhandlungen des Naturforschenden Vereins in Brünn*, 65, 17-26.

Jenkins, D. G. (1965). A re-examination of Globorotalia collactea Finlay, 1939. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 8, 843-848.

Kennett, J. P., y Srinivasan, M. S. (1983). *Neogene Planktonic Foraminifera.* Hutchinson Ross.

Krushensky, R. D., Malavassi, E., y Castillo, R. (1976). Geology of Central Costa Rica and its implications in the geolgic history of the region. *Journal Research United States Geological Survey*, 4(2), 127-134.

Leckie, R. M., Wade, B. S., Pearson, P. N., Fraass, A. J., King, D. J., Olsson, R. K., Premoli Silva, I., Berggren, W. A., y Spezzaferri, S. (2018). Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene and Lower Miocene Paragloborotalia and Parasubbotina. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, 46, 125-178.

Olsson, R. K., Hemleben, C., Coxall, H. K., y Wade, B. S. (2018). Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene Ciperoella. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, 46, 215-230.

Pawlowski, J., Holzmann, M., y Tyszka, J. (2013). New supraordinal classification of Foraminifera: molecules meet morphology. *Marine Micropaleontology*, 100, 1-10.

Romanes, J. (1912). Geology of a Part of Costa Rica. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 68, 103-139. https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1912.068.01-04.09

Salvador, A. (1994). *International Stratigrahpic Guide.* The International Union of Geological Sciences.

Schuchert, C. (1935). *Historical geology of the Antillean-Caribbean Region.* Wiley & Sons.

Spezzaferri, S., Coxall, H. K., Olsson, R. K., y Hemleben, C. (2018). Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene Globigerina, Globigerinella, and Quiltyella n. gen. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, 46, 179-214.

Spezzaferri, S., Olsson, R. K., Hemleben, C., Wade, B. S., y Coxall, H. K. (2018). Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene and Lower Miocene Globoturborotalita. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, 46, 231-268.

Sprechmann, P., Ed. (1984). *Manual de Geología de Costa Rica.* Editorial Universidad de Costa Rica.

Stainforth, R. M., Lamb, J. L., Luterbacher, H., Beard, J. H., y Jeffords, R. M. (1975). Cenozoic Planktonic Foraminiferal Zonation and Characteristics of Index Forms. *The University of Kansas Paleontological Contributions*, 62, 1-425.

Trabucho-Alexandre, J., Hay, W. W., y Boer, P. L. d. (2012). Phanerozoic environments of black shale deposition and the Wilson Cycle. *Solid Earth*, 3, 29-42. https://doi.org/10.5194/se-3-29-2012, 2012.

Taylor, G. (1975). *The geology of the Limon area of Costa Rica.* (Tesis de doctorado inédita). The Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Louisiana, Estados Unidos.

Wade, S., Pearson, P., Berggren, W., y Pälike, H. (2011). Review and revision of Cenozoic tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and calibration to the geomagnetic and astronomical time scale. *Earth Science Reviews*, 104, 111-142. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.09.003

Woodring, W. P. (1973). Geology and paleontology of Canal Zone and adjoining parts of Panamá description of tertiary mollusks (additions to gastropods, scaphopods, pelecypods: nuculidae to malleidae). *USGS Geological Survey. Professional Paper*, 306-E.

Woodring, W. P. (1982). Geology and Paleontology of the Canal Zone and adjoining parts of Panama. *U. S. Geological Survey Professional Paper*, 306-F: 541-759, plates 583-124.

Woodring, W. P., y Malavassi, E. (1961). Miocene forarninifera, molluscs and a bamacle from the Valle Central, Costa Rica. *Journal of Paleontology*, 35(3), 489-497.