

Cinturón Deformado de Los Muertos (Noreste de la Placa Caribe): Análisis Morfotectónico y Procesos Activos.

The Muertos Deformed Belt (North-eastern Caribbean Plate): Morphotectonic Analysis and Active Processes.

Granja, J. L.⁽¹⁾, Carbó, A.⁽¹⁾, Muñoz-Martín, A.⁽¹⁾ & Ballesteros, M. G.⁽²⁾

⁽¹⁾Departamento de Geodinámica. Universidad Complutense de Madrid. C/Jose Antonio Novais, s/n, 28040, Madrid, Spain. jlgranja@geo.ucm.es

⁽²⁾Instituto Español de Oceanografía, Corazón de María, 8, 28002, Madrid, Spain.

SUMMARY

The Muertos Deformed Belt (MDB) is a tectonic feature located within the Northeastern Caribbean Plate Boundary Zone. This deformed belt is occupying a broad band of active compression regime with an east-west trend along the south of Hispaniola and Puerto Rico islands. In our survey area, the deformed belt is limited to the south by the Muertos Trough (>5500 m depth), where the Venezuelan Basin oceanic crust is being underthrust beneath western Puerto Rico and eastern Hispaniola areas.

Here, we present the morphotectonic interpretation from the multibeam systematic survey in Muertos Deformed Belt area (from GEOPRICO-DO marine geophysical survey (2005)) and the relationship with seismicity and kinematic data (GPS). Active deformation features have been widely found in the area from bathymetry model and Chirp sub-bottom seismic profiles (TOPAS). These features include: folded and faulted recent sediments (Holocene), submarine landslides scars associated with faults (tsunamogenic potential) and submarine canyons deflected by fault traces. All these features are well preserved and show a little erosion. Future works will integrate potential field data and deep seismic data, which will allow us to elaborate complete tectonic models for this active and complex plate boundary.

1. INTRODUCCIÓN

En los meses de marzo y abril de 2005 se ha llevado a cabo la campaña de geología y geofísica marina GEOPRICO en aguas de Puerto Rico y República Dominicana. En dicha campaña se adquirieron datos con diversas técnicas geofísicas y entre ellas se realizó un levantamiento sistemático de batimetría multihaz al sur de Puerto Rico y República Dominicana. En este trabajo se realiza un análisis morfotectónico general del cinturón de deformación de los Muertos (MDB) a partir de la batimetría multihaz, con apoyo de datos de sismica de alta resolución (TOPAS), sismica de reflexión multicanal, geodésicos y sismológicos.

2. CONTEXTO TECTÓNICO

La esquina NE de la placa Caribe (PC) presenta un complejo y activo límite, como siguen poniendo de manifiesto los últimos estudios (*ten Brink et al*, 2004; *Grindlay et al*, 2005; *Carbó et al*, 2005) (Figura 1). En la zona comprendida desde La Española hasta las Antillas Menores se han propuesto varios modelos tectónicos, pero ninguno de ellos resuelve la totalidad de los procesos tectónicos involucrados. El modelo neotectónico más aceptado propone que dentro este borde de placas ancho y difuso se produce una tectónica en microplacas o bloques tectónicos (*Byrne et al*, 1985; *Manson & Scanlon*, 1991; *Jansma et al*, 2000) (Figura 1). En nuestra zona de interés tendríamos la microplaca de La Española y el bloque de Puerto Rico- Islas Vírgenes, con un límite localizado en el Paso de Mona (*Jansma et al*, 2000) (Figura 1). Los límites entre las distintas microplacas no siempre están bien determinados, bien por falta de datos o por que se trata de límites difusos o transicionales.

Como elementos tectónicos principales cabe destacar la Fosa de Puerto Rico (>8300 m) donde se produce la subducción oblicua de la placa Norteamericana (PN) debajo de la PC, la Fosa de los Muertos (MT) donde se produce la subducción incipiente de la corteza oceánica de la Cuenca de Venezuela (CV) debajo de La Española y Puerto Rico, la cresta asísmica de Beata, la zona transensiva de Anegada y el *Rift* de Mona (Figura 1).

El cinturón deformado de Los Muertos (MDB) se origina como consecuencia de la subducción incipiente o el *infracabalgamiento* de la corteza oceánica de la CV debajo del arco-isla a la altura de La Española y Puerto Rico (Figura 1). Tal

proceso está limitado al E por la Cresta de Aves y al O por la Zona de Falla de Enriquillo. Este cambio en el estado de esfuerzos se origina como consecuencia de la indentación de la Cresta de Beata hacia el NE en la isla de La Española (Figura 1), dicha cresta es un cuerpo transversal al arco que se comporta de cómo un bloque más rígido frente a la deformación y afecta a la estructura general produciendo un cambio en el estado tensional local.

Dentro del MDB caben destacar los siguientes elementos estructurales (Figura 1): Cuenca de San Pedro que sería equivalente a una *backarc basin*, los *rifts* de Yuma y Desecheo situados a ambos lados de la isla de Mona y con una cinemática desconocida (Figura 1).

Aunque en el N del Paso de Mona el límite entre la microplaca de La Española y el bloque de Puerto Rico- Islas Vírgenes se sitúa en el sistema de *rifts* de Mona (Figura 1), donde a partir de datos estratigráficos se ha estimado una tasa de apertura de 5mm/año, en la parte S no está tan definido. En el sur las principales estructuras son los *rifts* de Yuma y Desecheo con actividad y cinemática desconocidas hasta el momento. *Carbó et al* (2005) sugieren que el límite entre las ambas microplacas al sur del Paso de Mona se produce de forma transicional o difusa.

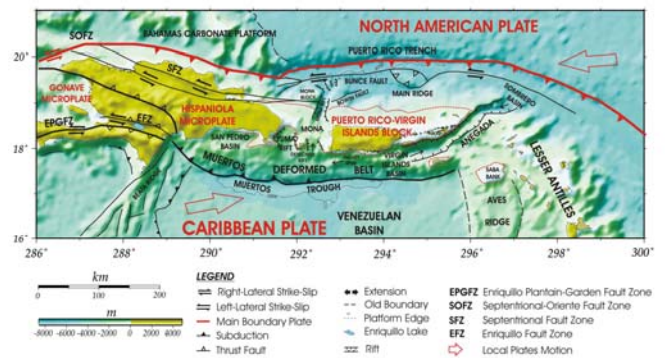


Figura 1: Síntesis del contexto tectónico general adaptada de Mann et al, 2002 (General Tectonic Setting modified from Mann et al, 2002)

3. DATOS UTILIZADOS

En ese estudio se han utilizado:

-Datos geodésicos a partir de GPS (Jansma et al, 2000; Mann et al, 2002; Calais et al, 2002).

-Datos sismológicos proporcionados por la Red Sísmica de Puerto Rico y por el Instituto Sismológico Universitario (Universidad Autónoma de Santo Domingo).

-Datos de mecanismos focales del área de estudio proporcionados por el Catálogo de Harvard (Diezewoski et al, 1983)

-Datos de batimetría multihaz y sísmica de alta resolución adquiridos durante la campaña de geofísica marina GEOPRICO (Figura 2). Los datos de batimetría multihaz se adquirieron mediante la ecosonda EM-120 y los datos de sísmica de alta resolución mediante la sonda paramétrica TOPAS PS18. Durante la campaña se realizó un levantamiento sistemático de batimetría multihaz al S de República Dominicana y Puerto Rico, con una cobertura del 100% del fondo oceánico y una adquisición de perfiles de sísmica de alta resolución (TOPAS) a lo largo de las líneas de navegación.

-Datos de sísmica de reflexión multicanal de las campañas EW9501 proporcionados por el Institute for Geophysics (Paul Mann) (Figura 2).

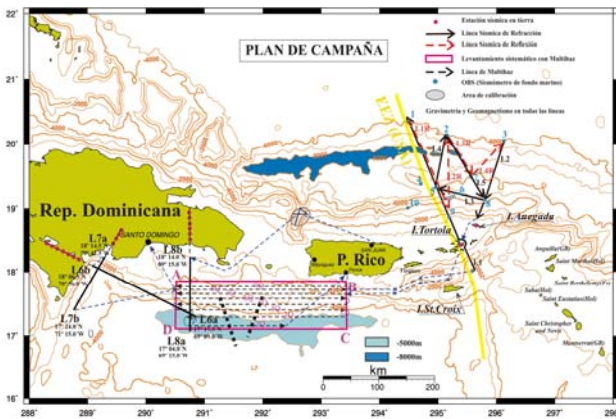


Figura 2: Plan de campaña Geoprico (2005). El rectángulo indica la zona de levantamiento sistemático de multihaz. Localización de los perfiles de sísmica multicanal (Líneas de puntos). (GEOPRICO Survey Plan. Pink box shows the multibeam systematic survey. Location of multichannel seismic profiles. Dotted lines).

4. RESULTADOS.

Durante los años noventa se llevaron a cabo investigaciones geodésicas mediante GPS (Global Positioning System) para intentar aclarar la cinemática local de placas. La mejora y densificaron las redes de GPS durante el periodo de adquisición dio lugar a unos resultados que constriñen los movimientos de placas locales y apoyan un modelo neotectónico de microplacas y bloques tectónicos (Jansma et al, 2000; Mann et al, 2002; Calais et al, 2002) (Figura 3).

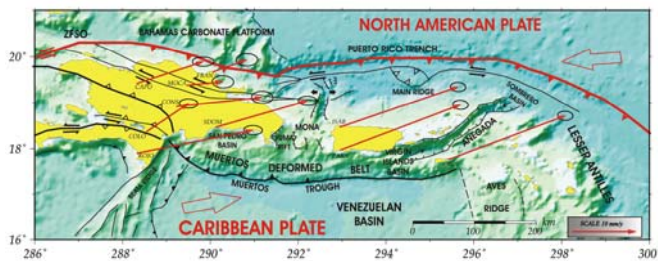


Figura 3: Comparación entre las velocidades GPS del NE de la PC respecto a la PN fija (Adaptado de Mann et al, 2002). Para el periodo desde 1994 hasta 1999. La longitud de la flecha es proporcional a la magnitud del desplazamiento (ver escala gráfica). Las elipses indican el 95% de confianza en las medidas. (This figure shows the comparison of observed GPS velocities for northeastern Caribbean sites relative to stable North American Plate (Modified from Mann et al, 2002). The measurements span the period time 1994-1999.

The arrow length is proportional to the displacement rate (see graphic scale inset box). The ellipses represent 95% confidence intervals).

Actualmente el bloque de Puerto Rico- Islas Vírgenes se mueve en dirección N70°E a una velocidad 19-20 mm/año respecto a la PN, lo cual es coherente con el movimiento intraplaca de la PC. Sin embargo los datos tomados en La Española presentan un movimiento diferente tanto en dirección como en magnitud con respecto al bloque de Puerto Rico- Islas Vírgenes (Figura 3). La microplaca de La Española se mueve N80°E y mucho más lenta 4-17mm/año con respecto a la PN, esto es interpretado consecuencia del choque contra los bancos de las Bahamas, los cuales funcionan como una aspereza tectónica e impiden el proceso de subducción frenando el movimiento hacia el E de la microplaca (Mann et al, 2002). Luego el límite entre ambas unidades debe estar situado en el Paso de Mona (Figura 1). En esta zona, en la parte norte del arco se ha identificado un sistema de rifts con una tasa de apertura de 5 mm/año que estaría acomodando el movimiento diferencial entre ambas microplacas. Hacia el sur la cosa no se muestra tan clara ya que no aparecen grandes estructuras capaces de acomodar tal movimiento diferencial. Aquí aparecen los rifts de Yuma y de Desecheo con una cinemática desconocida (Grindlay et al, 1997). Se cree que el movimiento diferencial se acomoda mediante el relevo de pequeñas estructuras (Carbó et al, 2005).

Los diferentes modelos basados en los datos GPS (Jansma et al, 2000; Mann et al, 2002; Calais et al, 2002) dan una tasa de convergencia máxima de 3 mm/año para la MT al S de La Española con respecto a la PN. El acortamiento disminuiría hacia el este hasta desaparecer a la altura de St. Croix (Manson & Scanlon, 1991).

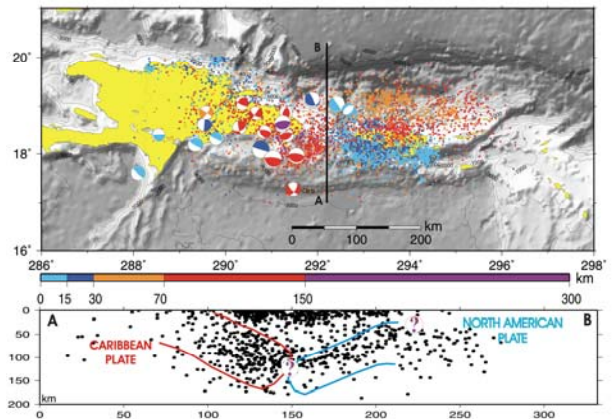


Figura 4: Representación de terremotos registrados por la Red Sísmica de Puerto Rico y el Instituto Sismológico Universitario-Universidad Autónoma de Santo Domingo (Rep. Dominicana). Se han filtrado según RMS<1.5, Error Hz <10 Km y Error V <20 Km. Mecanismos focales del Catálogo de Harvard (2005). El color representa diferentes profundidades (ver escala gráfica). En la figura inferior se muestra una sección A-B de los hipocentros de terremotos. Los eventos utilizados corresponden con un área rectangular de 50 Km a cada lado de la sección. Se han indicado las partes que subducen de ambas placas (Dolan et al, 1998). (In this figure are plotted a compilation of earthquakes recorded by Puerto Rico Seismic Network and Instituto Sismológico Universitario-Universidad Autónoma de S. Domingo (Dominican Rep.) [RMS<1.5, Horizontal error <10 Km and Vertical error <20 Km] and the focal mechanism by Harvard Catalogue (2005). The colour code represent different focal depths (see graphic scale). The lower figure shows a cross-section A-B of plots of earthquakes hypocenters. The utilized earthquakes corresponds an area of 50 Km to every side of the section. The Southward descending North American slab (blue) and the Northward descending Caribbean slab (red) are indicated (Dolan et al, 1998).

Existen claras evidencias de subducción incipiente o infracabalgamiento de la corteza oceánica de la CV debajo del arco de islas en la Fosa de los Muertos desde el SE de La Española hasta 65°O (Figura 1). Muchos terremotos entre la costa sur de La Española y la MT están demasiado lejos al sur y son demasiado

someros como para que estén directamente asociados con el proceso de subducción que se está produciendo en la Fosa de Puerto Rico (Figura 4). Luego esos eventos deben estar asociados con un límite activo a lo largo de la MT.

Las soluciones de los mecanismos focales del Catálogo de Harvard en MDB indican fallas inversas con poco buzamiento y desgarras. Huérfano (1995) también calculó componente inversa y sinistral al este del cinturón de deformación (Figura 4).

La corteza oceánica de la PC se está metiendo debajo del arco de islas a la altura de La Española y Puerto Rico (Ladd et al, 1977; Biju-Duval et al, 1982; Byrne et al, 1985), siendo la MT y el CDM los principales rasgos tectónicos de este proceso (Figura 5).

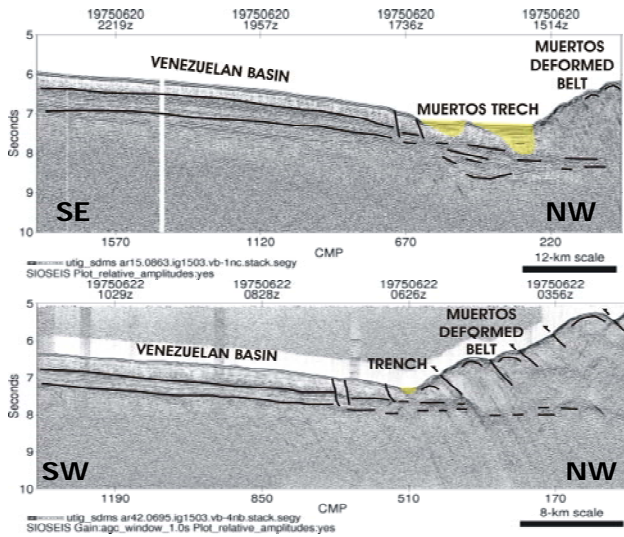


Figura 5: Secciones de sísmica de reflexión multicanal transversales a la MT y al cinturón de deformación. Indicados los reflectores correspondientes a los niveles sedimentarios en la CV y a estructuras dentro del MDB. Ver localización en Figura 2. (Multichannel seismic reflection profiles transverse Muertos Trench and Muertos deformed belt. Different reflectors are indicated. See location in Figure 2.)

Nuestros datos de batimetría multihaz muestran claras

evidencias de una deformación activa dentro del MDB (Figuras 6 y 7). El frente de deformación presenta una tendencia general E-O, pero está mejor definido al oeste del área estudiada. Manson & Scanlon (1991) indicaron que este frente de deformación disminuye en convergencia hacia el este a lo largo de la Fosa de los Muertos y desaparece a los 65°O, a la altura de St. Croix (Fig: 1).

Los datos muestran la MT con profundidades máximas superiores a los 5600 m que se estrecha y hace más somera hacia el E del área de estudio (Figuras 6 y 7). En el área de la fosa aparecen escarpes de falla normal subparalelos al frente de deformación, consecuencia de la flexión de la corteza oceánica de la PC al entrar en la zona de subducción.

En el MDB, los datos de multihaz muestran una ancha banda de alta deformación en la base de la pendiente (Figuras 6 y 7). Esta banda se hace más estrecha hacia el E. Dentro de la banda de deformación identificamos ejes de pliegues muy juntos y con tendencia sub-paralela al límite principal y fallas inversas (Figuras 5, 6 y 7). Las trazas de los ejes de pliegues son muy discontinuas y truncadas. La longitud de onda de los pliegues está 2-4 Km. Estas estructuras presentan poca erosión y dan lugar a una pendiente abrupta y escalonada en la cual se originan pequeñas cuencas que están rellenas de sedimentos turbidíticos (Ladd et al, 1977).

Por encima de la banda de alta deformación aparece una zona basin-and-ridge (alternancia de crestas y cuencas) (Figuras 6 y 7). Presenta una deformación menos intensa, y entre las crestas se desarrollan cuencas rellenas de sedimentos. El perfil de la sonda paramétrica TOPAS (Figura 8) adquirido dentro de una de estas cuencas muestra una deformación activa en los niveles sedimentarios recientes. Aparecen fallas y pliegues que afectan a >150 m (80 milisegundos) de sedimentos. La presencia de discordancias progresivas indica movimientos verticales significativos y sedimentación sintectónica. En esta zona se puede realizar una mejor cartografía estructural, donde se identifican fallas de direcciones NO-SE, NO-SO y E-O.

En toda la zona de estudio son frecuentes las cicatrices de deslizamientos submarinos lo que nos indica una alta inestabilidad en la zona y por lo tanto alta peligrosidad de tsunamis. Es destacable el gran deslizamiento localizado a 292.8° y 17.5N (Figuras 6 y 7), presenta un área desplazada de más 15 Km de ancho que está deformada por fallas. Este deslizamiento presenta en su

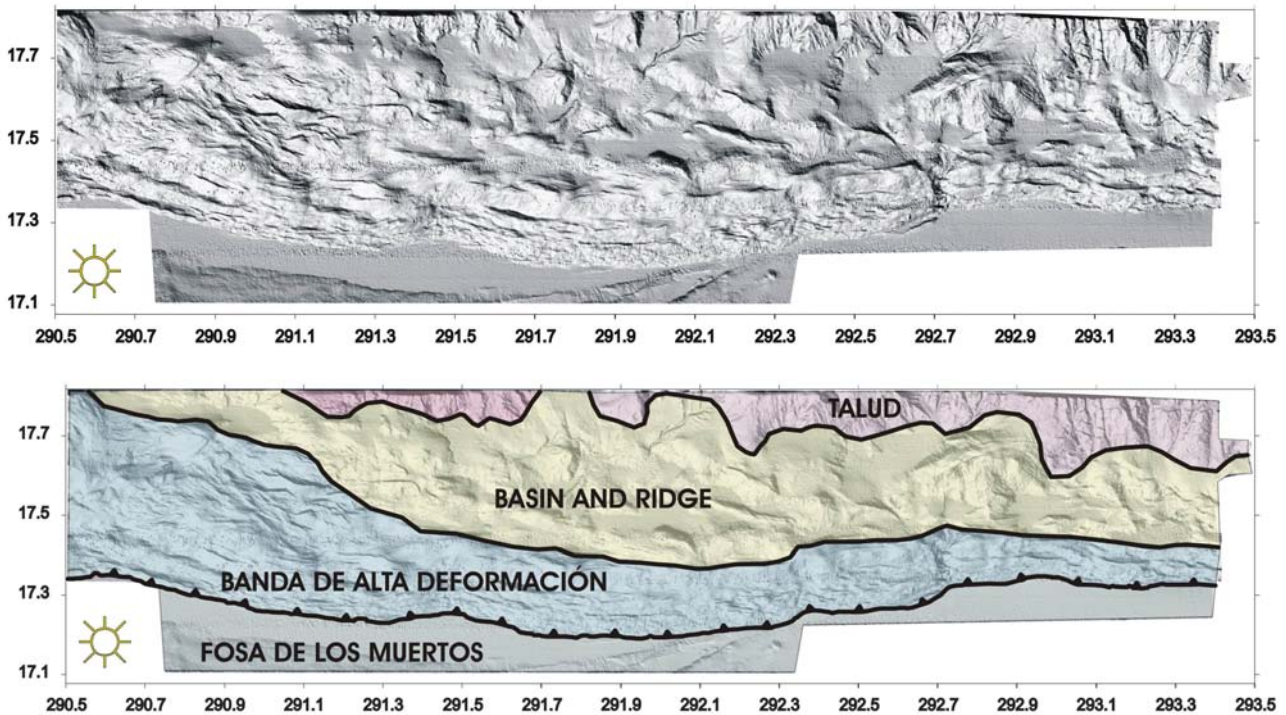


Figura 6: Arriba; Modelo digital a partir de los datos de batimetría multihaz. Interpolación cada 100 m. Iluminación desde el suroeste. Abajo; División en diferentes zonas en función de la tectónica y la batimetría (Up; Digital model from multibeam data. Interpolate each 100 m. Lighting from southwest. Down; Classification in different areas from viewpoint of tectonics and bathymetry).

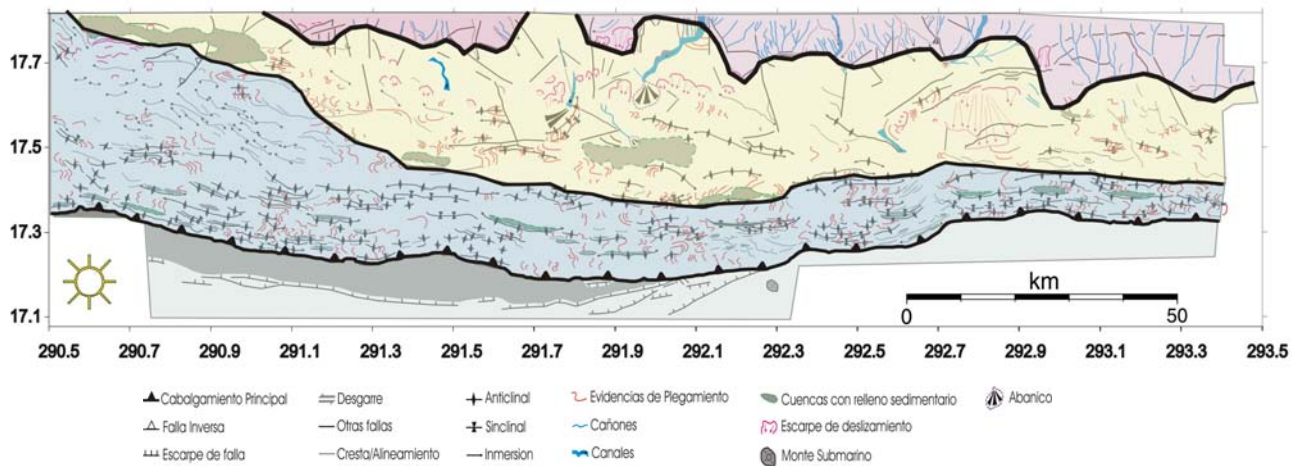


Figura 7: Interpretación morfotectónica de la Fosa y del cinturón deformado de los muertos. (Morphotectonic interpretation of Muertos Trench and Muertos deformed belt).

cabecera una falla de desgare sinistral NE-SO que comienza en la parte baja de la pendiente y continúa por el talud, afectando a los cañones que drenan desde la plataforma carbonática situada sobre el arco de islas. Es reseñable también la presencia de canales, algunos de ellos de gran entidad (>100 m de incisión) que desarrollan grandes abanicos (>5 Km de ancho) (Figuras 6 y 7). Tales canales junto con una densa red de cañones situados en el talud drenan desde la plataforma carbonática situada sobre los materiales volcánicos y metamórficos del basamento del arco-isla.

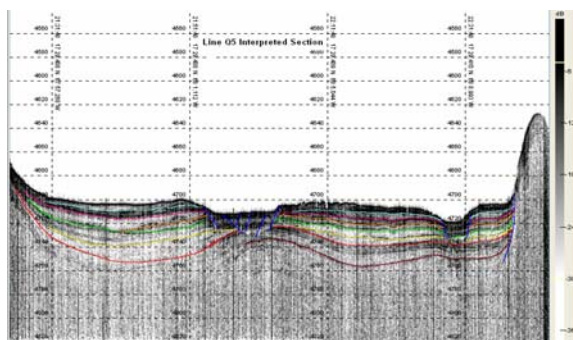


Figura 8: Sección de la sonda paramétrica TOPAS dentro de una cuenca en la zona basin-and-ridge. Ver localización figura 6. (Chirp sub-bottom profile (TOPAS) inside basin-and-ridge area. See location figure 6)

5. CONCLUSIONES

El MCB es el resultado de la convergencia entre la PC y la PN, tal convergencia se resuelve, en la parte O mediante el relevo de pliegues y fallas inversas, y en la parte E además con desgarras sinistral subparalelos al frente de deformación.

El MCB se ha dividido en diferentes áreas según sus características morfotectónicas, tales áreas presentan grandes variaciones laterales, y por lo general presentan un menor desarrollo hacia el E.

Alta actividad tectónica: Fallas y pliegues afectando a sedimentos recientes y provocando alta inestabilidad en la zona. Fallas desplazando cañones submarinos y pies de deslizamientos.

El movimiento diferencial entre la microplaca de la Española y el Bloque de Puerto Rico-Islas Vírgenes en la zona del MDB es acomodado mediante el relevo de estructuras a favor de zonas de transferencia oblicua.

Los datos no llevan a concluir que la zona presenta elevada peligrosidad sísmica y de tsunamis, consecuencia de la inestabilidad creada por la tectónica activa, con fallas aflorando en el lecho marino y deslizamientos cercanos a los núcleos de población.

6. REFERENCIAS:

- Biju-Duval, B; Bizon, G; Mascle, A; Muller, C. (1982). *Active margin processes; field observations in S Hispaniola*. AAPG Mem, 34,325-344.
- Byrne, D.B., Suarez,G., McCann, W.R., (1985). *Muertos Trough subduction, microplate tectonics in the northern Caribbean?. Letters to Nature*. 317: 420-421.
- Calais, E., Mazabraud, Y., Mercier de Lepinay, B., Mann, P., Mattioli, G., Jansma, P., (2002) *Strain partitioning and fault slip rates in the NE Caribbean from GPS measurements*. *Geophysical Research Letters*, 29: 18.
- Carbó, A., Córdoba, D., Martín Dávila, J., ten Brink, U., Herranz, P., Von Hillebrandt, C., Payero, J., Muñoz Martín, A., Pazos, A., Catalán, M., Granja, J. L., Gómez, M. & Geoprico-Do Working Group. (2005). *Morphotectonic analysis of the Muertos Deformed Belt (NE Caribbean)*. Abs. to J. Earth Science Meeting: Thrust Belts and Foreland Basins. 62-63.
- Carbó, A., Córdoba, D., Martín Dávila, J., ten Brink, U., Herranz, P., Von Hillebrandt, C., Payero, J., Muñoz Martín, A., Pazos, A., Catalán, M., Granja, J. L. & Gómez, M. (2005). *Survey Explores Active Tectonics in Northeastern Caribbean*. EOS, Am. Geophys. U. 86 (51): 537,540.
- Dolan, J. F., Mullins, H. T., Wald, D. J., (1998). *Active tectonics of north-central Caribbean: Oblique collision, strain partitioning, and opposing subducted slabs*. *Special Paper, Geological Society of America*, 326:1-62.
- Grindlay, N. R., Hearne, M., Mann, P. (2005). *High risk of tsunami in the northern Caribbean*. Eos, Trans. Amer. Geophys. U. 86(12). 121-126.
- Jansma, P. E., Mattioli, G. S., Lopez, A., DeMets, C., Dixon, T. H., Mann, P., Calais, E., (2000). *Neotectonics of Puerto Rico and the Virgin Islands, NE Caribbean, from GPS geodesy*. *Tectonics*, 19(6):1021-1037.
- Ladd, W. J., Worzel, J. L., Watkins, J. S., (1977). *Multifold seismic reflections records from the northern Venezuela basin and the north slope of muertos trench*. *Marine Science Institute. University of Texas*, 41-56 pp.
- Mann, P., Calais, E., Ruegg, J-C., DeMets, C., Jansma, P. E., (2002). *Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations*. *Tectonics*, 2(6), 26pp.
- ten Brink, U., Danforth, W., Polloni, C., Andrews, B., Llanes, P., Smith, S., Parker, E., Uozumi, T., (2004). *New sea floor reveals the structure of the Puerto Rico Trench and helps assess earthquake and tsunami hazards in the Northeast Caribbean*. *Eos, Trans. Amer. Geophys. U.* 85(37). 349.
- Wessel, P. & Smith, W. H. F., (1998). *New, improved version of Generic Mapping Tools released*. *Eos, Trans. Amer. Geophys. U.* Vol: 79(47). 579
- Dziewonski, A. M., Woodhouse, J.H.(1983). *An experiment in the systematic study of global seismicity:centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes of 1981*. *Journal of Geophysical Research*.88:2825-2852.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la tripulación del B.I.O. *Hespérides* y a los técnicos de la Unit. Tec. Marítima y de *Woods Hole Oceanographic Institution* su ayuda y profesionalidad durante la campaña. El proyecto GEOPRICO está financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia: REN2003-08520-C01-02, el *U.S. Geological Survey Coastal and Marine Program*, y *Puerto Rico Seismic Network*. J. L. Granja es becario F.P.U. Univ. Complutense de Madrid. Algunas figuras fueron realizadas mediante GMT (*Generic Mapping Tools*). (Wessel and Smith, 1998).