

# **El origen de la subducción bajo el territorio colombiano desde la evolución geotectónica de la placa de Nazca y de los Andes del norte durante el Cenoico.**

Germán Chicangana<sup>1</sup>, Carlos Alberto Vargas - Jiménez<sup>2</sup> y Andreas Kammer<sup>2</sup>

1. Centro de Investigaciones de Ingenierías y Arquitectura “Rogelio Salmona”, Vicerrectoría de Investigaciones, Corporación Universitaria del Meta, Villavicencio, Colombia, [german.chicangana@unimeta.edu.co](mailto:german.chicangana@unimeta.edu.co)
2. Departamento de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

## **1. Introducción**

Desde el trabajo de Pennington (1979) hasta la fecha y destacándose entre otros Monsalve (1998), Gutscher et al. (2000), Chicangana y Vargas (2008) y Vargas et al. (2011), ha quedado definido que bajo la esquina noroccidental de Suramérica (1°N - 8°N) la placa de Nazca subduce segmentada dando lugar a un sector con subducción plana y otro con subducción inclinada. En este trabajo mostramos por un lado los argumentos que descartan que el plano de subducción que se presenta bajo este sector pertenezca a la placa Caribe tal como lo proponen entre otros, Kellogg y Bonini (1982) o Malavé y Suarez (1995), y por otro, a que la subducción plana se origina por la subducción de una dorsal asísmica perteneciente a la placa de Nazca. Para ello hacemos uso de información sismológica para verificarlo y de consideraciones geotectónicas para demostrarlo.

## **2. Método**

Para demostrar los cambios en los estilos de la subducción bajo el territorio colombiano se hace uso de la sismicidad instrumental con el registro de 67196 eventos obtenidos por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) para el lapso 1993 - 2012 con  $0.6 > M_L > 6.8$  y  $0 < h < 300$  Km (INGEOMINAS, 2012). Estos sismos fueron registrados en 4 o más estaciones de esta red, localizados con el programa HYPOCENTER (Lienert y Havskov, 1995) y se desplegaron espacialmente los focos para una profundidad  $50 < h < 300$  km con la ayuda del software ZMAP (Wyss et al. 2001). Para la obtención de la tomografía sísmica que exhibe aquí la topografía sublitosférica bajo Colombia, se aplicó tomografía de atenuación hasta profundidades de 275 km controlada con información gravimétrica y magnética (Vargas et al., 2011).

## **3. Resultados y Discusión**

En la figura 1 se infiere la geometría de la subducción bajo el territorio colombiano con los perfiles hipocentrales que exhiben la distribución de la sismicidad intermedia en profundidad. Aquí se observa que entre la subducción plana y la inclinada no existe un cambio de geometría paulatino sino que es brusco, por consiguiente no existe alabeo en el cambio de la angularidad de la subducción sino una rasgadura o tear. La placa de Nazca en la vecindad del noroccidente suramericano está subduciendo tanto bajo el arco de Panamá como bajo el noroccidente de Suramérica en una dirección NE con una velocidad media de 70 mm/año (Tremkamp et al., 2002) y solo esta placa subduce bajo el noroccidente Suramérica en el Presente.

### **3.1. Porque la Placa Caribe no subduce hoy?**

Con respecto a porque en la actualidad la placa Caribe no subduce, Cloos (1993) indica que cuando una meseta oceánica es gruesa con un espesor  $> 17$  km puede eventualmente subducir, pero cuando supera los

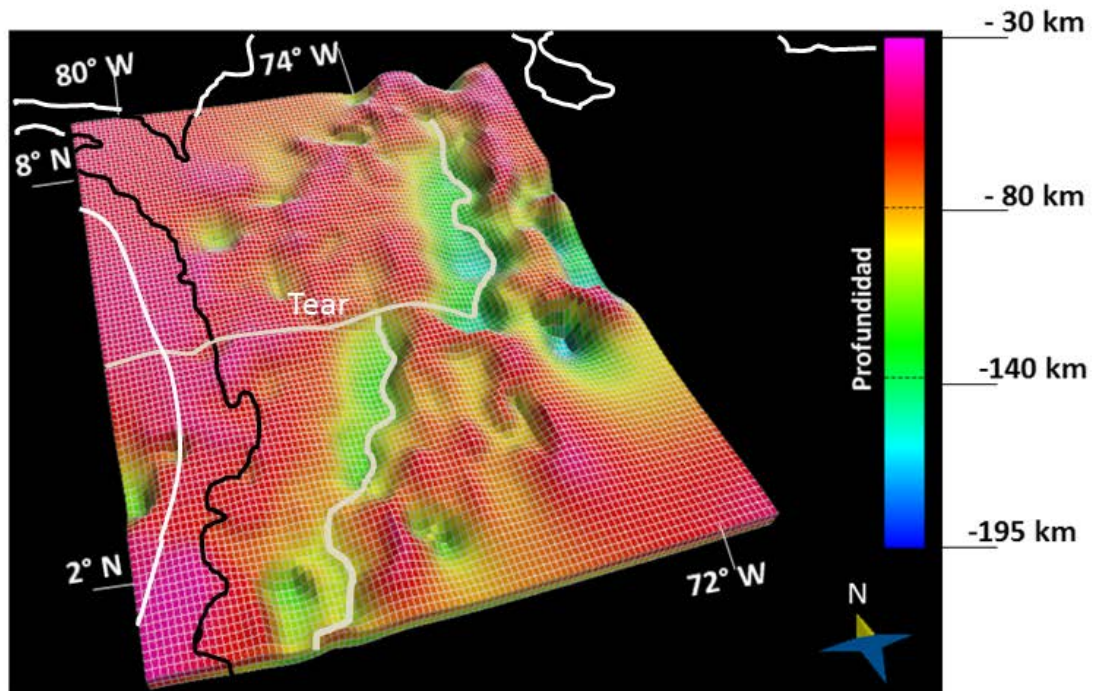
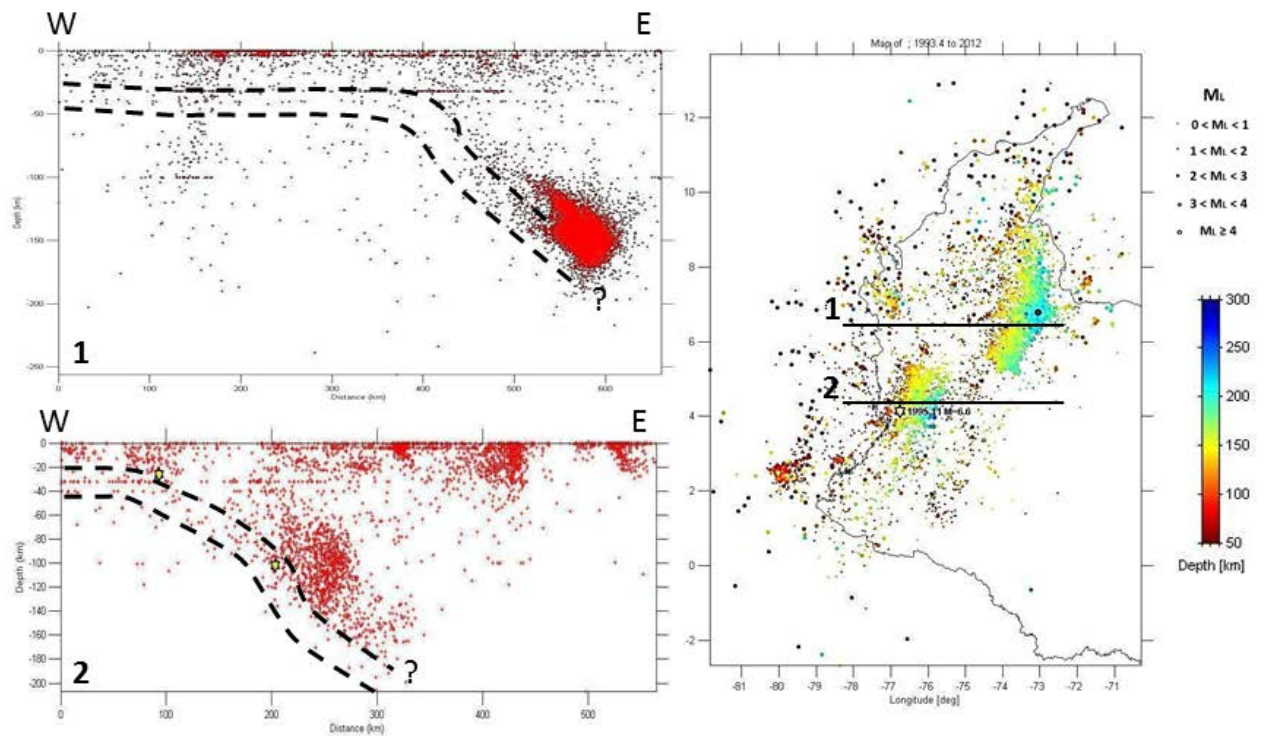


Figura 1. Arriba. Sismicidad intermedia del territorio colombiano conforme el registro de la RSN (INGEOMINAS, 2012). La cual verifica la subducción con perfiles hipocentrales. Abajo, Topografía sublitósfera verificada desde la tomografía sísmica con un modelo de elevación digital.

30 km bajo superficie (cabeza de pluma) esta no subduce y al contrario genera una colisión. La placa Caribe de acuerdo a Edgar et al. (1971) presenta espesores que van de 8 a 20 km. La edad de la corteza

oceánica de la placa Caribe promedia los 90 millones de años y representa un evento de pluma (Kerr et al., 2002a). Niu et al. (2002) plantean que cuando una meseta oceánica llega a la trinchera de la subducción, esta, por su flotabilidad composicional se torna no subductable y se da inicio a su colisión con el borde continental. Tanto en Colombia como en Ecuador y la región del Caribe se ha verificado la acreción y amalgamación de la placa Caribe con el margen de Suramérica para un lapso que va desde el Campaniano hasta el Eoceno Medio (White et al., 1999; Kerr et al., 1998, 2002).

### **3.2. Cuando comienza a subducirla Placa Nazca bajo el noroccidente de Suramérica?**

Desde finales del Eoceno Superior hasta mediados de Oligoceno, al parecer no ocurrió subducción bajo éste margen, ya que para éste lapso de tiempo geológico no existe evidencia de volcanismo de arco en Colombia, pero en Ecuador entre mediados y finales del Oligoceno el volcanismo es de carácter intermedio y lo representa (Hungerbühler et al., 2002; Vallejo, 2007). Esto confirmaría el lapso del cese de la subducción para la mayor parte de los Andes del norte de entre finales del Eoceno y principios del Oligoceno. Desde el Mioceno Inferior y hasta el Plioceno el magmatismo de arco se ha evidenciado y es continuo en todo lo largo de los Andes del norte. Para Niu et al. (2002), al ocurrir la colisión de la meseta oceánica con el margen continental, se presenta un gran contraste por la flotabilidad composicional de la corteza de la meseta con respecto a la corteza oceánica adyacente más delgada y más densa, por lo cual se produce una zona de debilidad cortical entre estas, que da lugar al desarrollo de una nueva zona de subducción. Esta situación para la zona noroccidental de Suramérica y el sur de Centroamérica ocurrió entre mediados y finales de Oligoceno.

### **3.3. Cuando se fragmenta la placa de Nazca y aparecen las dorsales asísmicas Carnegie, Coiba, Cocos y Malpelo?**

Para dicha época igualmente en la placa Nazca, se presentó el desarrollo de la dorsal de baja expansión de Galápagos (DG). La DG se interceptaba al oeste con la dorsal de alta expansión del Pacífico Oriental (DPO) definiendo un punto triple. La alta expansión de la DPO sobre la baja expansión de la DG dio lugar a que durante el lapso Oligoceno - Mioceno Inferior se originaran en esta región dorsales asísmicas como Carnegie, Cocos y Coiba-Malpelo (Chicangana et al., 2006). Enseguida, la presión ejercida por el empuje de la placa Nazca sobre el margen continental definido en éste sector por la placa Caribe (arco de Panamá incluido) produjo durante el lapso Mioceno Medio a Superior la fragmentación de estas dorsales asísmicas por cizallamiento en dirección perpendicular al sentido de la convergencia. En otras palabras, el empuje de la placa en el margen continental dio lugar a la aparición de fallas transformantes como la Zona de Fractura de Panamá. Producido el cizallamiento en el límite entre la placa de Nazca y la meseta oceánica acrecionada al margen continental, se da inicio a la nueva subducción en la cual, la placa de Nazca comienza a subducir bajo el nuevo margen continental tanto por debajo del noroeste de Suramérica como al sur de Centroamérica. La subducción plana ocurre porque en el canal de subducción se introduce una dorsal o seamount. Esta produce una ausencia de volcanismo y un incremento fuerte de la topografía en la superficie (Ozosawa, 1998; Rosenbaum y Mo, 2011). El volcanismo se presenta solo si la cuña astenosférica se ubica entre el plano subducido y la litosfera, es decir cuando se trata de una subducción inclinada, lo cual se verifica desde del Plioceno solo al sur de 5,5° N en Colombia (Chicangana y Vargas, 2008). El otro caso de la presencia de volcanismo es cuando el plano de subducción se fragmenta o delamina (slabwindow) por causas como su adelgazamiento extremo, porque se rompe en un sector o se le produce una gran cizalla o tear. Esta última situación se presenta a los 5° N al sureste de Manizales en Colombia, en donde se manifiesta volcanismo tipo adakítico con una edad correspondiente al lapso Plioceno - Pleistoceno (Toro et al., 2008) y de cual se plantea que se relaciona con el desarrollo de un tear (Vargas et al., 2011).

## **4. Conclusión**

El cambio de la geometría de la subducción comienza a modificar la configuración orogénica de los Andes del norte en Colombia y Venezuela a partir del Plioceno Inferior (Figura 2). Se hace la consideración de la ausencia de magmatismo con una edad posterior al Mioceno Superior desde los 5,5° N hacia el norte y esta situación de ausentismo de volcanismo para este lapso de tiempo geológico se verifica igualmente para el oriente del istmo de Panamá (Abratis, 1998). La emergencia definitiva del istmo y la desaparición del volcanismo al norte del occidente colombiano coincide con el desarrollo de la subducción de la dorsal de Coiba – Malpelo.

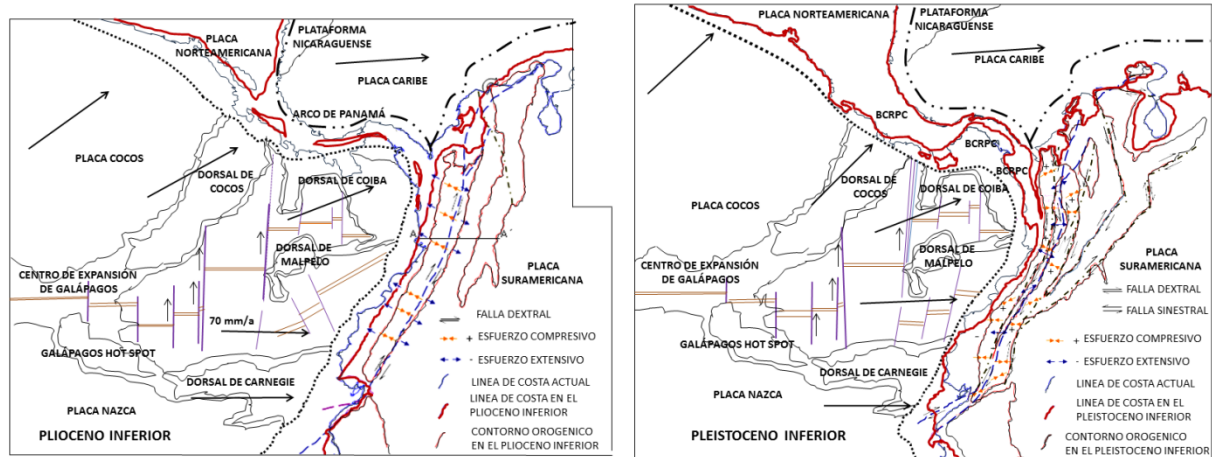


Figura 2. Modelo hipotético de la evolución de la subducción en el noroeste de Suramérica para el Plioceno Inferior a la izquierda y para el Pleistoceno Inferior a la derecha.

## Referencias

- Abratis, M. (1998). Geochemical variations in magmatic rocks from southern Costa Rica as a consequence of Cocos Ridge subduction and uplift of the Cordillera de Talamanca. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch, 136 p. Naturwissenschaftlichen Fakultät der Georg - August - Universität zu Göttingen, Göttingen, Germany. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2000/abratis/abratis.pdf> (último acceso 19/04/2012)
- Chicangana, G. & Vargas - Jiménez, C. A. (2008). Seismotectonic analysis of the Bucaramanga Seismic Nest, Colombia. 7th International Symposium on Andean Geodynamics, (ISAG 2008. Nice). Extended Abstracts, 2008. pp. 128 – 131, Nice, France. [http://irdal.ird.fr/PDF/ISAG\\_2008/ISAG2008\\_chicangana\\_1\\_al.pdf](http://irdal.ird.fr/PDF/ISAG_2008/ISAG2008_chicangana_1_al.pdf) (último acceso 26/03/2012)
- Chicangana, G., Vargas - Jiménez, C. A. & Kammer, A. (2006). La evolución del Centro de Expansión de Galápagos y su papel en la sismicidad intermedia del occidente colombiano. Memories from II Latin American Congress of Seismology, Bogotá D.C., Colombia.
- Cloos, M. (1993). *Lithospheric buoyancy and collisional orogenesis: Subduction of oceanic plateaus, continental margins, island arcs, spreading ridges, and seamounts.* GSA Bulletin, 105 (6): 715-737.
- Edgar, N.T., Ewing, J.I. & Hennion, J. (1971). *Seismic refraction and reflection in the Caribbean Sea.* AAPG Bulletin, 55, 833–870.
- Gutscher, M. A., Spakman, W., Bijwaard, H. & Engdahl, E. R. (2000). *Geodynamics of the flat subduction: Seismicity and tomographic constraints from the Andean margin.* Tectonics, 19 (5): 814 - 833.
- Hungerbühler, D., Steinmann, M., Winkler, W., Seward, D., Egüez, A., Peterson, D. E., Helg, U. & Hammer, C. (2002). *Neogene stratigraphy and Andean geodynamics of southern Ecuador.* Earth Science Reviews, 57 (1 - 2): 75 - 124.
- INGEOMINAS (2012). Red Sismológica Nacional de Colombia, Bogotá D.C., INGEOMINAS. <http://seisan.ingeominas.gov.co/RSNC/> (último acceso 18/03/2012)
- Kellogg, J.N. & Bonini, W. E. (1982). *Subduction of the Caribbean plate and basement uplifts in the overriding South America plate.* Tectonics, 1 (3): 251 - 276.



- Kerr, A. C., Tarney, J., Nivia, A., Marriner, G. F. & Saunders, A. D. (1998). *The internal structure of oceanic plateaus: Inferences from obducted Cretaceous terranes in western Colombia and the Caribbean*. *Tectonophysics*, 292 (3 - 4): 173 - 188.
- Kerr, A. C., Tarney, J., Kempton, P. D., Spadea, P., Nivia, A., Marriner, G. F. & Duncan, R. A. (2002 a). *Pervasive mantle plume head heterogeneity: Evidence from the late Cretaceous Caribbean - Colombian oceanic plateau*. *Journal Geophysical Research*, 107 (B7): 10.1029/2001JB000790, 2002.
- Kerr, A.C., Aspden, J. A., Tarney, J. & Pilatasig, L. F. (2002 b). *The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints*. *Journal of Geological Society London*, 159 (5): 577 - 594.
- Lienert, B.R.E. & Havskov, J. (1995). *A computer program for locating earthquakes both locally and globally*. *Seismological Research Letters*, 66, 26-36.
- Monsalve, J. H. (1998): *Geometría de la Subducción de la Placa de Nazca en el Noroeste de Colombia: Implicaciones tectónicas y sísmicas*. Tesis MSc. 107p. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Postgrado en Ciencias de La Tierra. México D.F.
- Malavé, G. & Suárez, G. (1995). *Intermediate - depth seismicity in northern Colombia and western Venezuela and its relationship to the Caribbean plate subduction* *Tectonics*, 14 (3): 617 - 628.
- Niu, Y., O'Hara, M. J. & Pearce, J. A. (2003). *Initiation of subduction zones as a consequence of lateral compositional bouyancy contrast within the lithosphere: a petrological perspective*. *Journal of Petrology*, 44 (5): 851 - 866.
- Ozosawa, S. (1998). *Ridge Subduction-Induced orogeny, a Case Study of the Cretaceous to Paleogene in Southwest Japan*. M. F. J. Flower, S. Chung, C. Lo, and T. Lee (Eds.) *Mantle Dynamics and Plate Interactions in East Asia*, Geodynamics Series, Vol. 27, pp. 331 - 336., American Geophysical Union, Washington, D. C., doi:10.1029/GD027.
- Pennington, W. D. (1979). *The Subduction of the Eastern Panama Basin and the Seismotectonics of Northwestern South America*. PhD Thesis, 126 p., University of Wisconsin - Madison, USA.
- Rosenbaum, G. & Mo, W. (2011). *Tectonic and magmatic responses to the subduction of high bathymetric relief*. *Gondwana Research*, 19 (3): 571 - 582.
- Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T. & Mora, H. (2002). *Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations*. *Journal South American Earth Sciences*, 15 (2): 157 - 171.
- Toro, T, L. M., Alvarán, E, M. & Borrero, P, C. A. (2008): *Rocas con afinidad adakítica al sur-este de Manizales: Rasgos petrogenéticos y geoquímicos*. *Boletín de Geología*, 30 (2): 49 - 60.
- Vallejo, C, C. (2007). *Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous - Paleogene)*: PhD Thesis, 215 p. Institute of Geology, ETH Zürich, Switzerland, <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:29746/eth-29746-02.pdf> (último acceso 18/03/2012)
- Vargas - Jiménez, C.A., Mann, P. & Borrero, C. (2011). *Field guides for excursions to the Nevadodel Ruiz Volcano and to the Romeral Fault System (Colombia), in the frame of the Neotectonics of arc-continent collision concepts*. *Earth Sciences Research Journal*, 15 (1): 47-74. <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/esrj/article/viewFile/27208/27896> (último acceso 16/04/2012)
- White, R. V., Tarney, J., Kerr, A. C., Saunders, A. D., Kempton, P. D., Pringle, M. S. & Klaver, G. T. (1999). *Modification of an oceanic plateau, Aruba, Dutch Caribbean: Implications for the generation of continental crust*. *Lithos*, 46, (1): 43 - 78.
- Wyss, M., Wiemer, S. & Zuñiga, R. (2001). *ZMAP: A Tool for Analyses of Seismicity patterns, Typical Applications and Uses: A Cookbook*. <http://www.earthquake.ethz.ch/software/zmap/cookbook.pdf> (último acceso 18/03/2012) <http://www.earthquake.ethz.ch/software/zmap/ftp> (último acceso 18/03/2012)