

Geología de la Isla San Pedro Nolasco, Guaymas, Sonora, México.

JESÚS ROBERTO VIDAL SOLANO¹, LUIS ALONSO VELDERRAIN ROJAS², DAVID ABSALÓN LUCERO ACOSTA³.

RESUMEN

La Isla San Pedro Nolasco (ISPN) corresponde a un bloque rocoso exhumado y delimitado por dos fallas dextrales, que se localizan en el margen oriental del límite de placas Pacífico-Norte América en el Golfo de California (GC). La ISPN está compuesta solo por rocas intrusivas del Mioceno tardío, que se caracterizan por ocurrir como un cuerpo granitoide-dioritoide, intrusionado por un enjambre de inyecciones hipovolcánicas, que varían en su composición de félsica a intermedia. En este trabajo se utilizaron imágenes satelitales, un Sistema de Información Geográfica y un trabajo de campo para la elaboración del primer mapa geológico semidetallado de la ISPN. La cartografía geológica permitió definir la distribución de las unidades litológicas que la componen, así como identificar las principales estructuras geológicas que la afectan. Finalmente, el presente trabajo pone en realce su historia geológica, como un cuerpo rocoso único en su tipo a lo largo del GC.

Palabras clave: Isla San Pedro Nolasco, Cartografía geológica, Rocas Intrusivas, Golfo de California, Mioceno tardío.

¹Dr. en Geociencias del Ambiente, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, roberto.vidal@unison.mx, <https://orcid.org/0000-0001-5927-4215>

²Dr. en Ciencias de la Tierra, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, luis.velderrain@unison.mx, <https://orcid.org/0000-0002-9635-4027>.

³Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, a215203276@unison.mx

Autor de Correspondencia: Dr. Luis Alonso Velderrain Rojas, luis.velderrain@unison.mx

Recibido: 15 / 03 / 2023

Aceptado: 15 / 04 / 2024

Publicado: 17 / 05 / 2024

Cómo citar este artículo:

Vidal Solano, J. R., Velderrain Rojas, L. A., & Lucero Acosta, D. A. (2024). Geología de la Isla San Pedro Nolasco, Guaymas, Sonora, México. *EPISTEMUS*, 18(36), e3605307. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i36.307>

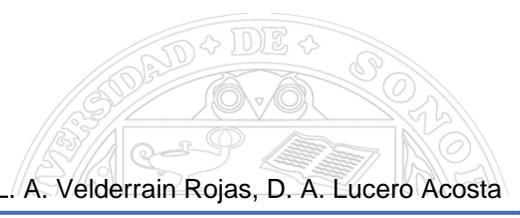
Geology of Isla San Pedro Nolasco, Guaymas, Sonora, Mexico.

ABSTRACT

Isla San Pedro Nolasco (ISPN) is an exhumed rock block located on the eastern margin of the Pacific-North American plate boundary in the Gulf of California (GC), delimited by two dextral faults. The ISPN is composed of only late Miocene intrusive rocks, characterized by occurrence of a granitoid-dioritoid crystalline rock, intruded by a swarm of intermediate to felsic hypovolcanic injections. In this work, satellite images, a geographic information system, and fieldwork were used for the elaboration of the ISPN first semi detailed Geological map. The geological cartography allowed to define the distribution of the lithological units from ISPN, as well as to identify the main geological structures that affect. Finally, the present work highlights the geological history of the ISPN, as a unique intrusive body of its kind along the GC.

Key words: Isla San Pedro Nolasco, Cartography, Intrusive Rocks, Gulf of California, Late Miocene.





INTRODUCCIÓN

En el Golfo de California (GC) se presentan numerosas islas con evidencias geológicas que ayudan a entender la evolución del GC y el desarrollo del límite de placas oblicuo Pacífico-Norte América (PAC-NAM). Una recopilación de la información geológica de las islas distribuidas en el GC se realiza en [1], dividiendo a estos cuerpos rocosos que se exponen sobre el nivel del mar según su litología y edad como: a) islas de origen continental caracterizadas por un basamento granítico del Mesozoico, algunas con una cobertura de rocas volcánicas del Mioceno [2], [3], [4], [5] y; b) islas de origen volcánico, con edades del Plioceno-Pleistoceno y sincrónicas al GC [6], [7], [8].

En este contexto, la Isla San Pedro Nolasco (ISPN), un pequeño bloque rocoso con una orientación casi NW-SE que se expone sobre el nivel del mar, se encuentra ubicada en el Golfo de California (GC) a 25 km al oeste de la localidad de San Carlos, Nuevo Guaymas, Sonora, México (Figura 1A). La ISPN tiene una altura de 250 metros sobre el nivel del mar, con una longitud de 4.33 km en su eje más largo y de hasta 1 km en su eje más corto (Figura 1B). Sin embargo, el bloque cortical sumergido de la ISPN es de al menos 40 km de largo y de 5 a 10 km de ancho [1]. El bloque cortical donde se encuentra la ISPN corresponde a un bloque rocoso exhumado en el margen oriental del límite de placas PAC-NAM en el GC y es delimitado por dos fallas laterales dextrales; la falla San Pedro Nolasco Oeste y la falla San Pedro Nolasco Este [9], que se localizan tanto al oeste como al este del bloque rocoso estudiado (Figura 1A).

Geomorfológicamente, la ISPN es de aspecto escarpado y solo cuenta con una pequeña playa, llamada "La Güina" y un sitio poco más accesible para su acceso llamado "El Farito". Por otra



parte, la ISPN es un área protegida declarada patrimonio de la humanidad en 2005 por la UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*).

Estudios previos reportaban que la ISPN está compuesta totalmente por rocas intrusivas [1], [10], [11] a diferencia de otras islas en el GC que presentan rocas volcánicas y sedimentarias [2], [3], [5], [6], [7], [8]. Otros trabajos establecen las características petrográficas, geoquímicas y las propiedades magnéticas de las rocas intrusivas que conforman la ISPN [1], [12], [1]. De acuerdo con las características petrológicas de las rocas de la ISPN, estas son de afinidad calco-alcalina y transicional, mientras que, mineralógicamente, destaca la presencia anfíbol y biotita. Estas rocas corresponden a manifestaciones intrusivas comagmáticas de un volcanismo de rift en la microplaca Baja California, lo cual puede ser explicado si la fuente de los magmas corresponde a un manto astenosférico metasomatizado que no perdió completamente su enriquecimiento [1]. Un mapeo geológico de la costa de Sonora cartografía a la ISPN como un granito-granodiorita de edad cretácica, relacionado a aquellos expuestos en la costa de Sonora [13]. Sin embargo, en [1], se reporta que las edades de las rocas de la ISPN se ubican entre 9 y 10 Ma.

En [14] se realizó un estudio de sísmica de reflexión, el cual muestra que la isla es un horst del graben o semigraben que conforma la Cuenca Yaqui y sugiere que la ISPN es un bloque levantado del basamento (Figura 1). Un estudio paleomagnético propone que el bloque de corteza que conforma a la ISPN se encontraba a 100 km aproximadamente al SW de su posición actual [12]. En estos trabajos previos, destaca la ausencia de un mapa geológico que muestre la clara distribución de las unidades intrusivas, así como de las principales estructuras geológicas que afectan al bloque rocoso. Aquí, se presenta la primera carta geológica semidetallada (escala 1:15



000; Figura 5), realizada a partir de un trabajo de campo, imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica, que permite entender la historia geológica de la ISPN.

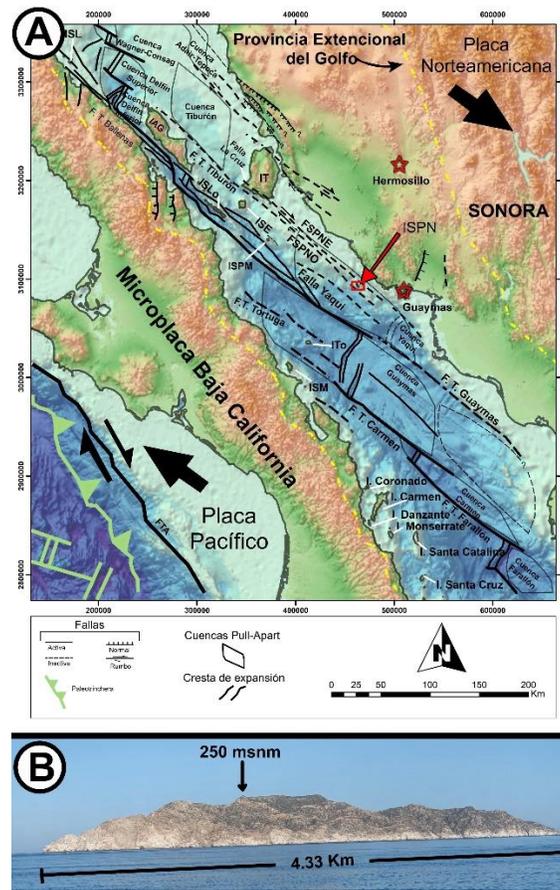


Figura 1. (A) Mapa regional del NW de México que muestra la localización del área de estudio, la distribución de las principales islas en el Golfo de California y las principales fallas y estructuras asociadas al límite de placas PAC-NAM del centro del Golfo de California, modificado de [1]. La línea verde representa la paleotrinchera y el antiguo límite de placas convergentes (Farallón-Norteamérica). Abreviaciones: FTA, Falla Tosco-Abreojos; ISL, Isla San Luis; IAG, Isla San Ángel de la Guarda; IT, Isla Tiburón; ISLo, Isla San Lorenzo; ISE, Isla San Esteban; ISPM, Isla San Pedro Mártir; ITo, Isla Tortuga; ISM, Isla San Marcos; F.T., falla transformante; FSPNE, Falla San Pedro Nolasco Este; FSPNO,

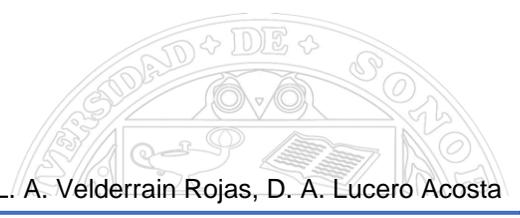
Falla San Pedro Nolasco Oeste; (B) Fotografía panorámica representativa del bloque rocoso exhumado de la ISPN. Vista hacia el E.

GEOLOGÍA REGIONAL DE LA COSTA DE SONORA

Las rocas más antiguas en la costa de Sonora están representadas por rocas intrusivas que varían en composición de granito a granodiorita, asociadas al basamento laramídico y con edades entre 81 y 82 Ma [15]. Sobreyaciendo de manera discordante a las rocas intrusivas cretácicas, se encuentra un conjunto de lavas de composiciones máficas a intermedias de edad Oligoceno-Mioceno, relacionadas a un arco volcánico continental, expuestas en la base de las principales sierras de la costa de Sonora. Tanto las rocas intrusivas cretácicas como el volcanismo máfico-intermedio ocurrieron durante la subducción de la Placa Farallón debajo de la Placa Norteamericana >~ 12.5 Ma [15], [16], [17].

Siguiendo el cese de la subducción (ca. 12.5 Ma) y durante la etapa de ruptura del Golfo de California (proto-Golfo), se dio un extenso magmatismo compuesto por lavas, cuerpos hipabisales y rocas piroclásticas de composiciones que varían desde máficas hasta félsicas y de características mineralógicas anhidras [17], [18]. Las unidades rocosas de composiciones intermedias a félsicas son nombradas Grupo Guaymas [18]. Dentro de estas unidades rocosas destaca la presencia de un magmatismo hiperalcalino de amplia extensión en el NW de México, considerado un excelente marcador estratigráfico [19]. Además, dentro del Grupo Guaymas, se identificó un cuerpo hipabisal de composición félsica con edades entre 12 y 11 Ma, que representa una importante etapa de deformación en la costa de Sonora [20]. Finalmente, la unidad rocosa más joven es representada por lavas basálticas que forman mesetas subhorizontales que cubren al volcanismo intermedio a félsico [15], [17].





CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA ISLA SAN PEDRO NOLASCO

Se realizó la cartografía de la ISPN a una escala de 1:15000 (Figura 5), a partir de un trabajo de campo, fotografías e imágenes satelitales (e.g., *Yandex*, *Mapbox*, *Mazar*, *Google* y *Bing* del software *SAS Planet v.200606*). La base topográfica se diseñó utilizando un modelo digital de elevación (DEM) con resolución de 12.5 metros obtenido del satélite *ALOS PALSAR* (<https://search.asf.alaska.edu/>). Para la confección del mapa cartográfico se utilizó el software ArcMap 10.3 de ArcGIS.

La ISPN está compuesta totalmente por rocas intrusivas que presentan variaciones en sus composiciones, texturas, mineralogía y niveles de emplazamiento (Figuras 2, 3 y 4). Estructuralmente, la ISPN se encuentra afectada por una deformación con fallas normales y de rumbo bajo distintas orientaciones. El trabajo de campo permitió definir las unidades litológicas según sus características de campo, las cuales fueron plasmadas en el mapa cartográfico y definidas a continuación (Figura 5).

Unidad Encajonante

La roca intrusiva encajonante en la ISPN varía en composición de intermedia a félsica. La roca intrusiva de composición intermedia se clasifica como un dioritoide con variaciones en su tamaño de grano de fino a medio (Figura 5), de textura fanerítica holocristalina, porfídica con fenocristales de plagioclasa y ferromagnesianos de anfíbol y piroxeno de hasta ~5 mm. Los fenocristales se encuentran en una matriz microcristalina (granos < 1 mm) compuesta de feldespatos y piroxenos. Presenta un tamaño de grano fino a medio. La variedad intermedia es más evidente en las zonas inferiores de la isla. En ocasiones, esa composición ocurre como autolitos de hasta 1 metro de



diámetro (Figura 2). Hacia la cima de la ISPN, la zona diorítica ocurre en capas de hasta 10 metros de espesor.

La roca encajonante que es de composición félsica tiene más extensión como roca encajonante (Figura 5). De acuerdo con sus características litológicas, se caracteriza como un granitoide (Figura 5) con una mineralogía dominada por fenocristales de feldespato alcalino y anfíbol de hasta ~5 mm, cuarzo y biotita. Se presenta bajo un aspecto masivo que varía en tamaño de grano fino a medio. En esta unidad es común encontrar una estructura moteada compuesta por pequeños parches centimétricos de color verde, que desarrollan una cristalización de epidota y clorita. Estructuralmente, la roca encajonante ocurre en forma de hojas (*tabular sheet-like body*) y presenta contactos planares subparalelos entre los niveles intermedios, con un rumbo preferencial NE-SW (27.1°az) con echados de 20° a 52° hacia el SE. La unidad encajonante es afectada por un fallamiento de tipo normal y lateral oblicuo, que genera crestas que sobresalen del relieve.



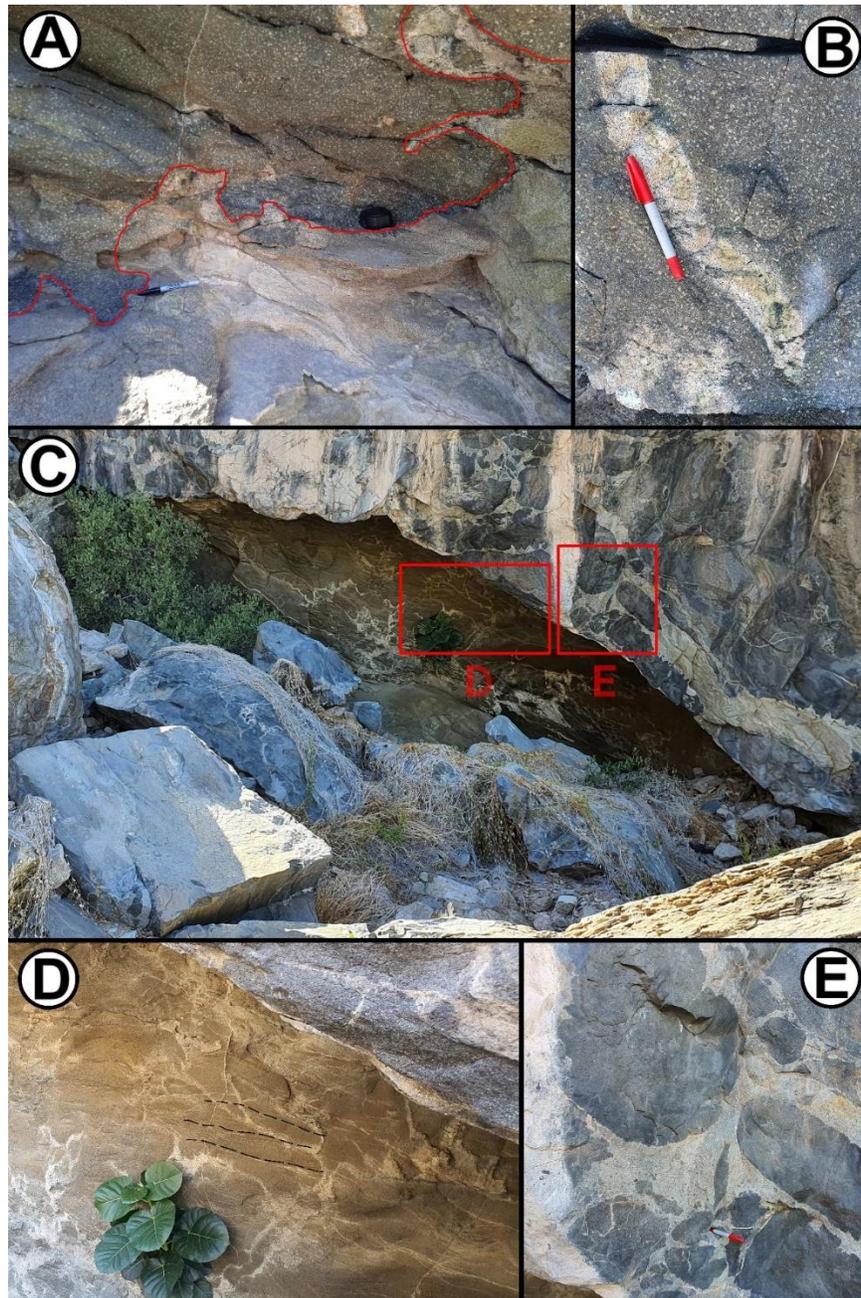


Figura 2. (A) Contacto entre el dioritoide (arriba) y el granitoide (abajo). (B) Las capas o las hojas del dioritoide presentan inclusiones inmiscibles de composiciones félsicas. (C) Zona de autolitos de dioritoide con una estructura brechoide. Los cuadros D y E representan acercamientos, tanto de la foliación magmática como de los enclaves intermedios, respectivamente.

Diques félsicos

En la isla ocurren un gran número de inyecciones hipovolcánicas de composiciones félsicas, que cortan de manera discordante a la roca encajonante (Figura 3). Estos diques presentan una textura porfídica con una mineralogía dominada por feldespato alcalino > cuarzo > plagioclasa, con ferromagnesianos como biotita y hornblenda en menor proporción, con tamaños de grano de fino a medio. En ocasiones presentan una alteración a clorita y epidota. Esta unidad también ocurre como pequeñas inyecciones aplíticas. Los espesores son desde centimétricos hasta de 10 a 15 metros, los cuales son los diques cartografiados (Figura 5). Los diques félsicos presentan una dirección preferencial NW-SE, con inclinaciones entre 35-75° hacia el SW (Figura 5).



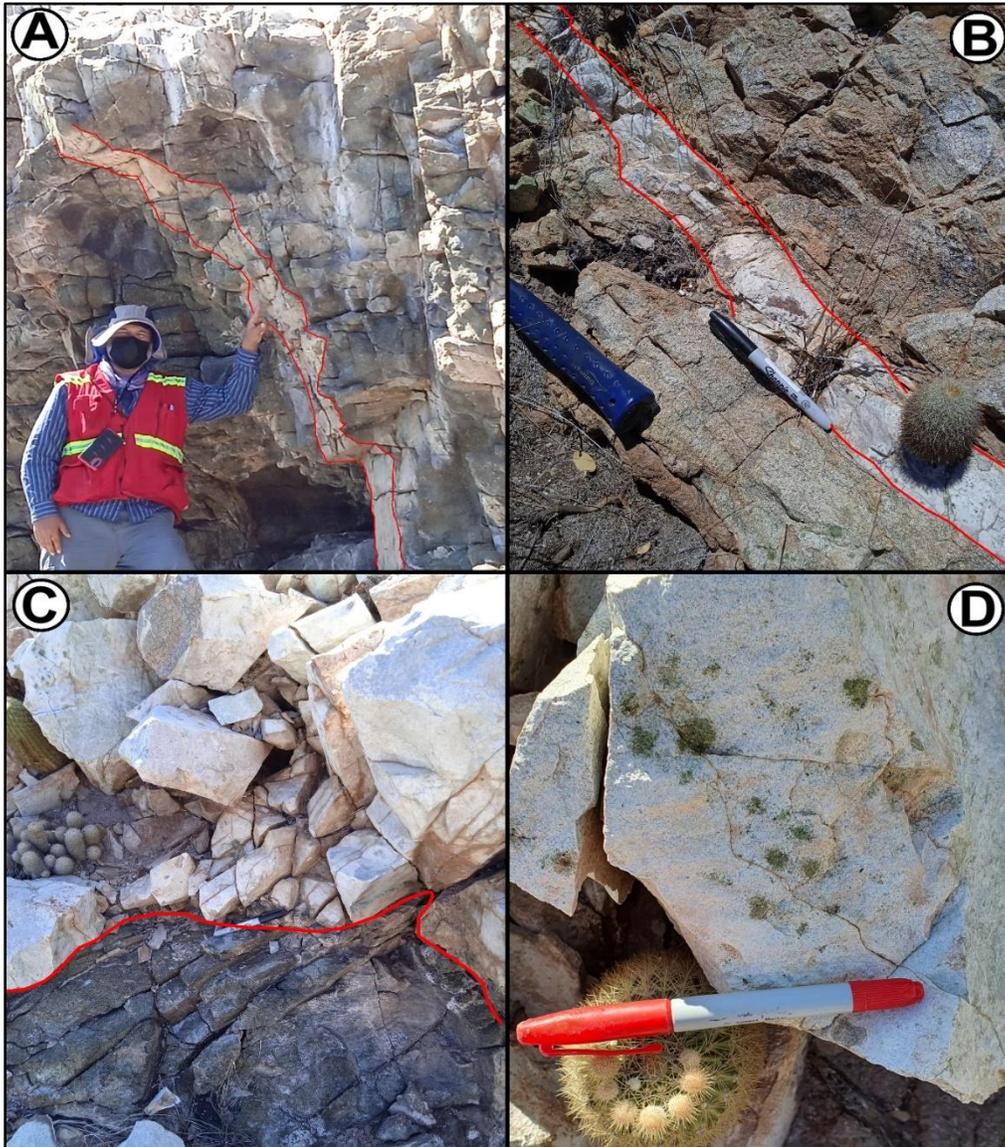


Figura 3. (A) Dique aplítico de 30 cm de espesor, inyectado en el dioritoide, estos son posibles alimentadores de los diques félsicos presentes en la isla; (B) Dique aplítico de 10 cm de espesor cortando al granitoide. (C) Dique félsico de grano medio con un espesor aparente de 4 metros que corta al dioritoide. (D) Acercamiento en el dique donde se aprecian los parches de epidota.

Diques intermedios

Los diques de composición intermedia se presentan en tonalidades verdosas-marrones en su superficie de intemperismo y de tonalidad verde en roca fresca. En su mayoría van desde los 15 a 20 centímetros hasta poco más de 1 metro de espesor (Figura 4), lo cual no permite que sean cartografiables a escala 1:15000. Tienen una textura porfídica y el tamaño de grano de los diques va de fino a medio con una mineralogía dominada por fenocristales de plagioclasa y anfíbol en una matriz de piroxeno y biotita. Tienen actitudes de 140° a 290° az en rumbo y echados de 35° a 75° hacia el SW, NW y NE.



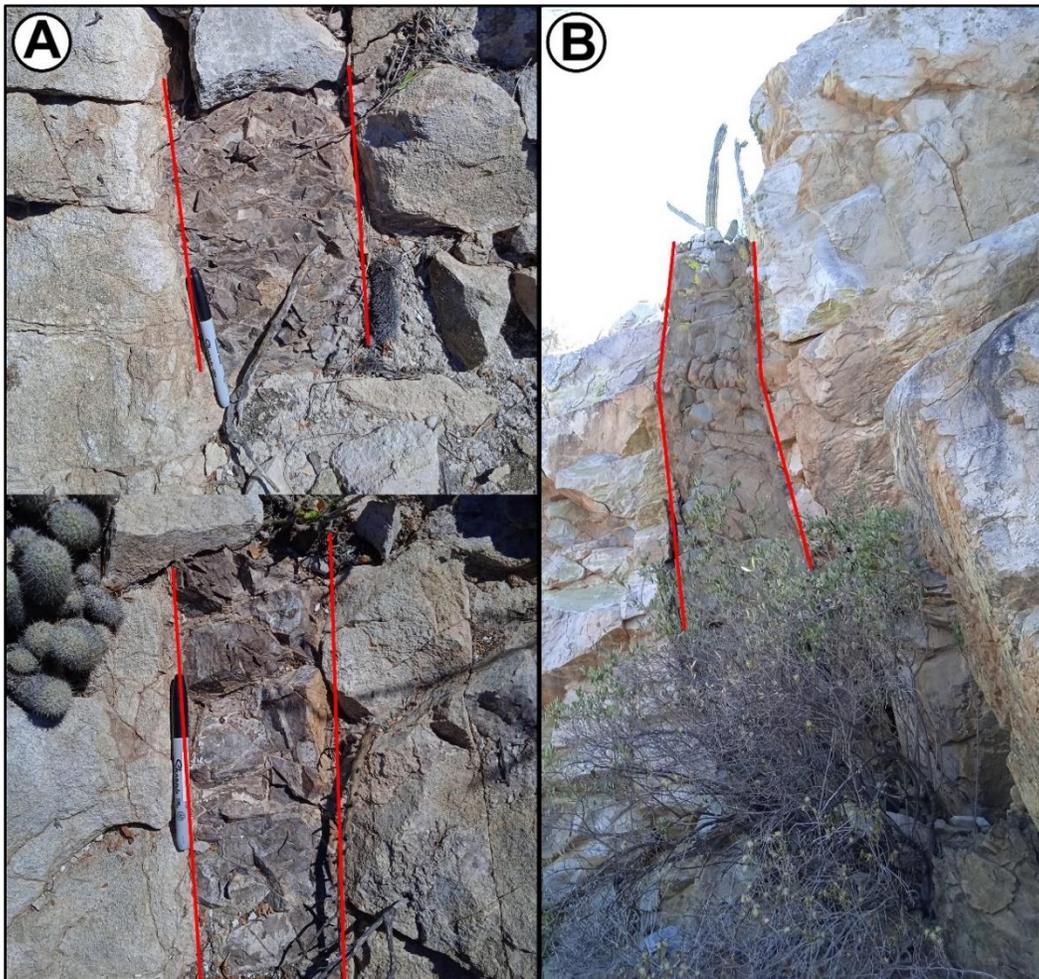


Figura 4. Fotografías representativas de los diques intermedios de la ISPN. (A) Ejemplares centimétricos en dioritoide. (B) cuerpo de 1m de espesor en granitoide.

Paleosuelo

Al este de la ISPN, una porción del encajonante se encuentra cubierta en discordancia por una unidad poco consolidada con espesores centimétricos variados, compuesto principalmente por detritos del granitoide, cuya dimensión de fragmentos varía del tamaño de gravas gruesas a muy gruesas, generando un relieve menos escarpado y más suavizado en comparación con el resto

de la isla (Figura 5). El material erosionado añade una tonalidad marrón-rojiza a la superficie de intemperismo.

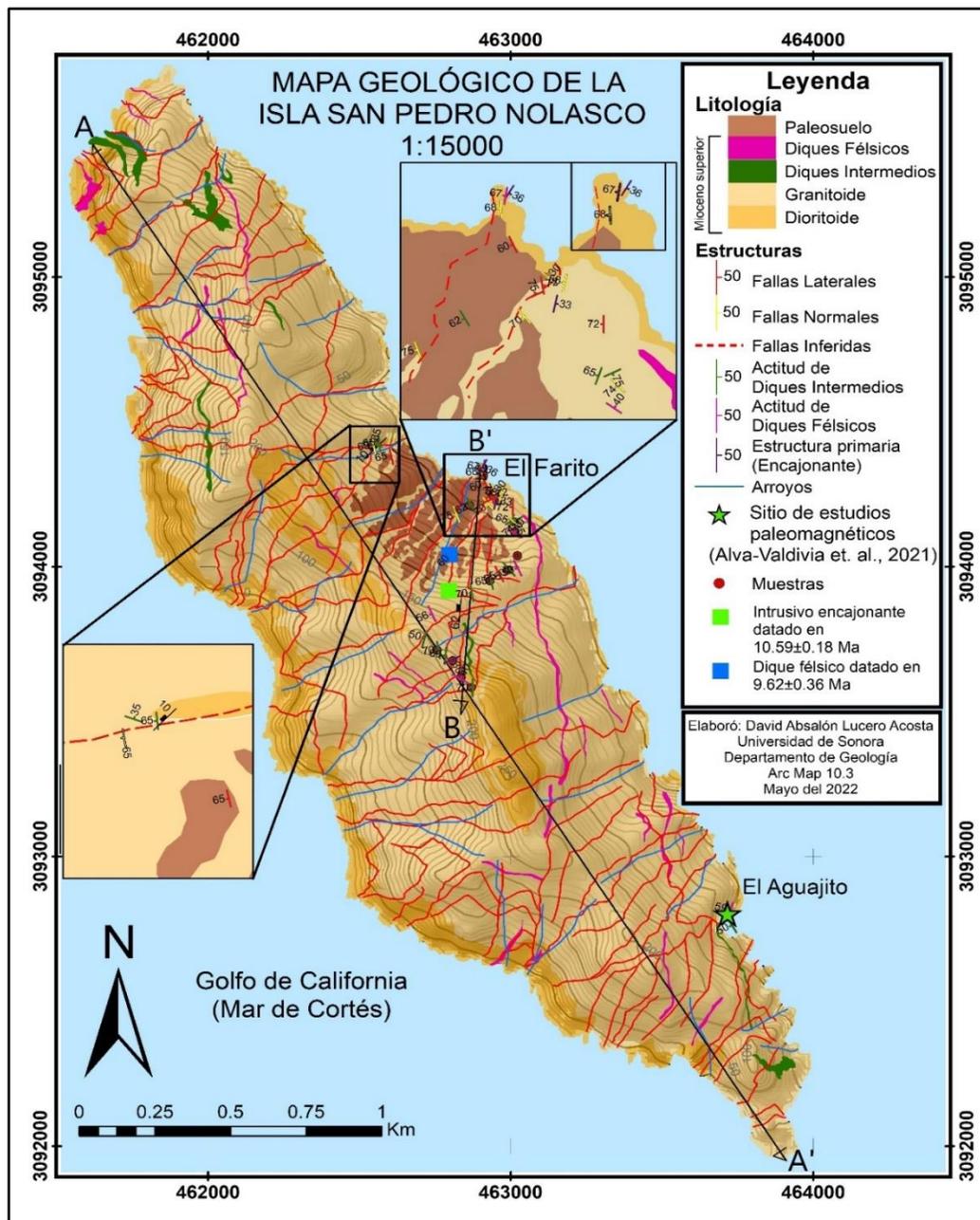
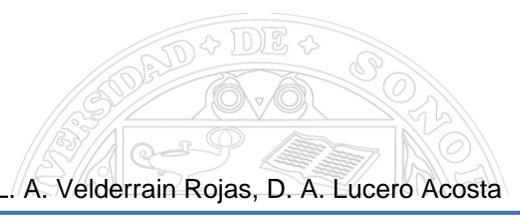


Figura 5. Mapa geológico de la isla San Pedro Nolasco, escala 1:15000.





ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS EN LA ISPN

En la ISPN los cuerpos intrusivos en forma de hojas o capas casi horizontales han sido deformados por la presencia de fallas de tipo normal y fallas de rumbo, algunas con un comportamiento ligeramente oblicuo. Este fallamiento genera, en la geomorfología de la isla, grandes escarpes que son más importantes en el borde occidental del macizo rocoso. Las fallas tienen actitudes muy variables con rumbos de 2° a 336° y echados desde 15° hasta 87° . Sin embargo, entre las fallas normales y laterales, destacan aquellas con una dirección preferencial NE-SW.

CONCLUSIONES

La cartografía de los primeros trabajos geológicos en la ISPN [15], mostraba un bloque rocoso constituido en su totalidad por un granito-granodiorita de edad cretácica, como las rocas del basamento presente en la zona costera de Sonora. Sin embargo, el reconocimiento de campo y las edades determinadas en las unidades rocosas que componen a la ISPN [1] permitieron determinar que la isla está compuesta por un intrusivo de grandes dimensiones, el cual presenta variaciones en su composición de la base a la cima.

El presente estudio que incluyó trabajo de campo, imágenes satelitales y un SIG, permitió definir las variaciones de la distribución espacial en las rocas de la ISPN bajo un primer mapa cartográfico geológico a semidetalle (Figura 5). Los resultados en este trabajo esclarecen la distribución de las composiciones (félsica-intermedia) de la unidad encajonante por sus características mineralógicas, donde la variedad intermedia que ocurre en la base del cuerpo rocoso, es definida como un dioritoide (con plagioclasas, anfíboles y piroxenos), mientras que la variedad félsica, que es determinada como un granitoide (con feldespato alcalino, cuarzo, anfíbol y biotita), es la de

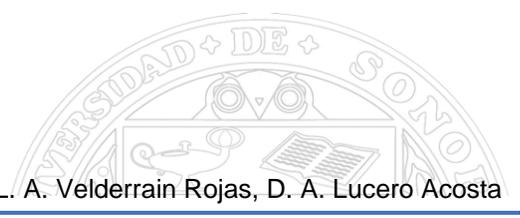


mayor exposición y de amplia manifestación hacia la cima de la isla. En esta unidad encajonante destaca la presencia de inclusiones máficas-intermedias o enclaves, que se muestran en la parte basal de la isla. Estas observaciones permiten proponer que la ISPN puede corresponder a un cuerpo intrusivo estratificado más grande, en donde es posible que el basamento cretácico se encuentre en niveles más profundos de la ISPN. La presencia de diques intermedios y félsicos en rocas intrusivas ya había sido puesta en evidencia en la Costa de Sonora, al norte de Guaymas [11], donde cortan al basamento cretácico. Sin embargo, una gran diferencia entre los aquí estudiados y los de la Costa de Sonora, radica en la presencia de una asociación mineralógica diferente, con ferromagnesianos hidratados (e.g. Anfíbol y Biotita) para las inyecciones de la isla. El análisis estructural de los datos obtenidos en las orientaciones de las inyecciones hipovolcánicas, así como de las orientaciones de fallas identificadas en la ISPN, muestra una concordancia entre todos los rumbos. Estas similitudes permiten proponer que los magmas aprovecharon los planos de debilidad de las fallas y fracturas para su emplazamiento, por lo que se les considera syn-tectónicos. De acuerdo con las edades y las relaciones de corte, el fallamiento y emplazamiento de los diques ocurrió en una etapa <10 Ma.

A partir de las fallas (normales y laterales) observadas en las unidades rocosas, se propone que la deformación en el bloque de la ISPN fue particionada, lo cual es característico de sistemas transtensionales [12], un proceso donde destaca la combinación simultánea de un desplazamiento de rumbo a lo largo de una estructura y una extensión perpendicular a esta [12].

Las unidades reconocidas y mapeadas, y el conocimiento de otras islas del Golfo de California, permite evidenciar que las rocas intrusivas del Mioceno tardío son únicas y solo expuestas en la





ISPN. De acuerdo con las edades reportadas por [11], el emplazamiento de estas unidades tuvo lugar en las primeras etapas del *rifting* continental del proto-Golfo de California.

Reconocimientos

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación titulado: Cartografía, geología estructural y petrología de la Isla San Pedro Nolasco: “Un joven micro-continente en el Golfo de California”, a cargo del Dr. Jesús Roberto Vidal Solano y apoyado por la División de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Sonora. Los autores agradecen a Jorge Chang del taller de corte y laminado de la UNISON por su apoyo en el procesado de las muestras de roca para estudios analíticos, así como a Jesús Ventura Trejo de las Áreas de Protección de Flora y Fauna de las Islas del Golfo de California en la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). Finalmente, a Don Abel Anaya por su gran apoyo en el transporte a la ISPN y su hospedaje en San Carlos.

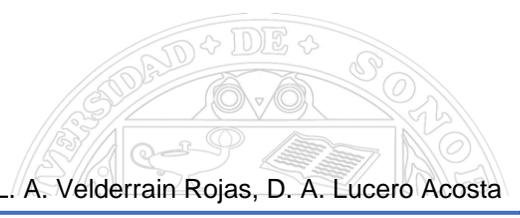
Referencias

- [1] L. A. Velderrain Rojas, J. R. Vidal Solano, L. M. Alva Valdivia, R. Vega Granillo & M. López Martínez, “Isla San Pedro Nolasco as a Late Miocene intrusive record at the eastern margin of the Gulf of California: Insights from geological, geochemical and geochronological studies”. *Geoscience Frontiers*, vol. 13(3), [101351]. January 2022, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101351>
- [2] C. A. Anderson, “Geology of islands and neighboring land areas, in 1940 E. W. Scripps cruise to the Gulf of California”. *Geol. Soc. America Mem.*, vol. 43 Pt. 1, 56 p. August 1950.



- [3] M. Oskin & J. Stock, "Pacific–North America plate motion and opening of the Upper Delfín basin, northern Gulf of California, Mexico", *GSA Bulletin*, vol. 115, pp. 1173–1190, November 2003. DOI: <http://doi.org/10.1130/B25154.1>.
- [4] S. E. K. Bennett, M. E. Oskin, A. Iriondo & M. J. Kunk, "Slip history of the La Cruz fault: Development of a late Miocene transform in response to increased rift obliquity in the northern Gulf of California". *Tectonophysics*, vol. 693, pp. 409-435. December 2016. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.05.030>.
- [5] S. E. K. Bennett, M. E. Oskin & A. Iriondo, "Latest Miocene transtensional rifting of northeast Isla Tiburón, eastern margin of the Gulf of California". *Tectonophysics*, vol. 719, pp. 86-106. May 2017, DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.05.030>.
- [6] R. Batiza, "Geology, petrology, and geochemistry of Isla Tortuga, a recently formed tholeiitic island in the Gulf of California", *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 89, pp. 1309-1324, September 1978. DOI: [http://doi.org/10.1130/0016-7606\(1978\)89<1309:GPAGOI>2.0.CO;2](http://doi.org/10.1130/0016-7606(1978)89<1309:GPAGOI>2.0.CO;2)
- [7] D. L. Desonie, "Geologic and geochemical reconnaissance of Isla San Esteban: post-subduction orogenic volcanism in the Gulf of California". In: D.J. Geist and C.M. White (Editors), *Special Issue in Honour of Alexander McBirney: J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 52, pp. 123-140, January 1992. DOI: [http://doi.org/10.1016/0377-0273\(92\)90136-2](http://doi.org/10.1016/0377-0273(92)90136-2)
- [8] F. A. Paz Moreno & A. Demant, "The Recent Isla San Luis volcanic center: petrology of a rift-related volcanic suite in the northern Gulf of California, Mexico", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 93, pp. 31-52, July 1999, DOI: [http://doi.org/10.1016/S0377-0273\(99\)00083-9](http://doi.org/10.1016/S0377-0273(99)00083-9).
- [9] M. Aragón Arreola, M. Morandi, M. Martín Barajas, L. Delgado Argote & A. Gonzales, "Structure of the rift basins in the central Gulf of California: Kinematic implications for oblique rifting", *Tectonophysics*, vol. 409, pp. 19-38, October 2005. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.08.002>





- [10] L. A. Velderrain Rojas, “Evolución tectono-magmática en la región de Guaymas, Sonora, México: relación geodinámica con el Proto-Golfo de California”, Departamento de Geología, Maestría en Ciencias Geología, 148 p. Junio 2016.
- [11] J.R. Vidal-Solano. “Complejo Intrusivo de la Isla San Pedro Nolasco, Golfo de California, Sonora, México”, Revista de Geociencias MAYA, vol. 21, pp. 45-46, octubre 2022 <https://revistamaya.com/wp-content/uploads/2022/09/Revista-Maya-Geociencias-OCTUBRE-2022-.pdf>
- [12] L. M. Alva Valdivia, J. R. Vidal Solano, L. A. VelderrainRojas & J. A. González-Rangel, “Rock magnetic characterization and paleomagnetic directional analysis of Isla San Pedro Nolasco dikes, Gulf of California, Mexico”, Bulletin of Volcanology, vol. 83(8), p. 52, June 2021. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00445-021-01477-w>.
- [13] J. A. García Cortéz & C. Siqueiros López, “Carta geológico minero Guaymas G12-2, Sonora y Baja California Sur, Escala 1:250,000. Servicio Geológico Mexicano, 2002.
- [14] M. Aragón Arreola, M. Morando, M. Martín Barajas, L. Delgado Argote & A. González Fernández, “Structure of the rift basins in the central Gulf of California: Kinematic implications for oblique rifting”, Tectonophysics, vol. 409, pp. 19-38, November 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.08.002>
- [15] G. Mora-Álvarez & F. W. McDowell, “Miocene volcanism during late subduction and early rifting in the Sierra Santa Ursula of western Sonora, Mexico. Spec. Pap. Geol. Soc. Am. Vol. 334, pp. 123-141, January 2000. DOI: <https://doi.org/10.1130/0-8137-2334-5.123>
- [16] C. B. Till, P. B. Gans, F. J. I. MacMillan & K. D. Blair, “Perils of petrotectonic modeling: A view from southern Sonora, Mexico”. Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 186, pp. 160-168, October 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.06.014>.
- [17] L. A. Velderrain Rojas, “Contribución al estudio de los eventos volcánicos del Mioceno en la Sierra El Aguaje, porción Costera de Sonora, México”, Departamento de Geología, UNISON, Tesis de Licenciatura, 130 p. Octubre 2014.



- [18]L. A. Velderrain Rojas & J. R. Vidal Solano, “Middle-late Miocene rift related magmatism in Guaymas, Sonora, Mexico at the eastern margin of the Gulf of California: Petrogenetic implications associated to the Pacific-North American plate boundary” *Applied Geochemistry*, January 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2022.105508>.
- [19]J. R. Vidal Solano, F. A. Paz Moreno, A. Demant & M. Lopez Martínez “Ignimbritas hiperalcalinas del Mioceno medio en Sonora Central: reevaluación de la estratigrafía y significado del volcanismo Terciario” *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 24., pp. 47-67, April 2007.
- [20]L. A. Velderrain-Rojas, J. R. Vidal Solano, L. M. Alva Valdivia & R. Vega Granillo, “Late miocene silicic subvolcanic plumbing system related to oblique rifting in the Pacific-North American plate boundary, Sonora, Mexico: geodynamic implication in a regional context”, *International Geology Review*, vol. 64:6, pp. 743-769, february 2021. DOI: <http://doi.org/10.1080/00206814.2021.1878396>.
- [21]H. Fossen, “Structural Geology” New York: Cambridge University Press, 2010

Cómo citar este artículo:

Vidal Solano, J. R., Velderrain Rojas, L. A., & Lucero Acosta, D. A. (2024). *Geología de la Isla San Pedro Nolasco, Guaymas, Sonora, México*. *EPISTEMUS*, 18(36), e3605307. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v18i36.307>

