

Magnetismo y radiación gamma natural de la República Dominicana

J.L. García-Lobón y C. Rey-Moral

Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.
E-mails: jl.garcia@igme.es - c.rey@igme.es

RESUMEN

El principal rasgo del magnetismo de la República Dominicana es el de mostrar una clarísima estructuración en bandas NO-SE, coincidentes con las provincias (terrenos) que configuran la geología de la isla La Española. Estas bandas se encuentran limitadas por accidentes magnéticos mayores muy nítidos de esa dirección, según las cizallas que limitan tales terrenos. En disposición subparalela a la de éstos ocurre un numeroso cortejo de directrices magnéticas de menor entidad. Existe también un importante conjunto de discontinuidades de dirección NE-SO, complementarias de las anteriores. Adicionalmente, el campo magnético se caracteriza por presentar fuertes anomalías debidas a un magmatismo ubicuo en toda la Isla. Desde el punto de vista de susceptibilidad magnética se observa inmediatamente que se trata de un magmatismo bimodal con zonas magnéticas y paramagnéticas sobre cualquiera de las intrusiones y ejes volcánicos principales de la isla.

La radiometría gamma natural, aún con el inconveniente de la excesiva altura de vuelo por la accidentada orografía de la isla, complementa la cartografía estructural magnética, permitiendo establecer una macrozonación radiométrica de la República Dominicana en los siguientes términos: 1) Zonas de máximos radiométricos: corresponden a sedimentos lutíticos, cuaternarios o pertenecientes a las cuencas de flysch ante y trasera de arco, y a unidades volcano-detriticas del extremo oriental de la isla; 2) Zonas intermedias: respuestas típicas de uranio y torio son las producidas por masas calcáreas, mientras que las firmas de potasio son generadas por un amplio espectro de rocas intermedio-ácidas, volcánicas e intrusivas; y 3) Zonas de mínimos radiactivos: corresponden a rocas ultrabásicas, rocas básicas intrusivas (gabros) y extrusivas (basaltos, espilitas), y a rocas metamórficas de protolito ígneo básico (esquistos y anfibolitas).

Los datos geofísicos aeroportados, magnéticos y radiométricos, ofrecen muy buenas posibilidades para apoyar la cartografía geológico-estructural general de la República Dominicana, de lo que existen numerosos ejemplos alguno de los cuales se presenta aquí.

Palabras clave: geofísica aeroportada, magnetismo, radiometría gamma natural, República Dominicana

Magnetism and gamma natural radiometrics of the Dominican Republic

ABSTRACT

The main feature displayed by the Dominican Republic magnetic map is the clear NW-SE strike structures delineated by the geological terranes that constitute La Española island. Those terranes are limited by main magnetic accidents that coincide with major strike slip fault zones. Parallel to those major accidents, minor magnetic trends also occur. Furthermore, magnetic field is characterised by very remarkable anomalies due to a magmatism widely spread all over La Española island. Focusing on magnetic susceptibility, this magmatism is a bimodal one, with magnetic and paramagnetic areas in any of the plutonic bodies and volcanic axis in the island.

Gamma natural radiometry, even with the restriction of the excessive height of the flight due to the rough island orography, complements the magnetic structural cartography. The radiometric macrozonation of the Dominican Republic can be established as follows: 1) Radiometric maxima. These maximums correspond either to lutitic sediments, quaternary in age or belonging to tertiary flysch basins, or to volcanodetritic units of the eastern end of the island; 2) Middle range radiometric data. Uranium and thorium spots come typically from calcareous (or calcarenitic) outcrops, meanwhile potassic ones are generated by intermedium-acid, volcanic and intrusive rocks; and 3) Radiometric minima: they delineate ultrabasic massifs, basic intrusive (gabbros) and extrusive (spilites and basalts) bodies, and metamorphic rocks (schists and amphibolites of a basic provenance).

The airborne magnetic and radiometric data provide an excellent opportunity to support the geo-structural cartography of the island. Some of the examples are shown here.

Key words: airborne geophysics, Dominican Republic, gamma natural radiometrics, magnetism

Introducción. Marco geológico regional

La República Dominicana ocupa aproximadamente los dos tercios más orientales de la isla La Española, cuya superficie total es de unos 80.000 km². Desde el punto de vista fisiográfico la isla está constituida por cuatro alineaciones montañosas principales que, de norte a sur y según la toponimia dominicana, son la Cordillera Septentrional, la Cordillera Central, la Sierra de Neiba y la Sierra de Bahoruco (figura 1a). Estas cuatro elevaciones se encuentran separadas por tres grandes valles, que enumerados en el mismo orden, se denominan Valle del Cibao, Valle de San Juan y Valle de Enriquillo.

Durante 1995-96 se realizó un vuelo magnético y radiométrico en la República Dominicana con una separación de líneas de 1 km y altura nominal de 120 m. Posteriormente se efectuaron revuelos con 500 m de separación de líneas, fundamentalmente de la Cordillera Central y su borde suroccidental, que son las zonas de mayor relieve de la isla (figura 1a, área volcano-plutónica del arco-isla figura 1b, terrenos 8, 9 y parte del 5). Este relieve condiciona en gran medida la calidad de los datos aeroportados, de los radiométricos en particular (la altura media de vuelo en la Cordillera Central supera los 1000 metros). En la figura 1a se muestran, además de los principales lineamientos magnéticos que se describen más abajo, la distribución de hojas 1:50.000 de la República Dominicana y los perímetros de las áreas de los proyectos de cartografía geológica a escala 1:50.000 denominados "K" y "L" actualmente en curso, a los que dan apoyo los datos geofísicos del vuelo de 1995-96 (García Lobón y Rey Moral, 2002a, b).

Desde el punto de vista geodinámico, La Española se sitúa en el margen septentrional de la Placa del Caribe, en su sector central (figura 1b). La corteza de la placa Caribeña se generó durante la creación de fondo oceánico como consecuencia de la separación de las placas Norte y Suramericana en el Jurásico Medio-Superior y Cretácico Inferior. En la actualidad los márgenes oriental y (sur) occidental de la placa son zonas de subducción con buzamientos al Oeste y al Este, respectivamente, de tal forma que los límites septentrional y meridional funcionan como fallas transformantes con fuertes movimientos en dirección.

La isla de La Española constituye un arco-isla multipisódico, creado durante el Cretácico Inferior-Eoceno (Mann *et al.*, 1991). El desplazamiento transcurrente sinestro, a lo largo del límite entre las placas Norteamericana y Caribeña, que tiene lugar desde el Eoceno, ha modificado de forma importante la geometría del arco-isla mesozoico. Las estructuras generadas durante este desplazamiento poseen una activi-

dad tectónica muy reciente, controlando la fisiografía de la Isla que aparece dominada por valles y alineaciones montañosas de dirección NO-SE. Los materiales del Cretácico-Terciario Inferior se formaron en el contexto de la evolución del arco-isla. Finalmente, sobre el sustrato se asientan varias cuencas sedimentarias del Terciario Superior. Lewis *et al.* (2002) proporcionan una revisión reciente de la evolución del arco-isla caribeño y de las diferentes series composicionales de rocas ígneas observadas: basaltos N-MORB, que constituyen el primer estadio de creación de fondo oceánico, series toleíticas de arco-isla relacionadas con la subducción de la corteza oceánica y desarrollo de un primitivo arco magmático todavía sumergido, y series calco-alcalinas del tercer estadio del arco caribeño. Estas últimas están representadas por andesitas, así como por un importante plutonismo diorítico-tonalítico-granodiorítico de dimensiones batolíticas, que produce abundantes anomalías geofísicas.

Una de las características básicas de la isla es la de estar constituida por bloques o provincias geológicas, con identidad tectonoestratigráfica propia, separadas por grandes fallas NO-SE que han estructurado su configuración actual (figura 1b, Mann *et al.*, 1991). Un esbozo geológico de los terrenos principales se da a continuación.

Con más de 150 km de largo y 5 a 15 km de ancho y delimitado por la Zona de Falla de La Española según una dirección NO-SE, el terreno Loma Caribe-Tavera, probablemente del Jurásico Superior-Cretácico Inferior, corresponde a una banda de peridotitas de 90 km de largo, generalmente serpentizadas, basaltos y cherts (conocidas genéricamente con el nombre de peridotitas de Loma Caribe) que afloran a lo largo del flanco oriental de la Cordillera Central dominicana. Posteriormente al estadio mantélico, estas peridotitas fueron serpentizadas durante su transporte tectónico a niveles altos de la corteza, lo que fue acompañado con una intensa deformación dúctil.

El terreno metamórfico de Duarte aflora a lo largo del flanco septentrional de la Cordillera Central dominicana, al SO del terreno de Loma Caribe-Tavera. Las rocas básicas y ultrabásicas del Complejo Duarte son las más antiguas del basamento con una edad Jurásico Superior. Se trata esencialmente de un conjunto de esquistos máficos y anfibolitas con un grado metamórfico bajo, en el que intruyen abundantes batolitos y stocks de granitoides. El reconocimiento de lavas, pillow lavas, hialoclastitas y sedimentos pelágicos en sus litologías menos deformadas y metamorfozadas, y su geoquímica, sugieren su correlación con una corteza oceánica. En el terreno Amina-

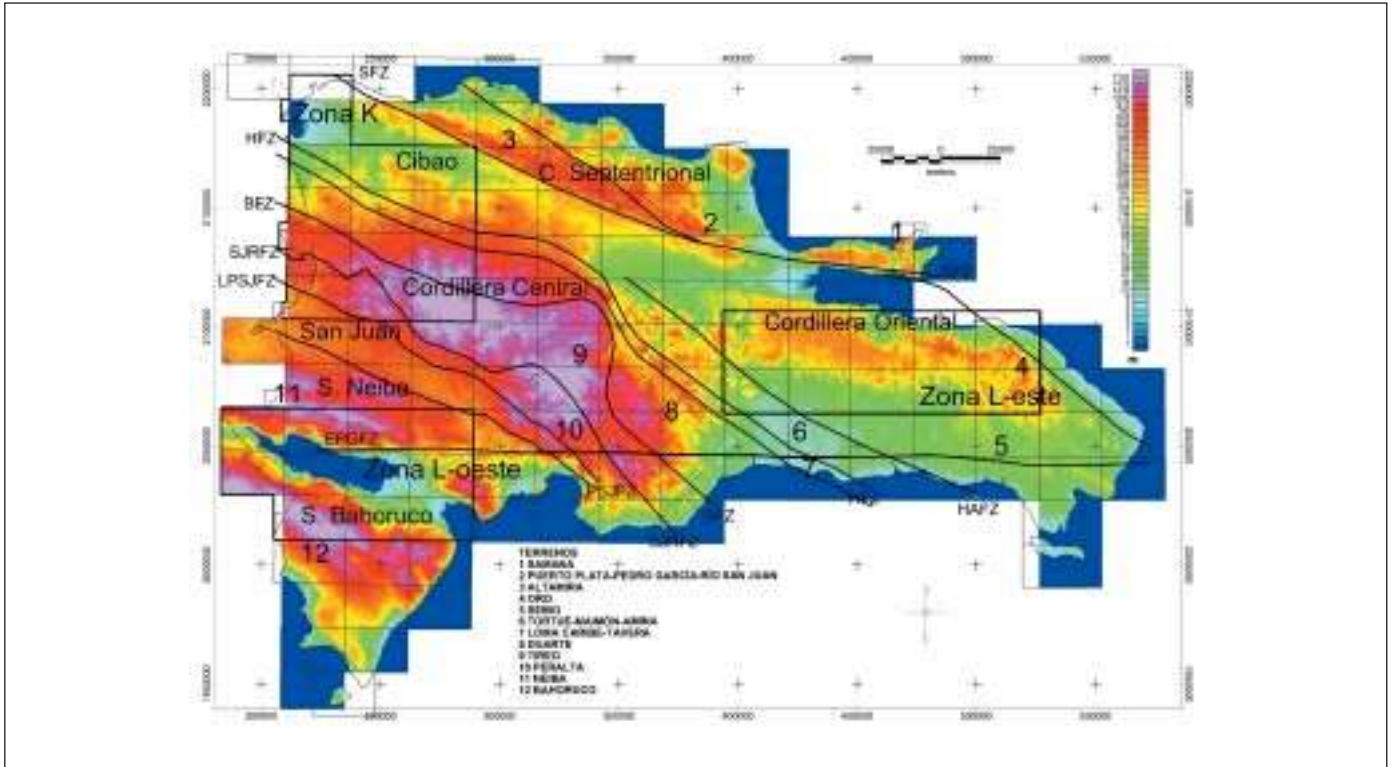


Fig. 1a. Modelo digital del terreno de la República Dominicana
Fig. 1a. Digital terrain model of the Dominican Republic

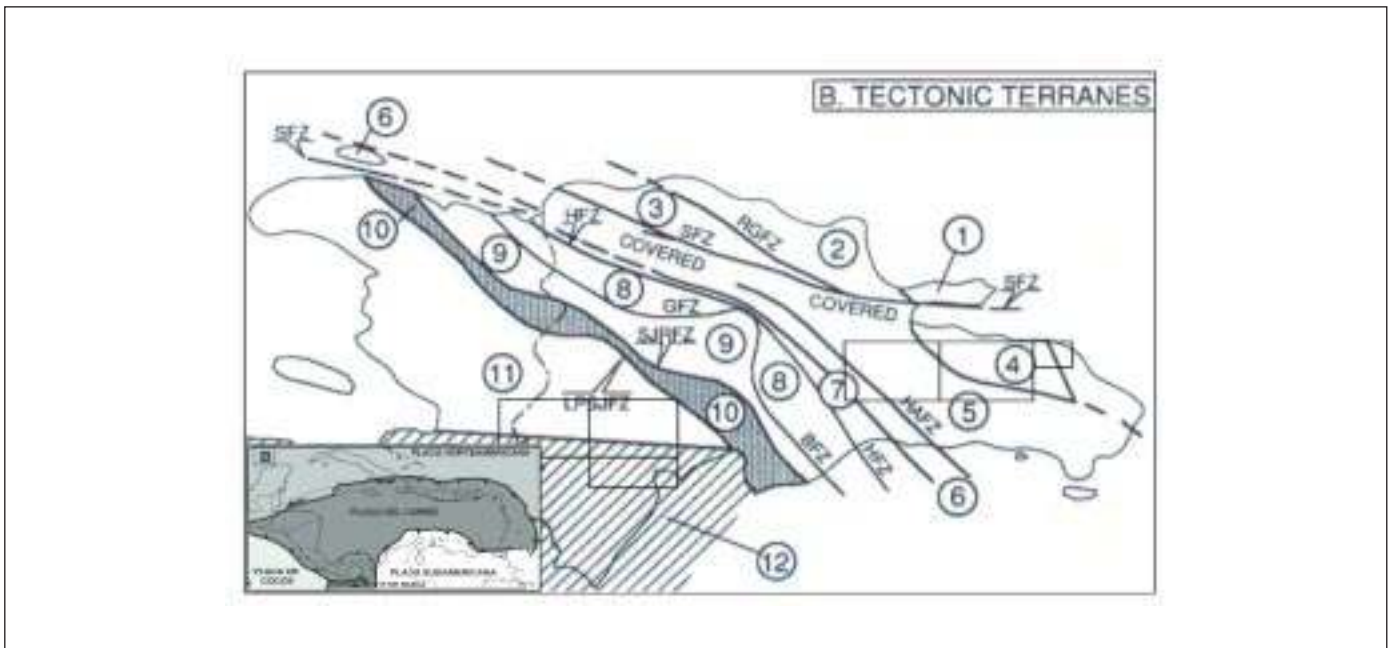


Fig. 1b. Terrenos de La Española. Cordillera Septentrional: 1) Samaná; 2) Puerto Plata-Pedro García-Río San Juan; 3) Altamira. Península Oriental; 4) Oro; 5) Seibo. Cordillera Central Mountain Range; 6) Tortue-Maimón-Amina; 7) Loma Caribe-Tavera; 8) Duarte; 9) Tiroe; 10) Peralta. Center and Northwestern Zone; 11) Neiba. Meridional Peninsula; 12) Bahoruco

Maimón dominan las rocas volcanoclásticas y subordinadamente volcánicas y sedimentarias de edad Cretácico Inferior. Composicionalmente, los protolitos ígneos corresponden a un amplio rango que va desde basaltos a cuarzoqueratófidos. Este terreno se ha interpretado en términos de una zona de cizalla producida por la obducción, durante el Cretácico Inferior, de un conjunto ofiolítico representado por la propia peridotita y el Complejo Duarte (Draper y Gutiérrez Alonso, 1996).

El terreno de Tireo (Cretácico Superior) representa el conjunto de más amplia extensión del edificio volcánico-plutónico del arco-isla, y es, por excelencia, el principal producto del vulcanismo calcoalcalino derivado de los procesos orogénicos ligados a la colisión con el margen pasivo norteamericano. De forma característica incluye cuerpos intrusivos de diferentes dimensiones, generalmente tonalitas. Esta unidad se distribuye en un cinturón de más de 290 km de largo, que forma la zona axial de la Cordillera Central. Al SO de Tireo, el terreno de Peralta aflora en una banda de unos 320 km de longitud que se dispone a lo largo del flanco SO de la Cordillera Central dominicana. El límite SO, lo resuelve la Zona de Falla de San Juan-Los Pozos que, igual que ocurre con su límite noroccidental, la Zona de Falla de San José-Restauración, se le supone una importante componente de desgarre a escala regional (Mann *et al.*, 1991). Las rocas más antiguas del terreno, del Coniaciense-Daniense, corresponden a una serie de calizas micríticas, tobas, cherts y limolitas y areniscas turbidíticas, con intercalaciones menores de lavas basálticas. El terreno de Peralta se ha interpretado como una cuenca turbidítica generada en un contexto de cuenca trasera de arco en relación con la colisión con el margen pasivo norteamericano.

El terreno de Neiba incluye todos los sistemas montañosos y depresiones terciario-cuaternarias comprendidas entre la Cordillera Central y la sierra de Bahoruco. Está constituido por una sucesión de anticlinales neógenos, en cuyo núcleo afloran más de 2500 m de basaltos y rocas volcanoclásticas, sobre la que descansa discordante un potente (1 km) y monótono tramo de calizas pelágicas del Eoceno Medio-Superior. Al sur de la Sierra de Neiba se localiza la cuenca de Enriquillo y su prolongación hacia el Este, la cuenca de Azua. El relleno de estas cuencas consiste en facies marinas de plataforma, carbonatadas y turbidíticas, en la base, y abanicos continentales a techo. El terreno de Bahoruco se extiende por todo el sector meridional de la isla. Se encuentra separado del terreno de Neiba por el desgarre sinistral de Enriquillo-Plantain Garden. Consiste en una alternancia de basaltos y pillow basaltos no metamórficos,

doleritas, calizas pelágicas, cherts, limolitas silíceas y areniscas volcanogénicas.

La Cuenca del Cibao consiste en una serie subhorizontal de depósitos siliciclásticos, derivados de la Cordillera Central, y carbonatos de plataforma, del Mio-plioceno. La evolución estructural de esta cuenca es compleja desde su posible comportamiento como parte de la cuenca delantera del arco de islas, o como cuenca antepaís o de ramp basin durante los primeros levantamientos de la Cordillera Central, hasta su transformación a una cuenca transtensiva o transpresiva en relación con el funcionamiento más reciente de las grandes fallas de desgarre que la limitan.

El terreno de El Seibo presenta en dos tramos separados por una discordancia regional. Las series infradiscordancia están formadas por basaltos, dacitas, queratófidos, riolitas, andesitas, tobas y brechas volcánicas que están generalmente afectados por un metamorfismo de bajo grado (esquistos verdes) y por una fábrica sinmetamórfica variablemente penetrativa. Su representante típico es la Formación Los Ranchos. Por encima de la discordancia, las series del Cretácico Superior son esencialmente volcanoclásticas aunque con intercalaciones de coladas basálticas y calizas. El terreno del Oro conforma la mayor parte de la Cordillera Oriental. Se trata de un conjunto plegado y deformado de más de 1500 m de espesor estructural, consistente en rocas volcanoclásticas con intercalaciones menores de calizas oscuras, cherts con radiolarios y conglomerados que contienen clastos de rocas ultramáficas. La mayor diferencia entre estas dos zonas radica en su grado de deformación ya que en el Oro las rocas aparecen fuertemente deformadas tanto a macro como a microescala. En el Seibo la deformación se limita a un plegamiento de gran radio. Esta circunstancia la atribuye es atribuida a la traslación de la segunda sobre la primera a favor de un cabalgamiento sin nombre definido.

Magnetismo de la República Dominicana

Disponemos de las imágenes del campo magnético total residual reducido al polo (figura 2), y de gradiente magnético vertical (figura 3) de toda la isla (mallas de 125 m de celda obtenidas por el contratisa de los vuelos).

El magnetismo de la isla es bastante activo y muy bien estructurado en bandas NO-SE, según los terrenos que constituyen la misma, resultando todas las imágenes citadas, de campo reducido al polo y de gradiente vertical, muy atractivas.

En términos de campo total, las anomalías magnéticas son intensas, frecuentemente localizadas en

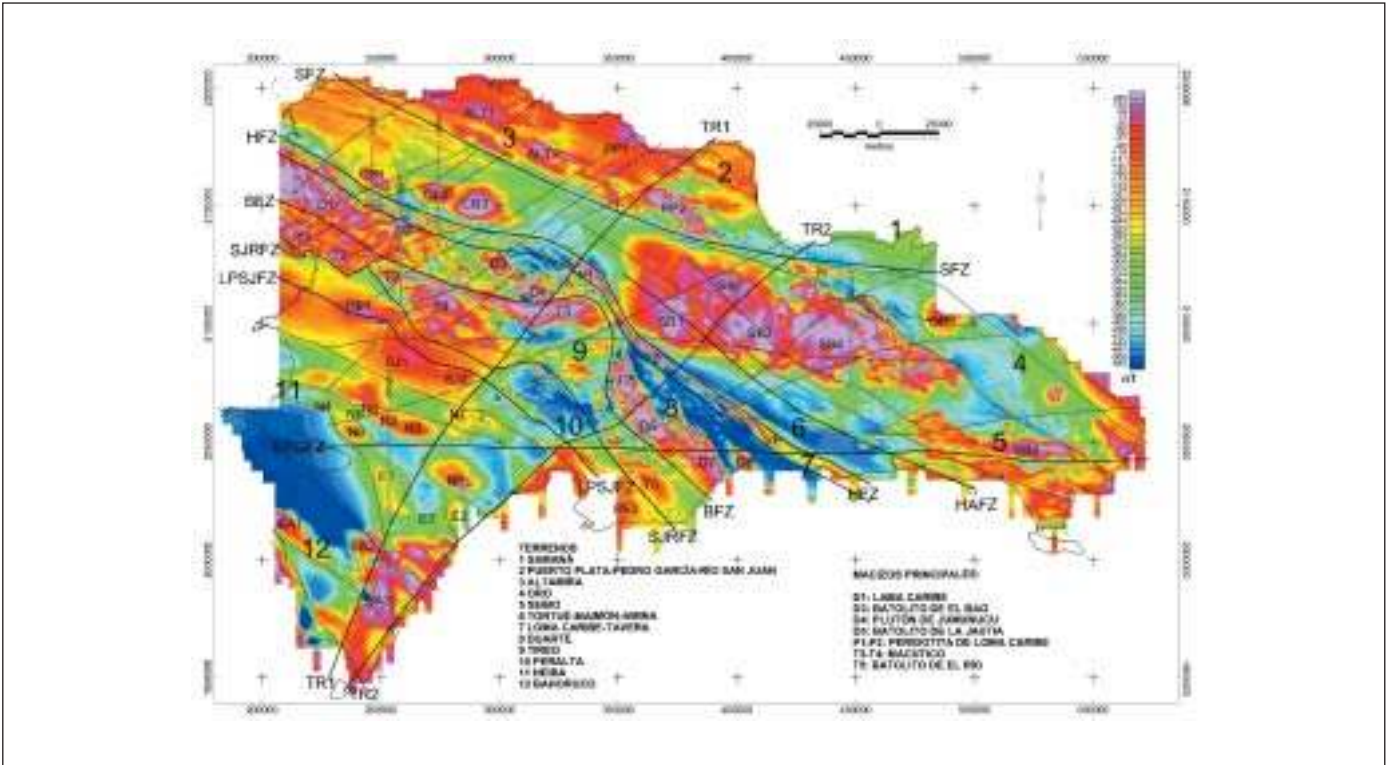


Fig. 2. Campo magnético total reducido al polo de la República Dominicana
 Fig. 2. Total magnetic field reduced to the pole map of the Dominican Republic

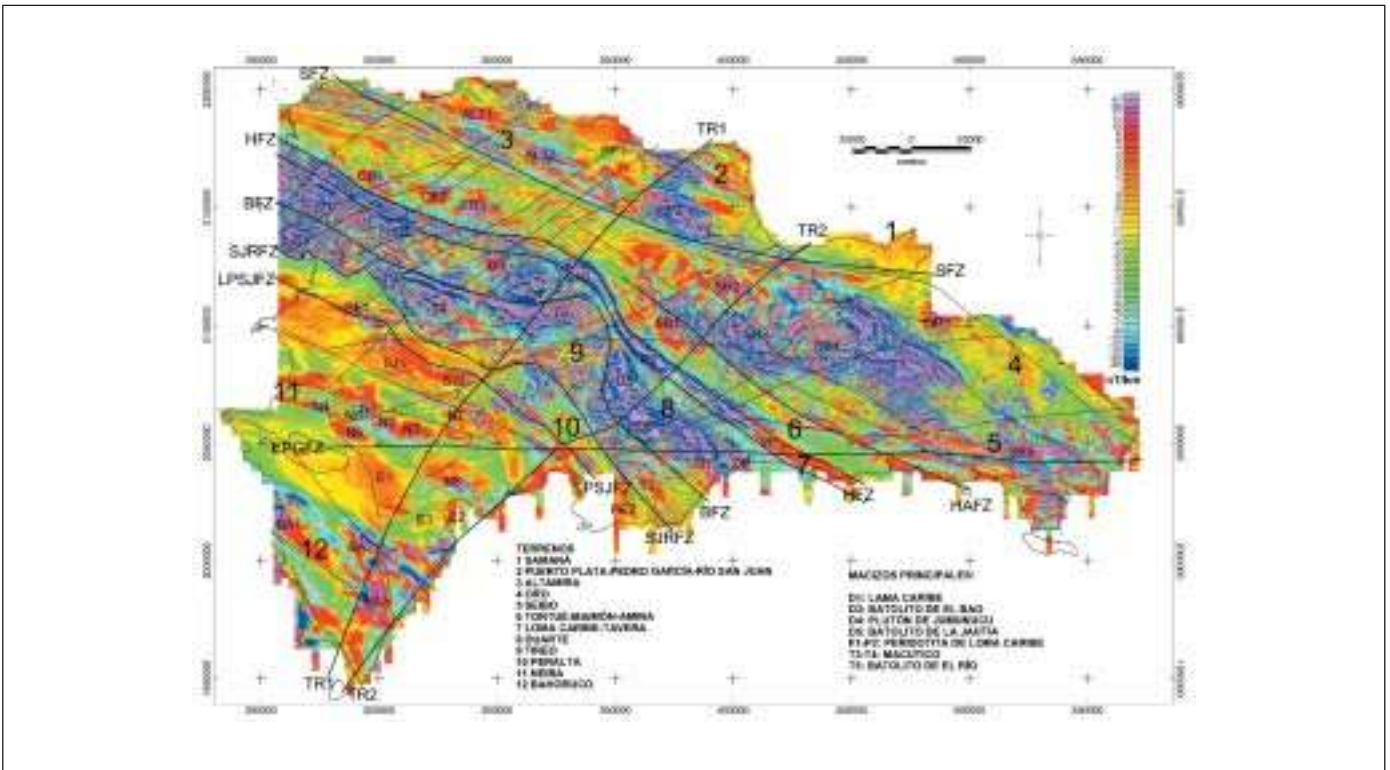


Fig. 3. Gradiente magnético vertical de la República Dominicana
 Fig. 3. Vertical magnetic gradient map of the Dominican Republic

el rango de varios centenares de nT (hasta del orden de 500-1.000 nT; las cinco líneas de vuelo norte-sur representadas en la figura 2 se perfilan en la figura 7, donde se aprecia mejor la magnitud de las anomalías). Este rango anómalo implica contrastes de susceptibilidad de varios miles de unidades cgs (entre $5.000-15.000 \cdot 10^6$ ucgs, aproximadamente, lo que supone contenidos de magnetita del orden de 2-5%). Los valores del campo magnético total residual (corregido por el IGRF-1990, trasladado a 11/1996) oscilan entre -2.000 y 2.000 nT, con el 90% de ellos variando entre -300 y 300 nT. El histograma de campo total presenta dos modas próximas a -40 y +40 nT, intensidades que lo dividen en tres zonas, de mínimo, intermedia y de máximo, aproximadamente del mismo área.

Dada la claridad de la estructura magnética de la isla, más que una interpretación geológica de la zonación de intensidades magnéticas, interesa la delimitación de los grandes accidentes magnéticos que afectan a toda la isla. En efecto, sobre la imagen de campo reducido al polo (anomalías centradas sobre las masas magnéticas, figura 2) y la de gradiente magnético vertical (figura 3), se pueden delimitar un buen número de grandes discontinuidades magnéticas que compartimentan toda la isla, que citadas de NE a SO son:

- La (zona de) falla septentrional SFZ (figuras 2, 3), multiramificada en su extremo SE
- La (zona de) falla del Hatillo HAFZ
- La (zona de) falla de La Española HFZ
- La (zona de) falla de Bonao BFZ
- La (zona de) falla de San José-Restauración SJRFZ
- La (zona de) falla de San Juan-Los Pozos SJLPFZ

Entre estos accidentes son especialmente importantes SFZ (y sus ramificaciones), que delimita el prisma y fragmentos de cuencas oceánicas (Altamira y Samaná) adosados al arco, y HFZ y SJRFZ que delimitan la zona volcánico-plutónica del arco-isla (terrenos Duarte y Tireo), y cuenca tras arco, respectivamente. La expresión magnética de la Cordillera Central queda claramente enmarcada entre HFZ y SJRFZ (por ejemplo, detalle de la figura 4). Debe destacarse también que se trata de verdaderas zonas de falla, es decir, fajas más o menos amplias en general demagnetizadas (SFZ, HFZ, SJRFZ), o con materiales magnéticos en su interior (BFZ).

El campo magnético de la isla no sólo permite una clarísima definición estructural de sus terrenos, sino que también proporciona excelentes ejemplos de cartografía magnética de unidades geológicas discretas. Por ejemplo, en toda la banda al NE de HFZ existen dos zonas de diferente textura magnética: al norte, en el Cibao, las anomalías son debidas a fuentes desde

subaflorantes hasta ubicadas a profundidad kilométrica, mientras que al sureste, en los terrenos Seibo y Oro, son mucho más someras, figura 2. Las directrices magnéticas sobre las formaciones volcanodetríticas de estos dos últimos terrenos del extremo oriental de la isla son muy claras (figuras 2 y 3, y detalle de la figura 5), por lo que el magnetismo ofrece aquí una ayuda espectacular a la cartografía geológica de toda esta parte de la isla (y en particular, en buena parte de las hojas 1:50.000 del bloque "L-este").

Algunas características del magnetismo de los terrenos tectónicos delimitados por las zonas de falla mencionadas son:

- Cordillera Septentrional y Península de Samaná: al norte de SFZ. Presenta una nítida estructuración magnética relacionada con la falla del Río Grande y discontinuidades subparalelas y convergentes respecto a SFZ (figuras 2 y 4). La magnetización es intensa en la mitad suroccidental de esta zona, mientras que en la parte oriental alcanza valores más bajos. Las unidades que producen los niveles de magnetismo más altos son rocas magmáticas y volcanosedimentarias de Altamira (anomalías ALT1 y ALT2 etiquetadas en la figura 2, instaladas a profundidad hectométrica, figura 6), y los complejos gabroicos de Puerto Plata (v.g., PP2, anomalías subaflorantes) en la parte central. En general, las profundidades de las fuentes magnéticas oscilan entre 500 y 2000 m en estos terrenos al norte de SFZ.
- Seibo y Valle del Cibao: entre HAFZ y SFZ el primero y HFZ y SFZ el segundo. Se trata de áreas volcano-plutónicas cubiertas por depósitos que ocultan masas de alta magnetización relativamente someras (mayoritariamente emplazadas en el intervalo 500-1000 m, según los datos magnéticos). Estos depósitos son fundamentalmente calcáreos en la mitad SE (Seibo) y fluviomarinos detríticos en la mitad NO (Cibao), aquí con algunas anomalías producidas por cuerpos ubicados a mayor profundidad.

Ambas zonas, Cibao al NO, Seibo al SE, están separadas por un gran accidente magnético NE-SO (TR1 en la figura 2; obsérvese que a través de este accidente, o bien los ejes magnéticos "giran" al SE o al NE, o bien se produce un cambio de textura magnética en casi todos los terrenos de la Isla). Esta lineación magnética TR1 es la principal (junto con TR2) de una familia de discontinuidades NE-SO (líneas más finas en la figura 2), complementaria de las ya nombradas de dirección NO-SE que delimitan los terrenos de la isla.

En la mitad NO (cuenca del valle del Cibao) ocurren una serie de discontinuidades y ejes magnéti-

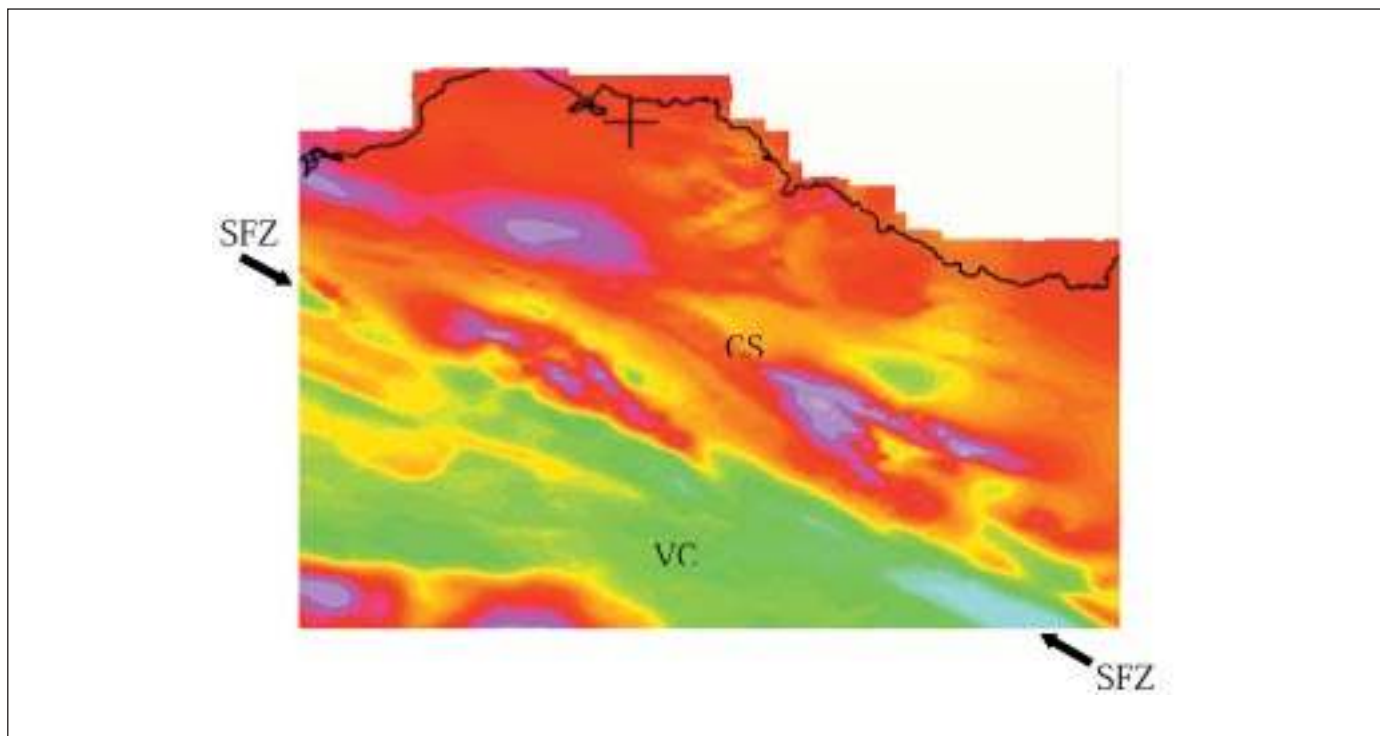


Fig. 4a. Detalle del mapa de campo magnético reducido al polo en la Cordillera Septentrional (CS) y el Valle de Cibao (VC). SFZ: Falla Septentrional

Fig. 4a. Magnetic field reduced to the pole map of the Cordillera Septentrional mountain range (CS) and Cibao Valley (VC). SFZ: Septentrional Fault Zone

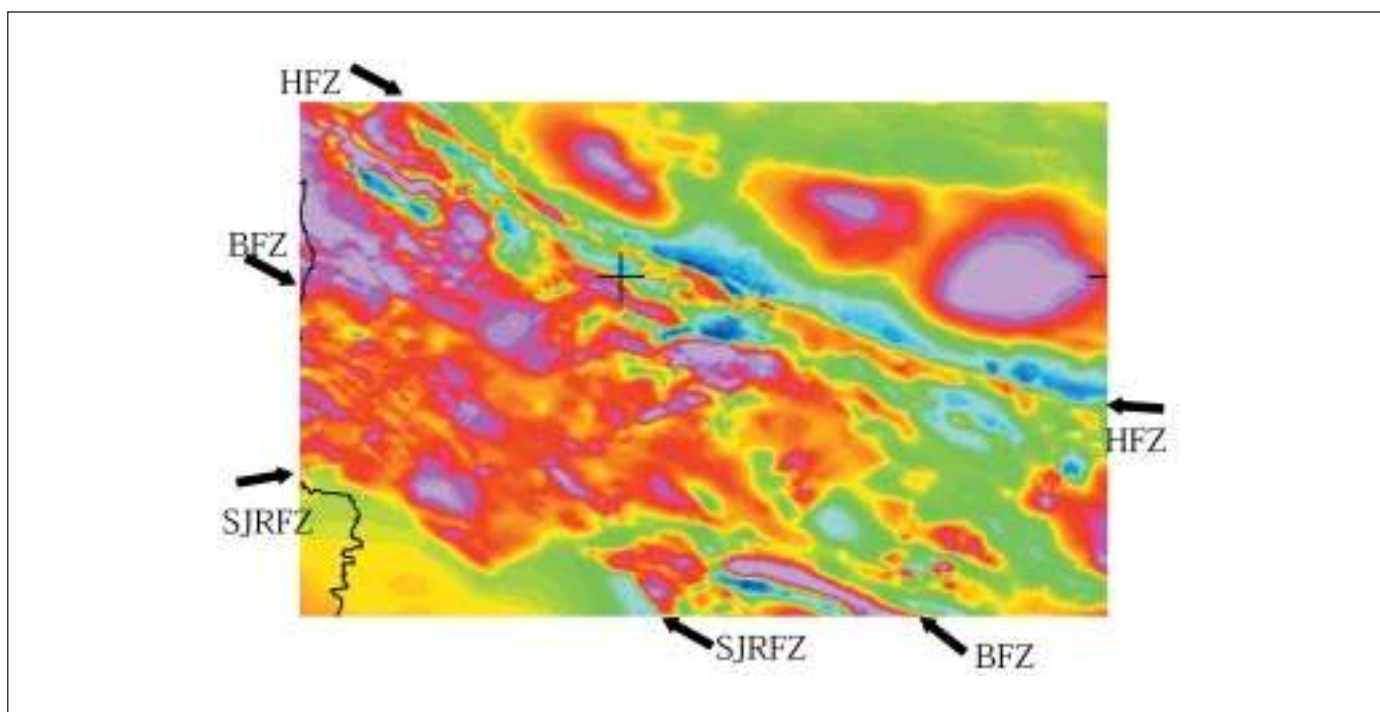


Fig. 4b. Idem en la Cordillera Central HFZ: Zona de Falla de La Española; BFZ: Falla de Bonafo; SJRFZ: Falla de San José-Restauración

Fig. 4b. Idem of the Cordillera Central mountain range. HFZ: La Hispaniola Fault Zone; BFZ: Bonafo Fault Zone; SJRFZ: San José-Restauración Fault Zone

cos subparalelos a las cizallas principales SFZ y HFZ (muy claras en la imagen del gradiente vertical de la figura 3), que deben representar los accidentes tectónicos que han compartimentado toda esta cuenca, y que han elevado o deprimido un sustrato moderadamente magnético, lo que produce las respuestas magnéticas que sirven para cartografiar los accidentes con precisión. También se manifiestan anomalías más intensas proceden-

tes de varios cuerpos ígneos (CB1, CB2 y CB3), probablemente emplazados a una profundidad entre 1 y 2 km (ver tabla 1, más abajo) bajo el relleno sedimentario.

En la mitad SE (Seibo) existe una serie de grandes masas ígneas de carácter ferromagnético, en parte aflorantes, pero en mucha mayor medida cubiertas sobre todo por calizas arrecifales detríticas con una neta delimitación magnética (SB1, SB2, SB3,

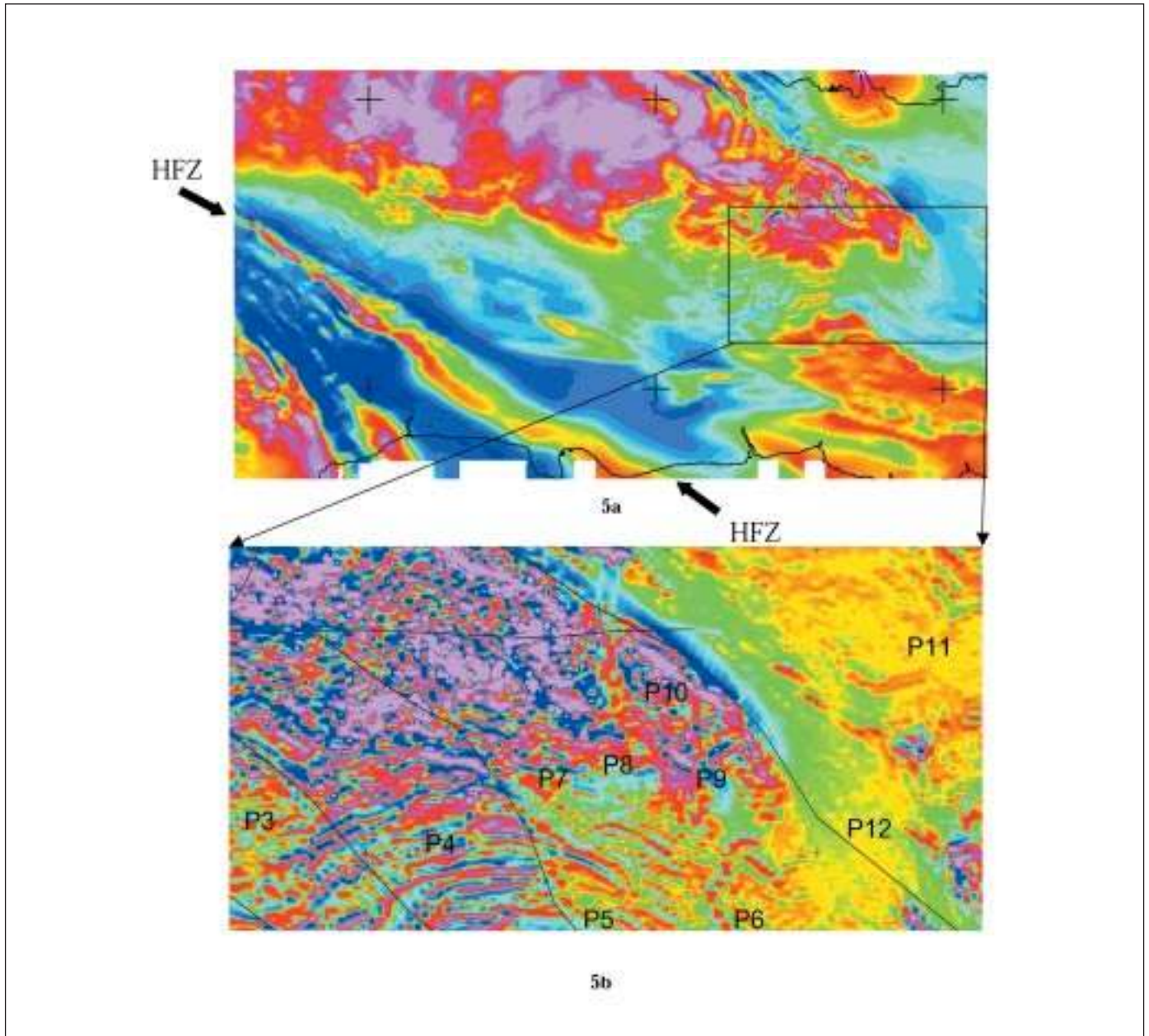


Fig. 5a. Detalle del mapa de campo magnético reducido al polo en Seibo y Oro. HFZ: Falla de La Española; b. Detalle de gradiente vertical del área recuadrada en la figura 5a (P3 a P12 son diversos pliegues que se aprecian en la imagen)
Fig. 5a. Magnetic field reduced to the pole map of the Seibo and Oro Terrains. HFZ: La Hispaniola Fault Zone; b. Vertical gradient detail of the marked area in figure 5a (P3 a P12 are folds that appear in the image)

Anomalía	Profundidad Euler n = 1	Altura Radar: Hr	Profundidades gráficas			
			Profundidad: H	Perfil	Yi	Yf
CB1	0.85	0.15	0.92	Línea 30101	2162000	2162800
CB2	1.25	0.30	1.15	Línea 41301	2156700	2157800
CB3	1.17	0.18	1.69	Línea 46501	2149400	2150800
D2	0.44	0.15	0.25	Línea 34903	2142300	2142600
E1 (Norte)	1.98	0.98	4.35	Línea 32902	2035600	2039600
E1 (Sur)	1.34	0.94	3.06	Línea 32902	2012500	2015500
SB4 (Noroeste)	0.66	0.16	0.91	Línea 406501	2094950	2095750
SB4 (Sureste)	0.31	0.17	0.33	Línea 110701	2089000	2089400

Nota: $[H = ((Yf - Yi) / 0.75) - Hr]$

Tabla 1. Comparación de profundidades (en km)
Table 1. Depths comparison (in km)

SB4 y SB5, figura 2). La amplitud areal, intensidad, y desestructuración de las anomalías (como las que ocurren por ejemplo sobre el extenso complejo tonalítico de Lama-Cabrera, en el terreno Duarte; anomalía D1, sobre la frontera con Haití) lleva a pensar en una gran intrusión, o un conjunto de ellas más o menos interconectadas, o imbricadas con rocas volcánicas, también como las del sector occidental de la faja magmática del arco isla (terrenos Duarte-Tireo). En la terminación sureste de esta gran intrusión SB1-SB4 la textura magnética cambia totalmente, con la aparición de anomalías de mucha menor longitud de onda según directrices de estratificación y plegamiento (tanto en el terreno Seibo como en Oro), que cartografían perfectamente las formaciones volcanosedimentarias de este sector (Fm. Los Ranchos, y sucesiones suprayacentes, figura 5). En el tránsito de los terrenos Seibo a Oro la estructuración definida por los mapas magnéticos y radiométricos se torna más apretada; los pliegues se vuelven más cerrados y la fracturación se hace más intensa (v.g., pliegues como P4, frente a otros como P5, en detalle de la figura 5b).

- Tortués-Maimón-Amina: entre HAFZ y HFZ. Se trata de una de las pocas zonas de la isla donde las firmas magnéticas escasean (figura 2). Si bien existen algunas directrices magnéticas en el mapa de gradiente vertical que permiten establecer una compartimentación del terreno, sobre todo en sentido NO-SE, la impresión es que se trata de una zona metamórfica en general demagnetizada.
- Loma-Caribe: terreno comprendido entre las fracturas HFZ. La ausencia de magmatismo podría permitir la modelización de las anomalías ligadas a HFZ, a saber, P1, P2 (peridotitas) y Vp (volcanitas básicas). Se puede anticipar que la longitud de

onda de las anomalías magnéticas no indica un asentamiento de las fuentes a gran profundidad (figura 2).

- Duarte: entre HFZ y BFZ. Existen varias zonas magnéticas diferentes, las ferromagnéticas ocurren sobre todo sobre fajas de rocas intrusivas (sub)aflorentes, las paramagnéticas deben tender a concentrarse sobre áreas de basamento metamórfico (esquistos y anfibolitas de protolito ígneo, ya paramagnético; ya demagnetizado). La alternancia de fajas ferro y paramagnéticas se produce tanto al NO de la discontinuidad TR1 (los materiales ferromagnéticos D1 a D4, figura 2, son rocas plutónicas de amplio espectro litológico, desde tonalitas como el macizo de Lama-Cabrera, D1, hasta gabros, D2; los accidentes NE-SO son netos); como al SE de la misma (anomalías D5 a D7, igualmente ocasionadas por los mismos tipos litológicos aflorantes; las áreas paramagnéticas aquí, hacia el NE, son más frecuentes). En todo caso las directrices de gradiente vertical subparalelas a HFZ y BFZ son nítidas en ambas zonas, tanto al NO como al SE de TR1 (figura 3). Obsérvese que, como en toda la isla, el gradiente vertical tiende a estructurarse sobre las unidades volcánicas, que en Duarte son menos magnéticas que las intrusivas.
- Tireo: entre BFZ y SJRFZ. En este terreno las volcanitas son magnéticamente más activas que en Duarte, de modo que una fuente ferromagnética no ha sido demagnetizada como probablemente ocurrió allí. Las anomalías T1 a T3 son causadas por volcanitas; las T4 y T5 por intrusivas de quimismo intermedio (macizo del Macutico), todas ellas aflorantes, y, finalmente, T6 es originada por una fuente volcánica ubicada a una profundidad hectométrica (unos 400 m).

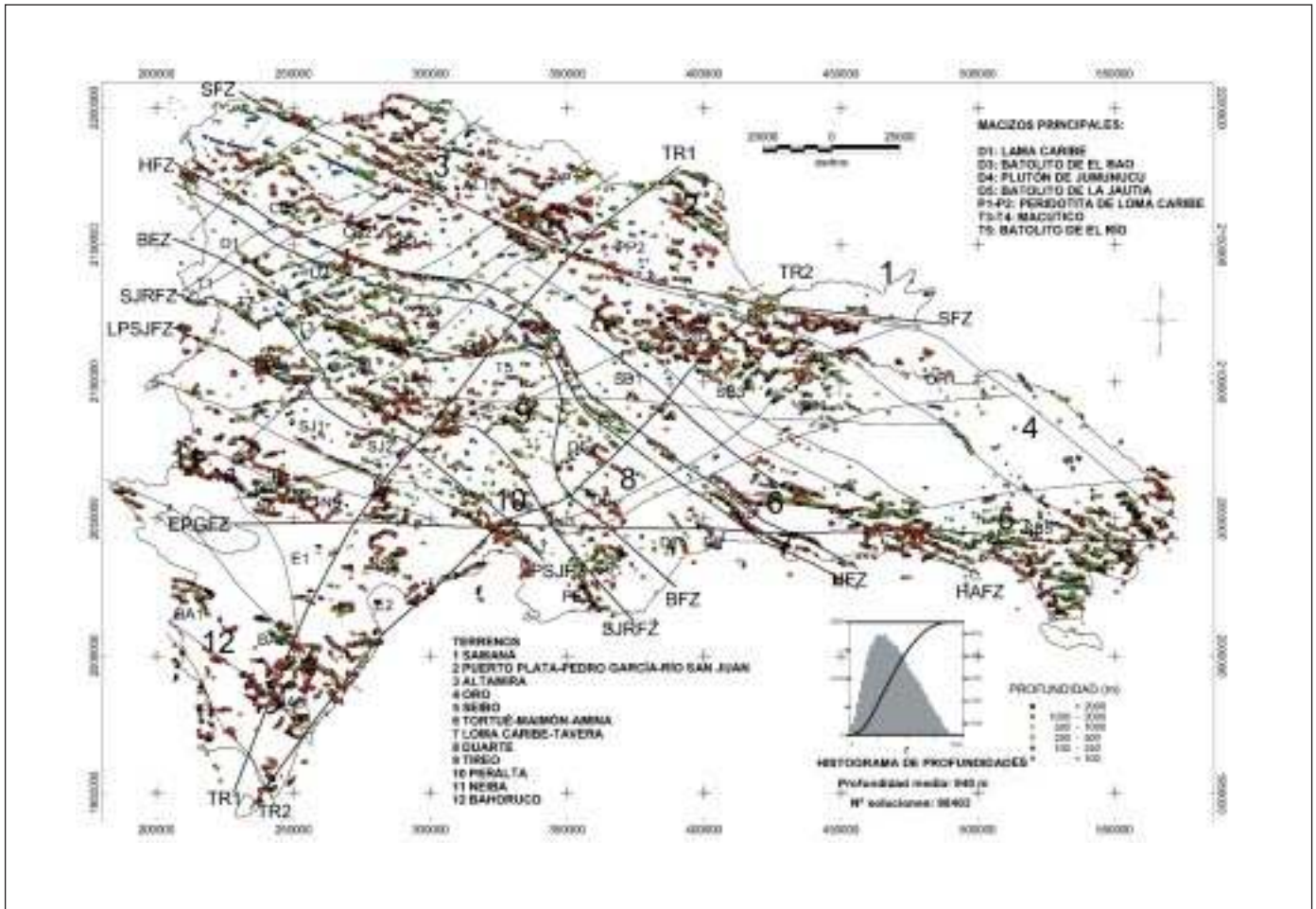


Fig. 6. Mapa de deconvolución de Euler de la República Dominicana
Fig. 6. Euler deconvolution map of the Dominican Republic

De nuevo existe un cambio importante de carácter magnético a través de TR1, debido esta vez a la diferente extensión areal de las anomalías. Las directrices magnéticas siguen siendo subparalelas a los accidentes principales.

Tanto Duarte como Tireo son zonas magmáticas de magnetismo parecido: existen áreas fuertemente ferromagnéticas, y la estructuración general es similar (figuras 2 y 3), con cambios patentes según y a través de la dirección geológica dominante. En Tireo las anomalías magnéticas son algo menos extensas y de fuente menos masiva; las mayores longitudes de onda se concentran en su parte central, mientras que estas longitudes son menores en los extremos, con anomalías muy bien estructuradas (elongadas y subparalelas), lo cual parece reflejar mayor abundancia de rocas intrusivas en el centro, frente a masas de rocas volcánicas preponderantes hacia los extremos NO y SE de este terreno. En Duarte las anomalías más

extensas se distribuyen más homogéneamente, mientras que los materiales metavolcánicos o volcanosedimentarios van siendo menos magnéticos hacia el sureste.

- Al SO de SJRFZ, hasta LPSJFZ el terreno Peralta es una zona magnética de transición, con dominio de los materiales paramagnéticos. Al NO de TR1 los gradientes son suaves y las profundidades del techo de las fuentes son casi kilométricas (PE1). Al SE de TR1 ocurre una zona de mínimo magnético perturbada por anomalías de muy pequeña longitud de onda relacionadas con rocas volcánicas intermedias (lutitas, traquiandesitas) neógenas. Al SE de la discontinuidad TR2, en Peralta y los terrenos más suroccidentales de la Isla que también exhiben perturbaciones magnéticas asociadas con manifestaciones volcánicas recientes, ocurren anomalías de gran longitud de onda causadas por el denominado Indenter de Beata (PE2).
- Al SO de Peralta, la cuenca de San Juan es para-

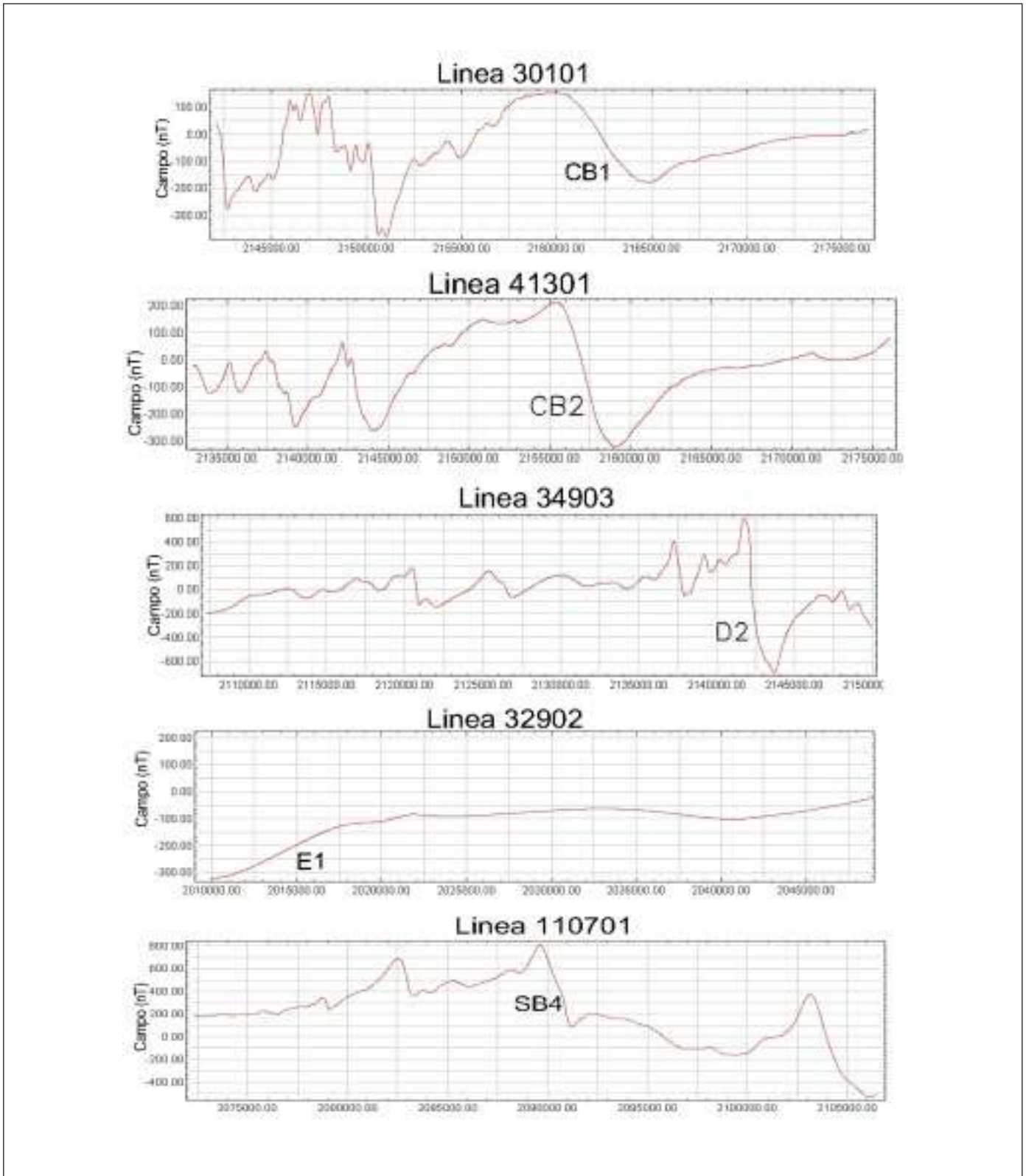


Fig. 7. Ejemplos de perfiles magnéticos de campo total residual de la República Dominicana (Abcisa: coordenadas UTM Y. Etiquetas: anomalías interpretadas)
Fig. 7. Magnetic profiles examples of the Dominican Republic residual magnetic field (Abcises: Y UTM coordinate. Labels: interpreted anomalies)

magnética, aunque también existen manifestaciones volcánicas que producen un campo magnético activo. En San Juan ocurre una transición magnética muy similar a la de Peralta: suaves gradientes con anomalías a profundidad kilométrica (SJ1) al NO (donde basaltos alcalinos cuaternarios parecen ser los causantes de las anomalías; el aspecto de éstas indica una instalación profunda de la masa basáltica); zona de mínimo con volcanitas intermedias en el SE, hasta el Indenter de Beata. En la Sierra de Neiba continúa la transición desde los máximos de la Cordillera Central hacia el mínimo de la Cuenca de Enriquillo, pero las anomalías son más someras (N1 a N7; la mayor parte de estas anomalías se relacionan con andesitas y basaltos terciarios).

- En el extremo SO de la Isla, la cuenca de Enriquillo y Sierra de Bahoruco muestran una importante compartimentación NE-SO además de la general NO-SE de toda la isla. El accidente EPGFZ (zona de falla de Enriquillo-Plantain Garden) se puede extender hacia el Este en toda la extensión del mapa magnético de la isla. La cuenca de Enriquillo es paramagnética, exhibiendo el mayor mínimo de toda la Isla (figura 2, con una interesante y extensa anomalía, E1, de origen profundo, tabla I). La Sierra de Bahoruco también está segmentada en dos zonas, la occidental con anomalías NO-SE (BA1), y la oriental con anomalías someras (BA2-BA3; probablemente, basaltos y gabros no cartografiados) comprendidas entre las discontinuidades TR1 y TR2. TR2 es el límite Oeste del Indenter de Beata, que insinúa una respuesta magnética muy masiva.

Las discontinuidades NE-SO más importantes se marcan a trazo fino en la figura 2; sólo se etiquetan las dos que se consideran más importantes, es decir, las zonas de fractura TR1 y TR2, a través de las cuales: 1) los ejes magnéticos giran en general al SE, y 2) Se produce un cambio de carácter magnético en casi todos los terrenos de la Isla; lo que ya se había mencionado más arriba.

Las profundidades obtenidas por el método de deconvolución de Euler correspondientes a un índice $n=1$ se han trasladado a la figura 6. En el histograma de esta figura se observa una moda próxima a los 500 m. En general las soluciones son someras en las áreas magnéticas de la isla, mientras que existen anomalías ubicadas a profundidades kilométricas en áreas de relleno como las cuencas de El Cibao (anomalías CB1-CB2-CB3, tabla I), o Enriquillo (anomalías E1, sur y norte, tabla I). También en general, las soluciones se ajustan a la disposición geométrica de las discon-

tinuidades principales de la isla, con variaciones de profundidad importantes a lo largo de las mismas (v.g., según HFZ o SJRFZ, en función de la cobertera existente sobre los materiales magnéticos, lo que puede ser una indicación del papel jugado por las discontinuidades transversales).

Obsérvese que en áreas de magnetismo muy activo, con anomalías de pequeña longitud de onda, como D1, T1, T2 y zona al SE de SB4 no existen apenas soluciones de Euler, lo que simplemente indica que las masas magnéticas son aflorantes.

Se ha tomado 300 m como altura media de referencia del vuelo, lo que no deja de ser una aproximación grosera en una isla del relieve de La Española (tabla I). Por tanto, si tenemos en cuenta que las profundidades de Euler son sensibles a una serie de factores intrínsecos del método (índice, tamaño de la celda y ventana de deconvolución, criterios de aceptación de soluciones; Reid *et al.*, 1990), y consideramos además los probables efectos topográficos ubicuos en La Española, resultan una serie de incertidumbres acerca de la verosimilitud de dichas profundidades, por lo que conviene compararlas con los resultados de otros métodos, v.g., modelos 2D (que son costosos de confeccionar) o profundidades gráficas (que son mucho más rápidas y sencillas de obtener). Estas últimas se determinan según la extensión ($e=Y_f-Y_i$, tabla I) de la línea de máxima pendiente de la anomalía, siendo la profundidad esta distancia dividida por 0.75 para placas (anchura entre puntos de inflexión de la anomalía $> 3e$) ó 0.6 para diques (anchura $< 3e$. Spector y Lawler, 1995).

En la tabla I adjunta se observa que las profundidades de Euler y gráficas son comparables en general (considérense los cambios de gradiente entre perfiles), con las soluciones de Euler tendiendo a ser algo más someras con el índice $n=1$, salvo dos casos. Las mayores discrepancias se derivan de la incapacidad del método de Euler de encontrar soluciones más profundas que el tamaño de la ventana de deconvolución utilizada (de 2.5 km, histograma de la figura 6). Los perfiles usados en la interpretación gráfica se reúnen en la figura 7 (su posición aparece en la figura 2).

Toda la estructuración y zonación magnética principal, ya descrita, de la República Dominicana queda muy bien reflejada tanto en el mapa de gradiente vertical (figura 3), como en su modelo digital del terreno (figura 1a), al venir éste determinado por los accidentes geológicos principales de la isla. Los efectos topográficos sobre el campo magnético deben tender a mejorar el contraste de respuestas entre las cuencas metasedimentarias y los

terrenos magmáticos, dada la mayor elevación de estos últimos. Estos efectos deben tenerse en cuenta en el análisis de los resultados de la deconvolución de Euler como se acaba de mencionar.

Mapa radiométrico ternario de la República Dominicana

Los rasgos generales relativos a la expresión gamma natural de las principales unidades geológicas según la imagen radiométrica ternaria de la República Dominicana (figura 8) son los siguientes:

- Cordillera Septentrional-Península de Samaná (Samaná, Puerto Plata-Pedro García-Río San Juan y Altamira)

En Altamira, en el norte-noroeste de la isla, las firmas radiométricas muestran zonas saturadas en los tres elementos radiactivos (S), principalmente en el área más occidental (Grupo Mamey). Se trata de una de las partes más radiactivas de toda la isla, correspondiendo con una unidad flyschóide compuesta por areniscas, margas, argilitas y conglomerados. Más hacia el Este aparecen firmas de Th+U con los característicos tonos verdes, relacionados en este caso con depósitos cuaternarios cal-

cáreos; estos tonos se encuentran mezclados con otros más potásicos que reflejan la existencia de materiales detríticos. Tonos blanquecinos que representan ausencia de radiación (etiqueta B, figura 8) se sitúan sobre unos cuerpos gabroideos en la región Puerto Plata-Pedro García-Río San Juan. Ya en la península de Samaná las firmas radiométricas son de nuevo de Th+U, más intensas.

- Cordillera Central (Terrenos Duarte y Tireo) Aunque existen muchas áreas con ausencia de información puede señalarse que la Cordillera Central es la parte menos radiactiva de la isla. La tendencia general consiste, a "grosso modo", en que los máximos radiométricos vengán a situarse sobre los afloramientos de rocas ígneas intrusivas intermedio-ácidas (tonalitas), si bien dichos afloramientos contienen áreas de menor radiación. Estas áreas pueden indicar que nos encontramos ante macizos intrusivos complejos (espectro litológico híbrido, v. g., tonalita de Lama-Cabrera; detalle en figura 9a). Las rocas básicas intrusivas (gabros/piroxenitas) son las de menor radiación en la Cordillera (B en figura 9a), junto con las volcánitas básicas (o rocas metamórficas como esquistos y anfibolitas de protolito ígneo básico): todos

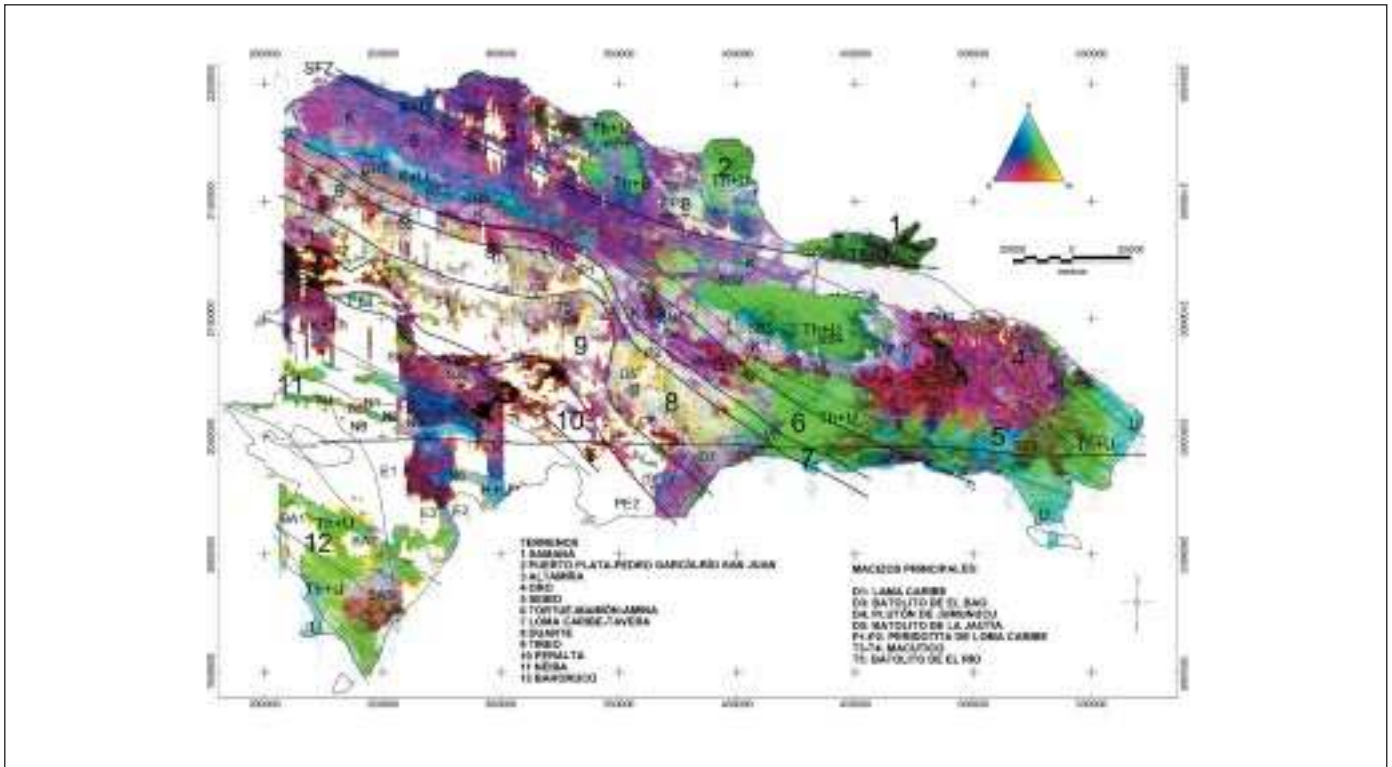


Fig. 8. Mapa radiométrico ternario de la República Dominicana
Fig. 8. Ternary radiometric map of the Dominican Republic

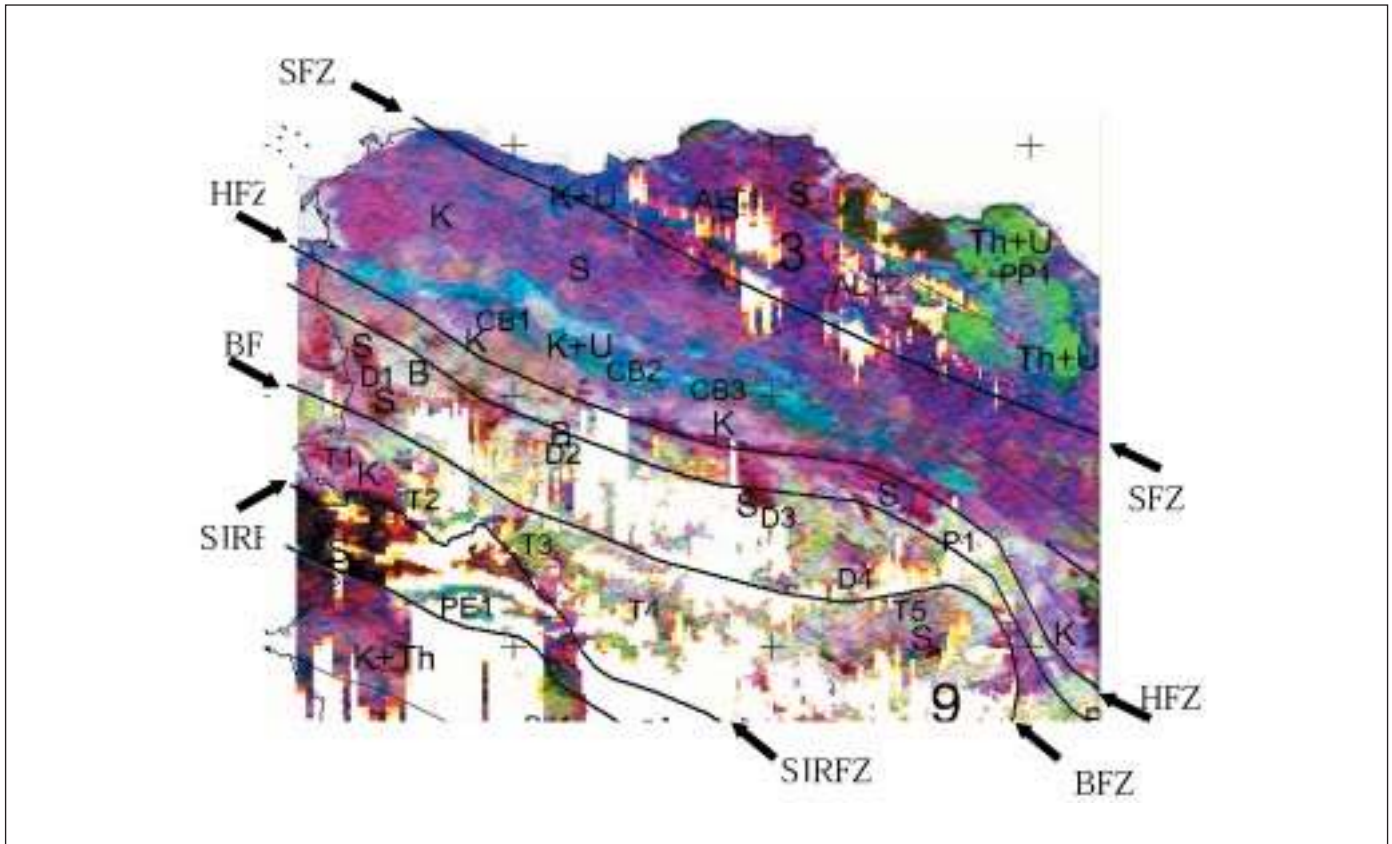


Fig. 9a. Detalle del mapa radiométrico ternario en la Cordillera Septentrional (CS) y Valle del Cibao (VC). SFZ: Falla Septentrional; HFZ: Falla de La Española; BFZ: Falla de Bonaio; SJRFZ: Falla de San José-Restauración
 Fig. 9a. Radiometric ternary map of the Cordillera Septentrional mountain range (CS) and Cibao Valley (VC). SFZ: Septentrional Fault Zone; HFZ: La Hispaniola Fault Zone; BFZ: Bonaio Fault Zone; SJRFZ: San José-Restauración Fault Zone

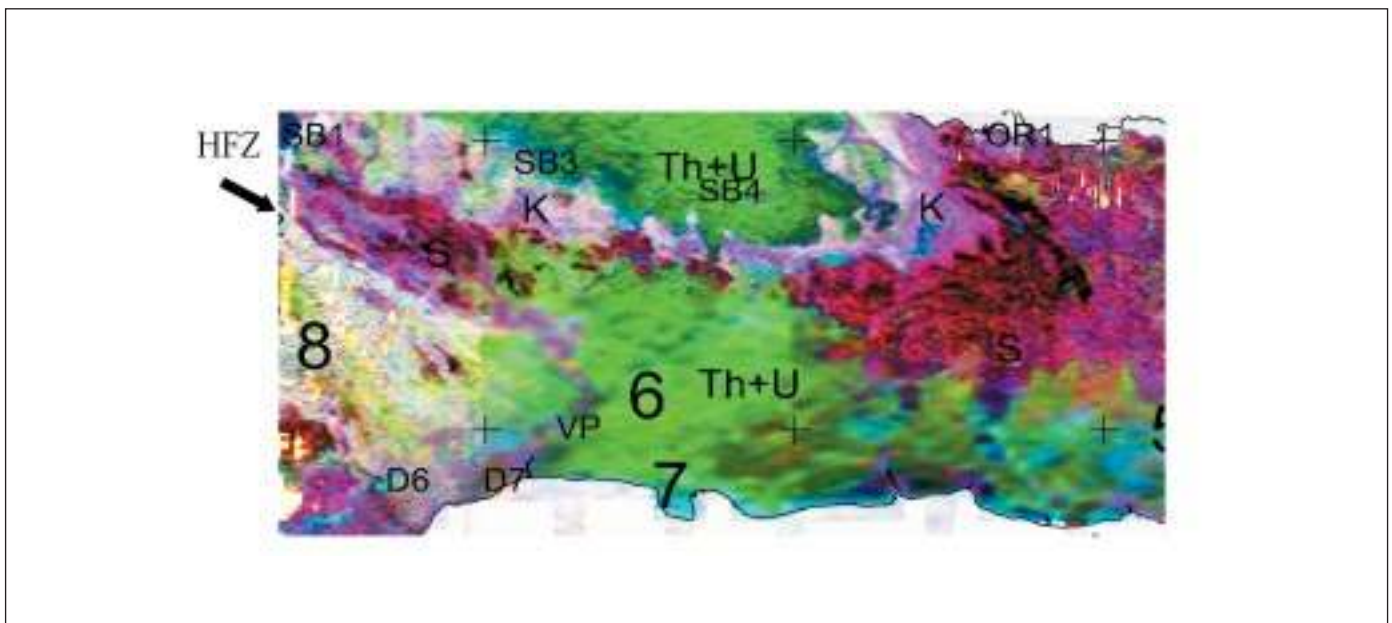


Fig. 9b. Idem en Seibo y Oro. HFZ: Zona de Falla de La Española. Descripción de siglas en el texto
 Fig. 9b. Idem in Seibo and Oro Terrains. HFZ: La Hispaniola Fault Zone. See text for details

estos materiales parecen relativamente abundantes en Duarte, mientras que el volcanismo ácido de alta emisión muestra una expresión más bien restringida en este terreno. La impresión es que Tireo es más radiactivo que Duarte, precisamente al ser más predominante el volcanismo ácido. En Tireo las masas tonalíticas ofrecen también respuestas radiométricas complejas, de alta y baja intensidad, es decir, provenientes de un espectro litológico amplio.

- Borde Norte y Este de la Cordillera Central (Amina, Cuenca del Cibao al NO, y faja antearco al SE)
Inmediatamente al NE de la fractura HFZ, los esquistos de Amina exhiben respuestas potásicas de intensidad intermedia que se siguen de manera discontinua en todo el frente de HFZ (K en figura 9a). Este aspecto discontinuo se debe a la inserción de firmas ya de mayor intensidad (S, conglomerados), o de baja radiación (rocas metamórficas de protolito básico).
En el extremo noroeste, la Cuenca del Cibao es una zona en general de radiación intermedia-alta en el contexto de la isla. De sur a norte aparece primero una emisión de K+U instalada sobre sedimentos limoso-areníticos neógenos, si bien los contornos de estas respuestas no parecen coincidir con los de las diversas cartografías disponibles. Insertas ocurren áreas de menor (calizas) y mayor radiación (heterogeneidades diversas). Más al norte, la radiactividad aumenta apareciendo tonos de K+Th y saturados (depósitos deltaicos).
En el extremo sureste (Seibo) la radiometría ofrece señales dispuestas en tres fajas: la norte y la sur provienen de macizos calcáreos terrígenos. La señal emitida es muy homogénea de U+Th (figura 9b). Unas calizas limpias deberían presentar un nivel de emisión mucho más bajo, por lo que la radiometría confirma el carácter detrítico de las calizas arrecifales, como se ha indicado anteriormente. La faja central es la más interesante, correspondiendo a todo el terreno volcano-sedimentario de la cuenca antearco (Fms. Los Ranchos, Guajabas, Río Chavón, etc). Esta faja central muestra a su vez una estructuración en tres áreas bien diferenciadas de radiactividad creciente: área norte, circundante de las calizas, con respuestas de baja intensidad que recuerdan las de los macizos ígneos intermedios y básicos de la Cordillera Central (Fm. Los Ranchos: espilitas y basaltos), área intermedia donde rocas (volcánicas) más ácidas con respuestas potásicas (K) deben ser abundantes (interrumpidas por calizas con señal de K+U), y finalmente, área sur-sureste donde la radiación es máxima (tonos saturados S

y de K+Th; formaciones volcano-detríticas) y las anomalías radiométricas adoptan una disposición muy similar a la de las magnéticas, reflejando la existencia de pliegues de distinto radio, cada vez más pequeño en el tránsito de los terrenos Seibo a Oro. Estos niveles radiactivos y estructuras geométricas indican que aquí debe contarse con la aparición de rocas epiclásticas como responsables de este tipo de señal.

- Borde Suroeste de la Cordillera Central (Peralta, S. Juan y Neiba)
Peralta y San Juan están entre las áreas de mayor radiactividad de la isla. Se observa en la imagen radiométrica los tonos saturados relacionados usualmente con materiales tipo flysh. En Peralta las respuestas son demasiado elevadas como para tratarse de areniscas (¿sobrecorrección de altura?).
El relleno de cuenca en San Juan es similar al de Cibao, quizás algo más radiactivo: existen respuestas de K+Th, K+U y saturadas, es posible que se puedan hacer algunas rectificaciones de las cartografías disponibles.
En la zona axial de la Sierra de Neiba ocurre una banda de respuestas de Th+U emitidas por materiales calcáreos, mezcladas con tonos débiles de potasio provenientes de rocas volcano-sedimentarias. Al Este, las señales son elevadas, nuevamente de K+U y K+Th. En la cuenca de Enriquillo apenas existe registro radiométrico. En la zona de Bahoruco los tonos verdes de Th+U indican también composición calcárea. Al sureste de esta zona existe otra de potasio que se corresponde a unas calizas en bancos oligo-miocenas. Firmas de U aparecen en el límite más occidental de todo este borde.
En resumen, puede establecerse una macrozonación radiométrica de la República Dominicana en los siguientes términos:
 - Zonas de máximos radiométricos (saturadas, S). Corresponden a sedimentos lutíticos, ya cuaternarios, ya pertenecientes a las cuencas de flysch ante y trasera de arco, y a unidades volcano-detríticas del extremo oriental de la Isla.
 - Zonas de mínimos radiactivos (B). Rocas ultrabásicas, serpentinitas. Rocas básicas intrusivas (gabros) y extrusivas (basaltos, espilitas). Metamorfitas de protolito ígneo básico (esquistos y anfibolitas). Todas estas zonas de mínimo son abundantes en la Cordillera Central, especialmente en Duarte y Loma-Caribe.
 - Zonas intermedias: corresponden con tonos de K y de U+Th. Una característica típica de la Isla son las amplias áreas con respuestas de U+Th producidas

por masas calcáreas. La emisión potásica es generada por un amplio espectro de rocas intermedio-ácidas, volcánicas (riolitas-dacitas) e intrusivas (tonalitas).

Conclusiones

El magnetismo de la República Dominicana se caracteriza por presentar:

- Una clarísima estructuración en bandas NO-SE: la división de terrenos de la isla queda perfectamente delimitada en las imágenes magnéticas.
- Fuertes anomalías debidas a un magmatismo ubicuo en toda la isla. Las intensidades y gradientes magnéticos son máximos no sólo en las zonas donde este magmatismo es aflorante, sino también en otras áreas cubiertas por sedimentos fluvio-marinos lo que indica su proximidad a la superficie. Desde el punto de vista de susceptibilidad magnética se observa inmediatamente que se trata de un magmatismo bimodal con zonas magnéticas y paramagnéticas en cualquiera de las intrusiones mayores (Lama Cabrera, Macutico, etc.) y ejes volcánicos principales de la isla.
- Una serie de accidentes magnéticos mayores muy nítidos de esa dirección, NO-SE, según las cizallas que limitan tales terrenos. Es preciso destacar que la imagen magnética de la República Dominicana permite un trazado y prolongación sin apenas ambigüedades de la mayor parte de estas cizallas. En disposición subparalela a la de los accidentes principales, existe un numerosísimo cortejo de directrices magnéticas de menor entidad perfectamente apreciable en la imagen de gradiente, que además ofrece una cartografía de excelente calidad de las formaciones volcano-sedimentarias en muchas áreas de la isla.
- Un importante conjunto de discontinuidades magnéticas NE-SO, complementarias de las anteriores, entre las que destacan dos centrales, a través de las cuales tanto la intensidad del campo como las tendencias magnéticas NO-SE sufren claras modificaciones (inflexiones, interrupciones).

En general las profundidades de emplazamiento de las fuentes que producen las anomalías magnéticas son someras (hectométricas) en las áreas magnéticas de la isla, mientras que existen anomalías producidas por masas ubicadas a profundidades kilométricas en áreas de relleno como las cuencas de El Cibao, Azua, y Enriquillo.

La interpretación de los mapas magnético y radiométrico de la República Dominicana constituye un espectacular ejemplo de delimitación megaestructural (hectakilométrica) de un área magnética activa, ofreciendo también excelentes casos de cartografía

estructural a nivel de mesoescala (kilo-decakilométrica), como son pliegues y fallas de todo tipo que afectan a formaciones volcanosedimentarias.

Por tanto, a pesar de que no se trata de un vuelo de alta resolución y de las abundantes áreas con pérdida de señal radiométrica por altura de vuelo excesiva, existen buenas posibilidades para complementar la cartografía geológica general de la isla con los datos aeroportados (respecto al magnetismo, siempre con la limitación fundamental de la bimodalidad de susceptibilidades característica de la mayoría de las rocas, que hace que los límites magnéticos no coincidan en muchas ocasiones con límites cartográficos). En general, el mapa de gradiente magnético vertical presenta una gran capacidad resolutive en amplias zonas de la isla, con ejemplos académicos de cartografía estructural, de modo que en tales zonas el uso conjunto del mapa de gradiente y ternario se convierte en una herramienta cartográfica de primer orden.

Referencias

- Draper, G. y Gutiérrez-Alonso, G., 1996. La estructura del Cinturón de Maimón en la isla de La Española y sus implicaciones geodinámicas. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 10: 281-299.
- García Lobón, J. L., y Rey Moral, C., 2002a. Proyecto "K" de cartografía geotemática de la República Dominicana: informe de interpretación de la geofísica aeroportada, 47 p. Fondo documental del IGME.
- García Lobón, J. L., y Rey Moral, C., 2002b. Proyecto "L" de cartografía geotemática de la República Dominicana: informe de interpretación de la geofísica aeroportada, 57 p. Fondo documental del IGME.
- Lewis, J.F., Escuder Viruete, J., Hernáiz Huerta, P.P., Gutiérrez, G., Draper, G. y Pérez-Estaún, A., 2002. Subdivisión geoquímica del Arco Isla Circum Caribeño, Cordillera Central Dominicana: Implicaciones para la formación, acreción y crecimiento cortical en un ambiente intraoceánico. *Acta Geológica Hispánica* 37: 81-122.
- Mann, P., Draper, G., and Lewis, J.F., 1991. An overview of the geologic and tectonic development of Española. In P. Mann, G. Draper, J.F. Lewis (eds.). *Geologic and Tectonic Development of the North America-Caribbean Plate Boundary in Española*. Geological Society of America Special Paper, 262 p.
- Reid, A.B., Allsop J.M., Granser, H., Millet, A.J. and Somerton, I.W., 1990. Magnetic interpretation in 3D using Euler deconvolution. *Geophysics* 55: 807-91
- Spector, A., and Lawler, T. L., 1995. Application of aeromagnetic data to mineral potential evaluation in Minnesota. *Geophysics* 60: 1704-1714.

Recibido: Diciembre 2002

Aceptado: Junio 2003