

AMA  
Agencia de Medio Ambiente

## ARTÍCULO

CUB@: MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Sitio de la revista: [www.cmad.ama.cu](http://www.cmad.ama.cu) QR: <https://qrcode.co/a/kcntVZ>

# EL TERREMOTO DE PEDERNALES, ECUADOR, DEL 16 DE ABRIL DE 2016 Y SUS CAUSAS

## THE PEDERNALES EARTHQUAKE, ECUADOR, APRIL 16<sup>TH</sup> 2016 AND ITS CAUSES

L.F. MOLERO-LEÓN

Inversiones Gamma, S.A. Apartado 6246, CP 10600, Habana 6, La Habana, Cuba E-mail: [especialistaprincipal@gmail.com](mailto:especialistaprincipal@gmail.com); [leslie@div.gamma.com.cu](mailto:leslie@div.gamma.com.cu)

**Palabras clave: Resumen**

**Terremoto Ecuador placa de Nazca subducción vulnerabilidad** Se presentan las características geológicas y sismotectónicas de la vertiente del Pacífico ecuatoriano que permiten explicar las causas del destructivo macrosismo del 16 de Abril de 2016, con epicentro en Pedernales, Ecuador, de Magnitud de momento ( $M_w=7,8$ ). Se comentan las propiedades estructurales y geotécnicas que incrementan la vulnerabilidad del territorio y se llama la atención sobre la importancia de una gestión adecuada del riesgo y la vulnerabilidad en una zona geológicamente inestable debido a la estructura de acoplamiento entre las placas de Nazca y América del Sur.

**Key words: Abstract**

**Earthquake Ecuador Nazca Plate subduction vulnerability** Geologic and seismotectonic characteristics of the Ecuadorian Pacific slope are presented in this paper in an attempt to explain the causes of the destructive microseism of April 16<sup>th</sup>, 2016 with epicenter in Pedernales, Ecuador, of magnitude  $M_w=7,8$ . The structural and geotechnical properties that enhance the vulnerability of the territory are commented and attention is paid to the importance of an adequate management of risk and vulnerability in a zone geologically unstable due to the coupling structures between the Nazca and South American plates.

**Introducción**

Ecuador tiene una larga historia de terremotos y erupciones volcánicas. En la costa Pacífica del Ecuador, donde vive la mayor parte de la población del país y existe el más importante desarrollo de infraestructura urbana, vial, industrial, hidráulica y recreativa convergen las placas de Nazca y Sudamericana (Fig. 1) y, debido al movimiento de una respecto a la otra, es la región sísmica más activa del país.

La Placa de Nazca subduce a la Placa Sudamericana y la situación de inestabilidad tectónica que allí se genera ha sido la causa de los más fuertes terremotos del país. Debido a que los epicentros de los macrosismos están muy cerca de la línea costera o en el lecho marino próximo es también una zona donde se generan tsunamis. Seis eventos de este tipo, incluyendo el del pasado 16 de abril han sido macrosismos

que provocaron tsunamis de diferente intensidad (Tabla 1). La subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana en la región ecuatoriana se hunde con un ángulo entre 25° y 35° y es discontinua a una profundidad cercana a los 200 km.

El sábado 16 de abril a las 18h58 (hora local), tuvo lugar un macrosismo de magnitud 7.8 ( $M_w$  magnitud momento), cuyo hipocentro se ubicó frente a la ciudad de Pedernales, provincia de Manabí, a 20 km de profundidad. Este evento causó, según la Secretaría Nacional de Riesgos del Ecuador (SENARI, 2016a) 663 personas fallecidas, 9 desaparecidos, 6274 heridos y con otras afectaciones y 28775 albergados básicamente debido a la destrucción de sus hogares. La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo anunció, el pasado 1° de Junio, 2016, (SENPLADES, 2016), que los daños económicos tras el terremoto de Ecuador se han evaluado en 3344 millones de dólares

Recibido: 05 de abril de 2021

Aceptado: 18 de mayo de 2021

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>





**Fig. 1.** Placas tectónicas en la zona de estudio (<http://i1104.photobucket.com/albums/h335/yanko1976/terremotos/placadelcaribeycocos.jpg>).

**Fig. 1.** Tectonic plates in the study area.

Las isosistas del terremoto definen que las mayores intensidades se concentraron en la provincia de Manabí. En las provincias de Esmeraldas, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y parte de Santo Domingo de los Tsáchilas, se observaron daños menores. En general, en las provincias de la Sierra, la intensidad máxima medida en la Escala Macrosísmica Europea (EMS) es 4 EMS que indica que el sismo fue sentido ampliamente por la población. La intensidad máxima evaluada es 9 EMS en zonas específicas de la provincia de Manabí (Pedernales y Chamanga) en donde se evidenció daños en la mayoría de las edificaciones. En zonas muy delimitadas de Portoviejo y Manta se alcanzó una intensidad de 8 EMS y en Guayaquil se estimó una intensidad de 6 EMS. Estos valores están relacionados con el tipo de suelo de las ciudades. En general, los daños observados se concentran en la provincia de Manabí. La forma de las líneas isosistas indica una atenuación muy marcada en la dirección oeste-este, si se compara con la dirección norte-sur (SENARI, 2016b).

Este artículo resume los resultados de diferentes estudios sobre el macrosismo del 16 de Abril y de las propias investigaciones del autor sobre el terreno, durante una campaña de evaluación en apoyo solidario a la Comisión de Reconstrucción Nacional creada tras el sismo y a la Empresa Pública del Agua (EPA) desarrollada bajo el patrocinio de INVERSIONES GAMMA, S.A. entre el 10 de Mayo y el 3 de Junio del 2016 (Molerio, 2016).

### El entorno sismotectónico

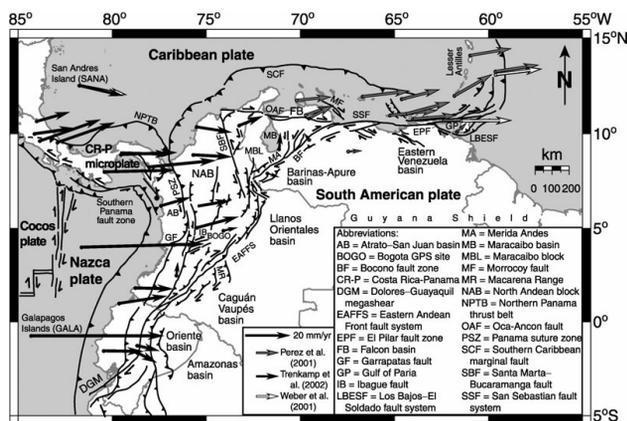
La Fig. 3 muestra los rasgos tectónicos del norte de América del Sur y los vectores de velocidad definidos por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de acuerdo con diferentes estudios compilados por Colmenares and Zoback (2003). El resumen geológico de Ortiz (2013) sintetiza las relaciones litología-tectónica-relieve y enmarcar el cuadro sismotectónico del territorio ecuatoriano:

1. El Ecuador continental puede ser dividido en tres regiones fisiográficas principales que reflejan fundamentalmente diferentes provincias geológicas. La Región Andina separa la Cuenca Oriente en el este de la planicie Costera al oeste.
2. La Cuenca Oriente es una cuenca sedimentaria de tras-arco, de edad Mesozoica a Cenozoica, que incluye una secuencia de plataforma carbonática, suprayace a un basamento cratónico antiguo.
3. El contacto tectónico entre los Andes orientales y la Cuenca Oriente lo constituye una zona de pliegues y cabalgamientos con dirección NNE y vergencia al oeste, conocida como la Zona Subandina.
4. A lo largo de la mayor parte de Ecuador, los Andes se dividen en dos cordilleras paralelas, la Occidental y la Real (Cordillera Este), separadas por un graben central relleno de rocas volcano-sedimentarias del Plioceno y Cuaternario, el Graben Interandino, cuyo basamento es pobremente conocido, aunque datos de gravedad

**Tabla 1.** Macro sismos productores de tsunamis de magnitud de momento (Mw) superiores a 6,8 registrados instrumentalmente en el Ecuador.

**Table 1.** Macroseisms producing tsunamis of momentum magnitud greater than 6,8 instrumentally recorded in Ecuador

Fecha	Magnitud	Localidad
1906, 03 de enero	8,8	Prov. de Esmeraldas, entre San Lorenzo y Tumaco(Colombia)
1933, 02 de octubre	6,9	Prov. del Guayas, en el mar, frente a Salinas (Puntilla)
1953, 12 de diciembre	7,8	Prov. de El Oro, en el mar, frente a Pto. Bolívar
1958, enero	7,8	Prov. de Esmeraldas, en el mar, frente a Esmeraldas
1979, 12 de diciembre	7,8	Prov. de Esmeraldas, frente a Esmeraldas, en el mar, frente a Esmeraldas
1998, 4 de agosto	6,8	Prov. de Manabí, en el mar, frente a las costas de Boca de Briceño
2016, 16 de abril	7,8	Prov. de Manabí, en el Cantón Pedernales



**Fig. 2.** Rasgos tectónicos fundamentales de la parte septentrional de América del Sur y vectores de velocidad definidos por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de acuerdo con diferentes estudios compilados por Colmenares y Zoback (2003). Todos los vectores describen velocidades respecto a América del Sur y las áreas sombreadas denotan diferentes estudios. La localización del vector de las Islas Galápagos (GALA) ha sido desplazada hacia el este (su localización original es en las coordenadas 90.38W, 0.748S).

**Fig. 2.** Major tectonic features of the northern part of south America and velocity vectors defined by GPS after the results of several studies compiled by Colmenares and Zolback (2003). All the vectors describe velocities with respect to South America and the shadowed areas highlights different studies. The location of the Galapagos Islands (GALA) has benn displaced towards the East (its original location is in coordinates 90.38W, 0.748S).

sugieren una extensión oculta de las rocas de la Cordillera Real.

5. La Cordillera Real consiste mayormente en cinturones sub-lineares de rocas metamórficas del Paleozoico al Mesozoico, intruidos por granitoides de tipo S e I, y cubiertos por depósitos volcánicos Cenozoicos a modernos.
6. La Cordillera Occidental consiste casi completamente en basaltos de corteza oceánica del Cretácico temprano a tardío, rocas ultramáficas, turbiditas marinas, una secuencia de arco de isla oceánico andesítico a basáltico, una secuencia de cuenca marina turbidítica del Paleoceno a Eoceno y una secuencia continental del Eoceno tardío - Oligoceno. Estas formaciones están intruidas por granitoides de tipo I del Eoceno tardío y más jóvenes.
7. La Costa es la región baja al oeste de los Andes y comprende un grupo de cuencas de edad Cretácica a Cenozoica, soportada por rocas de corteza oceánica que están expuestas localmente en las cordilleras costeras (Figura 5. Regiones fisiográficas de E

8. La configuración actual de Ecuador es el resultado de una evolución transpresiva que ocurrió a lo largo del Paleoceno, iniciada como una subducción oblicua.
9. Desde el Cretácico superior, esta región ha sido marcada por la acreción de series de terrenos oceánicos que han sido anexados al borde oeste de la Cordillera Real y al dominio continental.
10. Con el final de la acreción de terrenos en el Paleoceno, comienza el desarrollo del presente sistema de subducción, caracterizado por subducción oblicua. La actual dirección de convergencia es N83°.
11. Esta dirección de convergencia estable indujo un fuerte particionamiento horizontal de la deformación y esfuerzos en la placa superior induciendo el escape norte de del Bloque Norandino.
12. La tasa de convergencia de la Placa de Nazca es casi de 56 mm/año relativa a Sudamérica.

La Cresta Carnegie (Bentley, 1974; Graindorge et al., 2004), ha sido asociada con todos los macro sismos ocurridos en el Ecuador (<7,7). Se trata de una estructura masiva, engrosada, de 300 km de ancho que se eleva 1500 m sobre el fondo marino contiguo. Está localizada en la Depresión Ecuatoriana y muestra -según estos autores- una importante actividad de desplazamiento convergente hacia el este entre las placas de Nazca y América del Sur moviéndose aproximadamente  $5.4 \pm 0.2$  cm/año aunque las cifras determinadas por GPS varían (véase Nocquet, Mothes y Alvarado (s/f)).

Esta es una zona donde se acumulan deformaciones elásticas significativas que resultan en una estructura de acoplamiento (Graindorge et al., 2004). La deformación actual (Nocquet, Mothes y Alvarado, s/f) proviene de la contribución de dos fenómenos distintos: 1) la deformación elástica asociada al bloqueo parcial de la subducción a lo largo del margen ecuatoriano 2) el movimiento a largo plazo del Bloque Norandino con respecto a la Placa de América del Sur. La estructura que subduce es el resultado de la interacción durante el Neógeno entre el hotspot de Galápagos y el centro de dispersión de las placas de Cocos y Nazca. La Cresta Carnegie empuja los terrenos volcánicos oceánicos acrecidos del Margen Ecuatoriano. La Fig. 3 muestra la distribución de las zonas de mayor riesgo en Ecuador por amenaza sísmica y tsunamis. Nótese la especial sensibilidad de la zona costera a estos dos eventos. La otra zona de mayor peligrosidad se desarrolla hacia el interior del país.

Según Ortiz (2013), el alto batimétrico de la Cresta Carnegie tiene una dirección aproximada E-W, y entra en la zona de subducción entre 1°N y 2°S de latitud y la edad propuesta para la colisión cordillera - fosa está en el rango

entre 1 y 15 Ma. El arribo de la Cordillera Carnegie a la fosa ecuatoriana inició el escape del Bloque Norandino y, eventualmente, la subducción oblicua de la placa de Nazca y la subducción de Carnegie pudieron conducir al despegue del Bloque Norandino.

### Causas del terremoto

El hecho particularmente importante y que constituye la causa fundamental de los últimos macrosismos ocurridos en el Ecuador y, entre ellos, el que se comenta en esta contribución, es el incremento de las tensiones normales a lo largo de la interfaz entre las placas que incrementa el acoplamiento entre ellas (el llamado *plate coupling*). Este es el proceso que debe explicar el incremento en los intervalos de recurrencia de los terremotos (Graindorge et al., 2004). El tipo de ruptura asociada a este evento específico corresponde a una falla inversa, es decir que el continente se desplazó algunos centímetros sobre la placa oceánica de Nazca.

La colisión de Carnegie parece haber afectado el acoplamiento entre las placas de Nazca y Sudamericana. La mayoría absoluta de los macrosismos registrados instrumentalmente ocurrieron en el flanco norte de la colisión (1906, 1942, 1958, 1979, 2016), y uno ocurrió a lo largo del flanco sur (1901). Pero ninguno de estos eventos parece haber roto a través de la cordillera misma; sin embargo, es lícito suponer que el acoplamiento interplaca a gran profundidad y en gran escala pudo ser afectado por la colisión de Carnegie. Y señala que en la región frente a Carnegie, una incrementada deformación y sismicidad en la placa superior se extiende 500 - 600 Km tierra adentro, más allá del arco volcánico, sugiriendo que la colisión es el mecanismo motriz del movimiento del Bloque Norandino (Ortiz, 2013).

### Análisis geológico y geotécnico

En la zona costera del Ecuador donde ocurrió el terremoto se encuentran varias cuencas sedimentaria que yacen sobre la corteza oceánica Cretácica. El paquete dominante es una secuencia monótona de areniscas, lutitas, turbiditas, conglomerados, arcillas marinas yestuarinas de edad Eoceno al Cuaternario. Este paquete de rocas es susceptible a la fluidización y licuefacción. Uno de los paisajes más comunes del Ecuador es precisamente, el de los movimientos de ladera, deslizamientos, desprendimientos y deslaves por la baja compatibilidad geotécnica de los sedimentos, el relieve colinoso a montañoso y las pendientes que se desarrollan. La Tabla 2 resume la regionalización sismotectónica propuesta por Ortiz (2013).

El análisis de las litologías dominantes en el área del terremoto del 16 de abril elaborado por SENARI (2016b) concluye que de ello “se deduce que la mayoría de daños fueron relacionados con el tipo de suelo en donde se edificó la infraestructura” sin indicar otros aspectos que pueden haber influido, como el incumplimiento de las normativas de construcción ecuatorianas (NEC\_SE\_GC, 2014; NEC\_SE\_DS 2014; CPE\_INEN, 2001; UTA, 2002) y el limitado conocimiento de la geología de los sitios para los fines de construcción de infraestructura y los peligros hidrológicos asociados.

La estratificación de este complejo terrígeno, la heterogeneidad de la composición litológica de las secuencias sedimentarias, las diferencias entre sus propiedades geotécnicas (ángulo de fricción, humedad natural, límites de plasticidad y elasticidad, porosidad), su diferente competencia y los diferentes patrones de agrietamiento resultantes conjugados con el cuadro estructural no constituyen una buena combinación que provea estabilidad natural suficiente a movimientos sísmicos de las magnitudes del sismo del 16 de abril. Ello implica tales deficiencias solamente pueden resolverse aplicando rigurosamente las normativas de seguridad en los proyectos de infraestructura civil e hidráulica. Por lo que puede juzgarse hasta ahora, aún con antecedentes de macrosismos en el área superiores incluso a éste, las violaciones a las normas de seguridad parecen ser uno de los mecanismos de magnificación de los daños provocados por este evento sísmico.

En este punto conviene insistir en el análisis estructural, hidrológico y geotécnico de las alineaciones de dirección NW-SE y NE-SW como en su momento señaló Ujueta (2001) y más recientemente Alvarado (2012) para esta última orientación de estructuras. La Fig. 3 presenta un fragmento del mapa de lineamientos de Ujueta (2001) y que es de la mayor importancia en tanto son estructuras sismogénicas que afectaron las obras civiles e incluso la morfología de los cauces fluviales, contribuyendo en parte probablemente a facilitar el ascenso de las aguas subterráneas observado durante el terremoto, a incrementar la licuefacción y los procesos de solifluxión asociados, incrementar los deslizamientos y desprendimientos y eventualmente propagarse aguas arriba pudiendo afectar, incluso los sistemas de obras hidráulicas en la región. El caso del tercio inferior del Río Jama, documentado por el autor, es elocuente. Ahí, casi 12 niveles de grietas paralelas afloraron a la superficie contribuyendo a deslizamientos menores, elevaciones locales del terreno y daños en las edificaciones (Figs. 4 y 5).

Ujueta (2001) señala que estos morfoalineamientos son, por definición, fallas profundas que penetran hasta el Manto Superior y se reconocen en superficie por lo rectilíneas y continuas que se mantienen sobre distancias considerables

**Tabla 2.** Síntesis sismotectónica de Ortiz (2013) y características de las zonas (referencia al mapa de la Fig. 4.

**Table 2.** Seismotectonic synthesis according to Ortiz (2013) and characteristics of the different zones shown in Fig. 4

Zona	Denominación	Características sismotectónicas
8	Costa Norte	Separada por un sistema de fallas de dirección NE-SW, se encuentra afectada por fallas inversas y dextrales. Las fallas por las que se encuentra afectada (San Lorenzo, Esmeraldas, Río Canandé) se encuentran poco estudiadas y las tasas de movimiento son inferiores a 1 mm/yr o desconocidas.
9	Llanura Costera	Constituye una planicie conformada principalmente por arenas, conglomerados, sedimentos fluviales, arcillas marinas de estuario. Las fallas cuaternarias que la afectan presentan una dirección NNE-SSW, de movimiento compresivo con vergencia hacia el oeste (Falla Quindí, 8). El grado de conocimiento de las fallas de esta zona es bajo y la mayor parte de ellas son inferidas.
10	Sistema de Falla Costero	Definido por un sistema de fallas de dirección NNE-SSW que elevan restos de corteza oceánica y cortan formaciones sedimentarias. Los movimientos Cuaternarios están representados por fallas dextrales con componente inverso y vergencia hacia el oeste que siguen la misma dirección que las estructuras principales.
11	Sección Sur	Se diferencia de las anteriores por la dirección de las estructuras que disponen a las formaciones sedimentarias en franjas NW-SE. Se encuentra afectada por fallas inversas con dirección NW-SE con vergencia hacia el noreste. Además costa fuera se observa una falla normal (Falla Posorja, 20), cuyo bloque hundido se ubica en el sur, y corresponde a una cuenca de pull-apart.



**Fig. 3.** Fragmento de la Figura 2. Lineamientos de dirección NO-SE, NNE-SSO o NE-SO en el centro occidente colombiano y en el Ecuador (Ujueta, 2001).

**Fig. 3.** Section of Fig 2. Alignments NW-SE, NNE-SSW or NE-SW at the center and western part of Colombia and Ecuador (after Ujueta, 2001).

(más de 1000 Km) y que pueden extenderse y continuarse como fracturas oceánicas. Los lineamientos identificados por él en Colombia y Ecuador son zonas de debilidad, verticales o subverticales, que alcanzan hasta 20 km de ancho y que en su desarrollo prolongado han sido afectados por movimientos recurrentes.

Todos los lineamientos, reconocidos por él muestran, movimientos principal mente verticales, y movimientos de naturaleza transcurrente con desplazamiento lateral izquierdo. Los lineamientos de dirección NW-SE y las grandes fracturas (=Lineamientos) de dirección NNE-SSW a NE-SW ocurren como características aproximadamente ortogonales que constituyen un mosaico de bloques de

forma más o menos romboidal. Las estructuras que definen el sistema tectónico mayor del Ecuador (Chingual-Cosanga-Pallatanga-Puná), son principalmente sistemas transpresivos dextrales, con una distribución de la componente transcurrente sobre fallas de dirección NE-SW, y la componente inversa sobre las estructuras de dirección N-S muestra una velocidad relativa de 7-8 mm/año con respecto a Sud América (Alvarado, 2012).

### Nota Final

La estructura geológica de la zona costera del Pacífico en Ecuador es inestable geológicamente por su composición y estructura geológica, el tipo de relieve que se ha formado y las propiedades geotécnicas de los materiales que componen el grueso paquete sedimentario de toda esa vertiente. Los movimientos sísmicos agravan esa situación que se torna aun peor en los casos en que se incumplen las regulaciones y normativas para la proyección y construcción de estructuras civiles e hidráulicas sismo resistentes. Toda la región litoral, además, está expuesta a la amenaza de tsunamis. El análisis de los registros instrumentales de terremotos ha mostrado un incremento en el período de retorno de macrosismos asociado al movimiento de subducción de la Placa de Nazca y la causa principal de todos estos eventos se encuentra en el acoplamiento de ésta con la Placa Sudamericana. Ante las amenazas naturales inevitables, es preciso una reorientación hacia la gestión adecuada de la vulnerabilidad del territorio.

Béjar-Pizarro et al. (2013) han señalado que la segmentación de la interfase de la subducción, que limita la extensión de los futuros terremotos (y por tanto su magnitud), se atribuye normalmente a las variaciones de las



**Fig. 4.** Tercio inferior del río Jama, Manabí, donde se observa, a la izquierda el sistema de diaclasas asociado al fallamiento de orientación NW-SE que elevó ligeramente el terreno y provocó, entre otras, el desplome de la vivienda que aparece a la derecha.

**Fig. 4.** Lower third of the Jama River, Manabí, showing the system of joints associated to the NW-SE faulting that slightly elevates the terrain causing, among others, the collapse of the building (Author's photo).



**Fig. 5.** Algunos lineamientos importantes de orientación NW-SE (amarillo) y NE-SW (rojo) en el valle del río Jama. En el círculo azul, el área de la reactivación de las fallas cuyos efectos aparecen en la Figura 6.

**Fig. 5.** Some important NW-SE alignments (yellow) in the Jama river valley. The blue circle shows the area where the reactivated faults caused the effects shown in Fig. 6.

propiedades friccionales de la zona sismogénicas a estructuras en la batimetría de la placa inferior.

La correlación clara, a lo largo de 500 km, encontrada por estos autores entre la base de la zona sismogénica fuertemente acoplada y el escarpe costero que se observa en la superficie en el norte de Chile implica que las grandes estructuras tectónicas de la placa superior pueden influir en las propiedades friccionales de la zona sismogénica en profundidad, de manera que el acoplamiento intersísmico y la ocurrencia de grandes terremotos son procesos físicos transitorios controlados por las estructuras de la placa superior, que construyen la topografía Andina y son persistentes durante escalas geológicas.

## Referencias

- Alvarado, Alexandra.2012. Neotectonique et cinématique de la deformation continentale en Equateur. Thèse. Sciences de la Terre. Universit de Grenoble, 2012. Francais, 260:
- Béjar-Pizarro, Marta, Anne Socquet, Rolando Armijo, Daniel Carrizo, Jeff Genrich y Mark Simons .2013. Andean structural control on interseismic coupling in the North Chile subduction zone. *Nature Geoscience* 6, 462-467 <http://www.nature.com/ngeo/journal/v6/n6/full/ngeo1802.html>
- Bentley, L. R.1974.Crustal structure of the Carnegie ridge, Panama basin and Cocos ridge, Master's thesis, Hawaii.
- CPE INEN 005-1 .2001.Spanish. Código ecuatoriano de la construcción. Requisitos generales de diseño.47:
- Font, Yvonne, Monica Segovia, Jean-Mathieux Nocquet y Mohamed Chlieh. 2011. Seismicity distribution and interseismic coupling on the Ecuadorian Seismogenic Zone Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly 2011, Vol. 13, EGU2011-10679, 2011
- Graindorge, David, Alcinoe Calahorrano, Philippe Charvis, Jean-Yves Collot y Nicole Bethoux. 2004. Deep structures of the Ecuador convergent margin and the Carnegie Ridge, possible consequence on great earthquakes recurrence interval. *Geophysical Research Letters*, VOL. 31, L04603, doi:10.1029/2003GL018803, 5:
- INEN .2001. Código Ecuatoriano de la Construcción .(2014). Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismoresistente.
- Molerio-León, Leslie .2016. El terremoto del 16 de abril en Ecuador. *CubaGeográfica*, 3 - 2016:22
- NEC\_SE\_GC .2014. Normativa Ecuatoriana de Construcción. Geotecnia y Cimentaciones. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. 74:
- NEC\_SE\_DS .2014. Normativa Ecuatoriana de Construcción. Peligro Sísmico. Diseño Sismo Resistente. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. 148:
- Nocquet, J. M., Patricia Mothes, Alexandra Alvarado .s/f. Geodesia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador. Universidad de Niza Sophia Antipolis, Francia, 17: [http://renag.unice.fr/regal/PERSO/JMN/publis/geodesia\\_ecuador\\_texto\\_y\\_figuras.pdf](http://renag.unice.fr/regal/PERSO/JMN/publis/geodesia_ecuador_texto_y_figuras.pdf)
- Ortiz Panchi, Oscar Cristian .2013. Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador. Máster En Geología Ambiental Y Recursos Geológicos, Especialidad en Riesgos Geológicos y Gestión Territorial, Universidad Complutense de Madrid, 42:
- Sanclémente, Eddy. 2014. Seismic imaging of the structure of the central Ecuador convergent margin: relationship with the inter-seismic coupling variations. Thesis. Earth

- Sciences. University Nice Sophia, Antipoli. École Doctorale de Sciences Fondamentales et Appliquées, 273:
- SENARI .2016a. Informe de Situación N°71 - 19/05/2016 .20h30) Terremoto 7.8° - Pedernales.<http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/INFORME-n71-SISMO-78-20302.pdf>
- SENARI .2016b. Informe de Situación N°65 - 16/05/2016 Terremoto 7.8 ° - Pedernales. <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Informe-de-situacion-C3%B3n-n%C2%B065-especial-16-05-20161.pdf>
- SENPLADES .2016. El Gobierno Nacional presentó los costos de la reconstrucción de las zonas afectadas por el sismo. <http://www.planificacion.gob.ec/el-gobierno-nacional-presento-los-costos-de-la-reconstruccion-de-las-zonas-afectadas-por-el-sismo/>
- TelesurTV .2016. Los daños económicos tras el terremoto de Ecuador. Publicado en Mayo 2, 1016. <http://www.telesurtv.net/news/Los-danos-economicos-tras-el-terremoto-de-Ecuador--20160502-0025.html>
- Ujueta, Guillermo .2001. Lineamientos de Dirección NO-SE y NNE-SSO a NE-SO en el Centro Occidente Colombiano y en el Ecuador. Geología Colombiana No. 26, Diciembre, 2001: 5-27
- UTA .2002. Código Ecuatoriano de la Construcción 2002. Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo-resistente [http://ficm.uta.edu.ec/descargas/codigo\\_ecuatoriano\\_construccion.pdf](http://ficm.uta.edu.ec/descargas/codigo_ecuatoriano_construccion.pdf)
- Zoback, M.L., 1992, First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project: Journal of Geophysical Research, v. 97, p. 11,703-11,728.