

CONTRIBUCIÓN A LA CARTOGRAFÍA TEMÁTICA DE LA REPÚBLICA DOMINICANA MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

C. Antón-Pacheco, J.C. Gumiel y A. Martín-Serrano

c.pacheco@igme.es

Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23. 20003 Madrid.

RESUMEN: Los mosaicos y ortoimágenes generados a partir de imágenes Landsat 7 ETM+ se han utilizado como documentos de apoyo en la cartografía geológica, geomorfológica y estructural que se realiza en el marco del proyecto de *Cartografía Geotemática de la República Dominicana*. La interpretación de las ortoimágenes se ha incorporado en un SIG, integrándose con la información planimétrica disponible. Como resultado se han confeccionado los mapas correspondientes, a escalas 1/50.000 y 1/100.000.

Palabras Clave: Landsat ETM, cartografía geológica, República Dominicana.

ABSTRACT: Within the project *Geothematic Mapping of the Dominican Republic*, Landsat 7 ETM+ data have been used to generate orthoimages to support geological, geomorphological and structural interpretation.

Keywords: Landsat ETM data, geological mapping, Dominican Republic.

INTRODUCCIÓN

El Proyecto de *Cartografía Geotemática de la República Dominicana* comprende la realización de 33 mapas geológicos, a escala 1:50000, y 11 mapas geomorfológicos y de riesgos, a escala 1:100000, además de mapas de recursos minerales y geoquímicos. Este proyecto está siendo ejecutado por el consorcio IGME-INYPSA-BRGM, con financiación del programa SYSMIN de la Unión Europea mediante licitación, y se enmarca en el Programa Nacional de Cartografía Geológica y Temática de la República Dominicana.

En la realización del proyecto, y de forma previa al comienzo de los trabajos de campo, se incluye el tratamiento de imágenes de satélite con objeto de realizar una interpretación geológica y geomorfológica preliminar que sirva de base a los equipos que van a realizar la cartografía temática.

La disponibilidad de la banda pancromática del sensor ETM+ del satélite Landsat 7 y su potencial utilización combinada con las bandas multispectrales permite obtener imágenes adecuadas tanto para reconocer los grandes rasgos geológicos y estructurales regionales, como para realizar interpretaciones geológicas y geomorfológicas a las escalas detalladas que requiere este proyecto.

MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

La República Dominicana ocupa aproximadamente los dos tercios orientales de la isla La Española. Cuatro alineaciones montañosas principales conforman su relieve: las Cordilleras Septentrional y

Central, y las Sierras de Neiba y de Bahoruco, separadas por tres grandes valles, el Valle del Cibao, el Valle de San Juan y el Valle de Enriquillo.

El área de estudio se sitúa en el sector más occidental de la República Dominicana, entre los paralelos 18° y 20° de latitud norte y los meridianos 71° y 72° de longitud oeste, siendo limitrofe con la frontera de Haití. Comprende un bloque, al noroeste, que ocupa las hojas a escala 1/100.000 de Monte Cristi (5875), Dajabon (5874), Mao (5974), Restauración (5873) y Arroyo Limón (5973), y otro bloque, al suroeste, que cubre las de Jimaní, (5871), Neiba (5971) y la mitad norte de La Salina (5974), así como las hojas correspondientes a escala 1/50.000 (fig. 1).

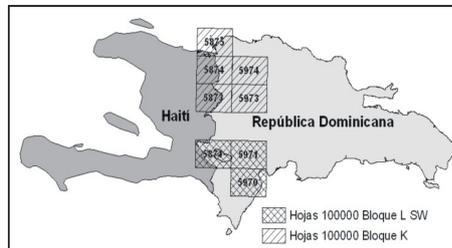


Figura 1. Situación del área de estudio

El bloque noroeste presenta una orografía muy acusada, especialmente en la Cordillera Central, donde llegan a alcanzarse las cotas más

elevadas de la isla. El bloque suroeste comprende las sierras de Neiba y Bahoruco, separadas por el valle de Enriquillo que presenta cotas por debajo del nivel del mar.

Desde el punto de vista geológico, la isla de La Española forma parte del Gran Arco del Caribe y está constituida por materiales volcánicos, volcano-sedimentarios y plutónicos de edad Cretácico-Eoceno inferior que se formaron en el contexto de la evolución de un arco de isla. Durante el Eoceno se produjo la colisión de La Española con la plataforma de las Bahamas, originándose la soldadura de todas las unidades. A partir del Mioceno, y como consecuencia del movimiento relativo de las placas Norteamérica y Caribeña, estas unidades fueron afectadas por un sistema de fallas de dirección E-O. El movimiento de estos accidentes ha ocasionado la reactivación de la isla en diez provincias fisiográficas que corresponden a las alineaciones montañosas y valles principales antes mencionados. Actualmente se acepta que la isla está constituida por provincias geológicas, separadas por fallas, con una identidad tectonoestratigráfica propia que les confiere el carácter de "terrenos" (fig.2) (Mann et al., 1991).

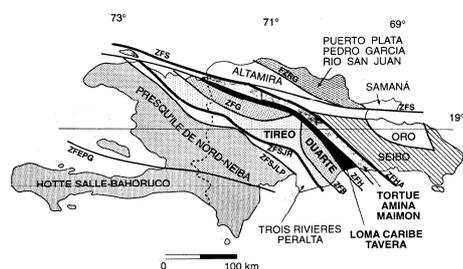


Figura 2. Terrenos tectónicos de La Española según Mann et al. (1991)

El bloque noroeste está conformado por los terrenos correspondientes a la parte Vulcano-Plutónica de arco isla (Formación Tortue-Amina-Maimon y Formación Tiroo), por los materiales máficos del Complejo Duarte que se interpreta como un fragmento de cuenca oceánica, y por los materiales sedimentarios de Trois Rivières-Peralta depositados en una cuenca "back-arc". En los extremos septentrional y meridional se disponen respectivamente los depósitos de las cuencas sedimentarias de Cibao y de San Juan-Azua, formadas durante el régimen de las fallas de desgarre.

El bloque sur comprende la Sierra de Neiba constituida por una sucesión de materiales carbonatados, en cuyo núcleo aflora una potente serie de rocas volcánicas. Al suroeste de la Sierra de Neiba se localiza el valle de Enriquillo formado por

una serie sedimentaria depositada en una cuenca neógena. La sierra de Bahoruco conforma el sector más meridional del área, y se interpreta como un fragmento emergido de la meseta oceánica del Caribe. A partir del Mioceno se produce la subducción del *plateau* oceánico, su emplazamiento sobre el margen meridional del arco isla, y la emersión y deformación de todo el conjunto.

IMÁGENES Y TRATAMIENTO

Se ha utilizado dos imágenes registradas por el sensor ETM+ del satélite Landsat 7. Las bandas espectrales de las imágenes Landsat registradas en el infrarrojo próximo proporcionan una información muy útil en estudios geológicos debido a la respuesta espectral de determinadas litologías en estas bandas.

Debido a las características climáticas de esta zona, solo ha sido posible adquirir dos imágenes sin cobertura nubosa. Se trata de las escenas: 008-047 y 008-046 registradas el 03/01/2000 y el 19/01/2000 respectivamente.

La corrección geométrica de las dos imágenes se ha realizado utilizando los parámetros orbitales del satélite y el modelo digital del terreno (MDT) del Instituto Geográfico Militar (ICM). Mediante el empleo de un modelo polinómico donde la altura se introduce en las correcciones como una variable independiente, se ha obtenido un error medio (RMS) del orden de un pixel (15 m). Del mismo modo se ha procedido para realizar la corrección de las bandas multiespectrales, obteniéndose un error medio inferior a 30 m. Una vez rectificadas, se ha efectuado un ajuste radiométrico para componer un mosaico.

Con objeto de mejorar la resolución espacial de las bandas multiespectrales, se ha efectuado la fusión de los canales 541 (R,V,A), y pancromático (P) mediante la transformación IHS. Previamente se han aplicado filtros de bordes y direccionales a la banda P y a la banda 4 con el fin de acentuar la expresión de los contactos geológicos y los rasgos lineales (fracturas, diques, escarpes). Las tres bandas así obtenidas integran la radiancia de los datos multiespectrales y la resolución espacial de 15 m, y han resultado apropiadas para realizar la interpretación geológica a las escalas requeridas. Estas transformadas presentan una buena expresión de los rasgos morfológicos del terreno y ponen de manifiesto las diferencias entre las distintas litologías y la vegetación. El análisis de componentes principales se ha utilizado asimismo como apoyo en la interpretación para discriminar determinados materiales.

Por último, se ha diseñado un proyecto SIG en el que las ortoimágenes se han ajustado al formato de las hojas correspondientes, a escalas 1/50.0000 y

1/100.000, y se ha integrado la información digital disponible (altimetría, hidrografía, comunicaciones y poblaciones) de los mapas topográficos oficiales, a escala 1:50.000.

La interpretación geológica se ha realizado visualmente sobre las ortoimágenes en dos etapas; en una primera fase se ha llevado a cabo una interpretación a escala 1:100.000, identificándose las principales unidades morfoestructónicas y litológicas, y las grandes líneas de falla. En una segunda fase, se ha realizado una interpretación más detallada, a escala 1/50.000, con objeto de definir las estructuras visibles en la imagen y no reconocidas en la cartografía previa disponible, incorporándose, además, las trazas de capas y los diques. Las interpretaciones resultantes se han incorporado como capas vectoriales en el GIS. A partir de estos datos, se han generado los mapas correspondientes, a escalas 1/50.000 y 1/100.000, en los que sobre la imagen y los datos planimétricos, se ha representado la interpretación geológica. La interpretación geomorfológica se ha realizado a escala 1:100.000. Inicialmente se han definido las grandes unidades morfoestructurales y sus límites, generalmente elementos lineales de carácter estructural. En la segunda parte del estudio se identificaron los distintos elementos individuales contenidos en las citadas unidades. Con la preparación de la Leyenda y la Simbología se ha completado el trabajo.

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA

La interpretación correspondiente al bloque noroeste se ha esquematizado en la figura 3, en la que se han representado las unidades morfoestructónicas principales y las grandes zonas de falla. En el área más septentrional del bloque noroeste, se definen dos bandas de estructuras lineares mayores de dirección NO-SE. La banda más septentrional corresponde a la prolongación de la falla de Río Grande-Camú (ZSRC) y la banda sur corresponde a la falla Septentrional (ZFS). La zona de Falla de la Española (ZFH) aparece compuesta por varios segmentos, cuya traza es muy neta en la imagen. Los esquistos y los basaltos del Complejo Duarte se ponen en contacto por fallas NO-SE, de traza ligeramente oblicua a la dirección de la ZFH. El límite suroeste del Complejo Duarte está definido por la zona de falla de La Guácara (ZFG), que pone en contacto estos materiales con los de la Formación Tireo, que conforma la zona axial de la Cordillera Central. La ZFG es un accidente compuesto por varias líneas de falla que giran de dirección E-O a NO-SE y tiene una expresión muy neta en la imagen. El contacto de Tireo con el Terreno de Trois-Riviera-Peralta se resuelve mediante la Zona de Falla de San Jose-Restauración (ZFSJR), que a su vez se pone en contacto con el terreno de Presqu'île

du Nord-Ouest mediante la Zona de Falla de San Juan-Los Pozos (ZFSJLP). Además de las grandes líneas de falla, se han interpretado otras estructuras lineares, trazas de diques y de capas que se han incorporado a los mapas 1:50000.



Figura 3. Mosaico Landsat 7 (fusión 541-P) del bloque Noroeste con indicación de las unidades morfoestructónicas y las grandes zonas de falla

La Cordillera Central y el Valle de Cibao definen los rasgos geomorfológicos regionales. La Cordillera Central presenta una penillanura (labrada sobre tonalitas) con pequeñas elevaciones orientadas (diques) y gargantas fluviales, en su borde septentrional. El territorio montañoso que está determinado por la elevación, a partir de la Falla de la Española, cabalgante hacia el norte, del bloque constituido por el Complejo Duarte-Formación Tireo, no tiene, a nivel, de detalle singularidades morfológicas destacables. Excepto en contadas ocasiones, las directrices estructurales se diluyen ante una red dendrítica con valles profundos y estrechos (la excepción la constituye el piedemonte aluvial del ángulo suroeste, junto a Bánica).

La mitad septentrional se articula en torno al Valle de Cibao, una fosa ocupada por la amplia llanura fluvial del río Yaque del Norte que presenta un trazado meandriforme y unos sistemas asociados de abanicos aluviales y terrazas. Dicho valle concluye en el noroeste en un sistema de lagoón-estuario con manglares y salinas protegidos por un cordón litoral provisto de varias crestas de acreción. La costa está siempre flanqueada por una orla de arrecifes. El valle, limitado por escarpes de falla netos se articula con la cordillera mediante escalones de superficies

subestructurales de carácter arrecifal y un piedemonte degradado.

En el bloque suroeste, se ha llevado a cabo el mismo proceso de interpretación, con una primera fase a escala regional, en la que se han identificado las principales unidades geológicas y las zonas de falla. En el sector oriental, debido a la ausencia de vegetación y a los resaltes que dan los niveles de areniscas ha sido posible delimitar la traza de los pliegues que tienen una excelente expresión topográfica. El Valle Enriquillo y sus flancos, las sierras de Neiba y Bahoruco son tres dominios morfológicamente diferenciados. El carácter de “pull apart” del valle viene determinado por la configuración romboidal del propio lago, pero también por algunos otros elementos morfológicos. En el fondo de la depresión se definen zonas fluviales, playas y el delta del río Yaque del Sur. Junto a Barahona, el valle está separado del mar por un cordón litoral escalonado por la actividad neotectónica. Esta, se manifiesta también los bordes rectilíneos de la depresión, jalonados de sistemas de abanicos aluviales coalescentes, mediante escarpes de falla. El relieve de la Sierra de Neiba tiene un control estructural muy neto, ya que se pueden reconocer morfoestructuras de tipo jurásico, conformes o invertidas, y numerosos elementos menores (crestas, cuestras, etc.). Sobre la Sierra de Bahoruco el predominio morfológico corresponde a los elementos estructurales más directos, tectónicos, es decir, escarpes de falla, facetas triangulares, valles de fractura, etc.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En base a la interpretación realizada, se han podido definir los sistemas principales de fracturas. Las de dirección NO-SE y ONO-ESE corresponden a los accidentes principales que delimitan las diferentes unidades tectonoestratigráficas y se interpretan como contactos originales entre unidades que han sido reactivados como fallas de desgarre o inversas durante el episodio de convergencia de placas a finales del Neógeno (Mann et al., op.cit.). La dirección ENE-OSO aparece dando amplios corredores que cortan las direcciones anteriores. Este sistema de fracturas controla el emplazamiento de numerosos diques en el Batolito de Loma Cabrera. En el contexto transpresivo de convergencia, se define la presencia de grabens y pequeñas cuencas alineadas según esta dirección, que correspondería a la del máximo esfuerzo. Se piensa que estas estructuras hayan podido ser reactivadas como fallas normales durante la tectónica compresiva (Dolan y Mann, 1998). Estos sistemas también se reconocen el bloque suroeste, donde la dirección NO-SE a ONO-ESE corresponde a la de las fallas inversas y cabalgamientos que delimitan los márgenes

septentrional y meridional del valle de Enriquillo y controlan su geometría como “cuenca rampa” en la que los bordes montañosos cabalgan sobre el fondo del valle. La dirección ENE-OSO a E-O corresponde a la del importante accidente de Enriquillo–Plantain Garden, que articula el movimiento relativo de la placa del Caribe hacia el este, actuando como un desgarre sinistral con cierta componente normal. (Mann et al., 1991b.). El sistema NE-SO se interpreta en el contexto de la colisión del *ridge* de Beata con el sector central de La Española a partir del Plioceno, que produce una intensa fracturación de dirección NNE en los terrenos circundantes.

La interpretación geológica y geomorfológica de las imágenes Landsat 7 ETM+ ha permitido identificar las principales unidades morfoestructónicas y los rasgos estructurales mayores de las zonas consideradas. A pesar de las limitaciones que conlleva la falta de visión estereoscópica, estas imágenes han resultado especialmente válidas en la cartografía de los rasgos morfoestructurales relacionados con los procesos neotectónicos, así como los relacionados con la morfología litoral, y que aportan una información básica en la elaboración de las cartografías de riesgos naturales. Estas interpretaciones se han incorporado en un SIG, generándose los mapas, a escalas 1:100.000 y 1:50.000, como documentos de apoyo a los trabajos de campo.

BIBLIOGRAFÍA

Dolan, J. F., Mullins, H. T. y David, J. W. 1998. Active tectonics of the north-central Caribbean: Oblique collision, strain partitioning and opposing subducted slabs, *Active Strike-Slip and Collisional Tectonics of the Northern Caribbean Plate Boundary Zone*, (Dolan, J.F. y Mann, P., Eds.) *Geological Society of America, Special Paper*, p174.

Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F. 1991a. An overview of the geologic and tectonic development of Hispaniola. *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., Eds.), *Geological Society of America, Special Paper*, 262, pp. 1-28.

Mann, P., McLaughlin, P.P. y Cooper, C. 1991b. Geology of the Azua and Enriquillo basins, Dominican Republic; 2, Structure and tectonics. *Geologic and tectonic development of the North America-Caribbean plate boundary in Hispaniola* (Mann, P., Draper, G. y Lewis, J.F., Eds.), *Geological Society of America, Special Paper*, 262, pp. 367-389.

Dirección General de Minería (DGM) y Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). 1991. Mapa geológico de la República Dominicana a escala 1:250.000.