

## **ANÁLISIS MULTI-TEMPORAL Y CUANTIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA DESTRUIDA EN EL CANTÓN PEDERNALES, PROVINCIA DE MANABÍ, TRAS EL TERREMOTO DE MAGNITUD 7.8 Mw**

Andrea Alegría<sup>1</sup>, Lorena Caiza<sup>1</sup>, Karen Calvopiña<sup>1</sup>, Jessica Lisintuña<sup>1</sup>, Heidi Mancero<sup>1</sup>, Gabriela Molina<sup>1</sup>, Gabriela Mora<sup>1</sup>, Mónica Pillajo<sup>1</sup>, Alejandra Román<sup>1</sup>, Patricia Vilela<sup>1</sup>, Nataly Zambrano<sup>1</sup> y Theofilos Toulkeridis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador. <sup>2</sup>Departamento de Seguridad y Defensa, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador

### **Resumen**

Después del terremoto devastador del abril del 2016, se aplicó un Análisis múltiple-temporal en el área del cantón Pedernales, Provincia de Manabí. Debido a este proceso se ha logrado cuantificar los daños producidos de infraestructura física. El porcentaje de pérdida de infraestructura en el cantón Pedernales es del 10.55%. A pesar de que Pedernales está próximo al epicentro, no ha sufrido destrucción como se podría pensar.

**Palabras claves:** Análisis múltiple-temporal, Cuantificación daños, Pedernales, terremoto Manabí 2016

### **Abstract**

After the devastating earthquake of April 2016, a multi-temporal analysis has been applied in the area of the Pedernales canton, Province of Manabí. Due to this process, it has been possible to quantify the damage caused by physical infrastructure. The percentage of infrastructure loss in the canton Pedernales is 10.55%. Although Pedernales has been close to the epicenter, it has not suffered destruction as one might think.

**Keywords:** Multiple-temporal analysis, Damage quantification, Pedernales, Manabí earthquake 2016

### **Introducción**

Ecuador se encuentra en una zona de subducción entre la placa oceánica de Nazca y las placas continentales de Caribe y Sudamérica. Como resultado de este choque, se están generando varias fallas geológicas que se encuentran en el borde continental. Este proceso de subducción produce sismos con variadas intensidades, liberación de energía acumulada como producto de estos movimientos geodinámicos. El día sábado 16 de abril del 2016 a las 18:58, las provincias de la costa ecuatoriana fueron asoladas con un fuerte terremoto de 7.8 Mw en la escala de Richter al sureste de Muisne, cuyo epicentro se localizó en el cantón Pedernales provincia de Manabí (USGS, 2016). La cifra del registro oficial muestra que dicho terremoto produjo alrededor de 663 muertos y varios desaparecidos.

El registro histórico de sismos en el país de los últimos siglos nos convierte en un lugar vulnerable a este tipo de amenazas de origen natural, las cuales resultan como riesgos para la infraestructura, las actividades socio-económicas y las vidas mismas. Los terremotos y tsunamis más fuertes registrados en la costa ecuatoriana en los últimos cien años ocurrieron el 31 de enero de 1906, representando el sexto terremoto más fuerte registrado en la historia, con una magnitud de 8.8 Mw en la escala de Richter.

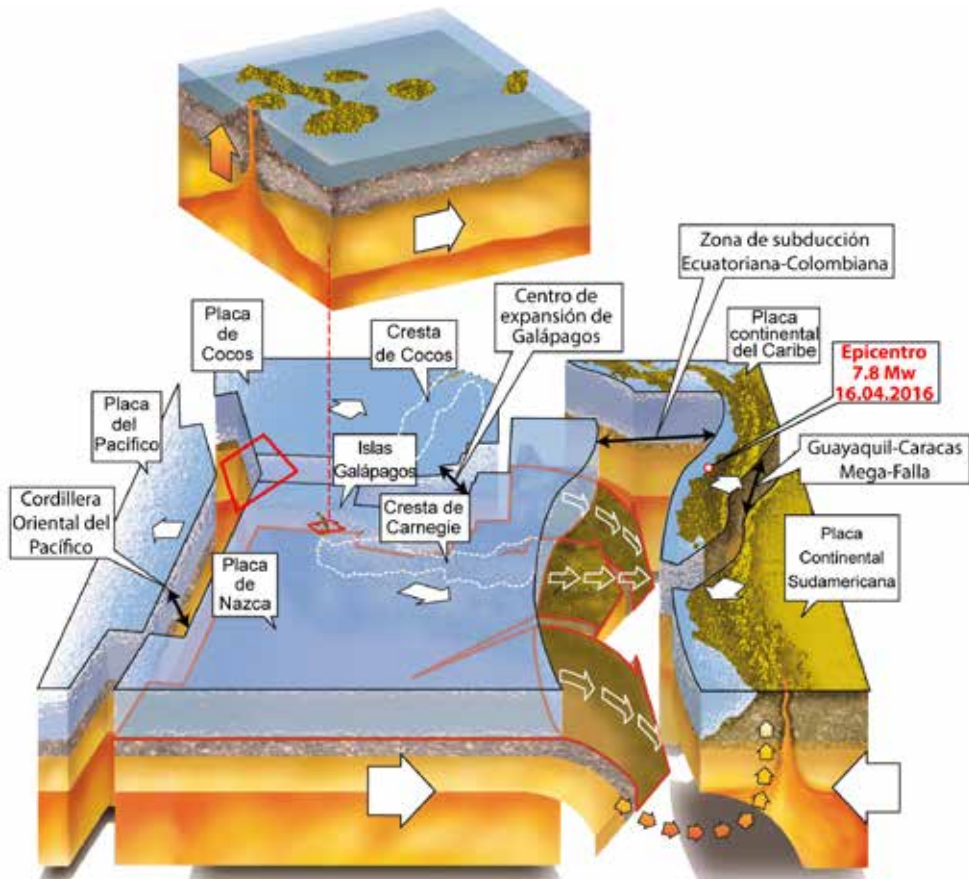


Fig. 1: Esquemático gráfico de la geodinámica de Ecuador y las placas tectónicas correspondientes. Se nota la ubicación del terremoto del 16 de abril 2016. Adaptado de Toulkeridis et al., 2017.

Otro tsunami afectó las costas del Ecuador el 2 de octubre de 1933 en la Libertad ( $2^{\circ}\text{S}$   $81^{\circ}\text{W}$ ), Península de Santa Elena, como consecuencia de un evento sísmico de magnitud 6.9 Mw en la escala de Richter. Dos tsunamis más se han registrado en los años cincuenta, uno en 1953 ( $3.4^{\circ}\text{S}$   $80.6^{\circ}\text{W}$ ), con una magnitud de 7.3 Mw y otro en 1958 ( $1.37^{\circ}\text{N}$   $79.34^{\circ}\text{W}$ ), de magnitud de 7.8 Mw. El 12 de diciembre de 1979 un tsunami se originó en el Océano Pacífico entre las costas de Ecuador y Colombia ( $1.6^{\circ}\text{N}$   $79.4^{\circ}\text{W}$ ). Este evento sísmico tuvo una magnitud de 8.2 Mw en la escala de Richter y causó importantes daños en la costa de Colombia y de menor grado en Ecuador. Posteriormente, un sismo de 7.1 Mw tuvo lugar el 4 de agosto 1998 en Bahía de Cadaquez (Toulkeridis y Cruz, 2016).

Estos registros muestran que la planificación para asentamientos humanos en nuestro país no ha existido, y es por ello que estas ciudades han ido creciendo descontroladamente tanto en zonas de riesgos sísmico como de tsunamis, inundaciones, rellenos etc. Si a esto se suma la ausencia de planes de contingencia, el desconocimiento de la población, la falta de compromiso por parte de las autoridades y la pérdida de memoria histórica, se producen resultados como el registrado recientemente en la costa de nuestro territorio.

Por lo tanto, la ocurrencia de este tipo de eventos amerita prontas respuestas y soluciones oportunas. Después del último terremoto ocurrido en el país, es importante el conocimiento de la cantidad de infraestructuras que han sido afectadas, con el fin de proponer planes de reconstrucción, ordenamiento territorial, salud pública, educación, entre otros. Una parte

importante para cumplir con este objetivo es la obtención de datos. Así, este estudio tiene como objetivo general cuantificar los daños producidos en la infraestructura en el sitio más afectado, Pedernales en Manabí, a través de una evaluación y análisis multi-temporal.



Fig. 2a-d: Varios ejemplos del poder destructivo del terremoto en Manabí. Fuente Associated Press.

## Metodología

La metodología empleada en el presente estudio consta de cinco fases: a) Obtención de insumos; b) Digitalización de infraestructuras faltantes; c) Identificación de daños; d) Cuantificación de edificaciones destruidas; y e) Elaboración de mapa de daños e informe.

- A. **Obtención de insumos**, Como primer paso, se obtuvieron las imágenes satelitales pre-evento (ISpre) y post-evento (ISpost) de la zona de estudio. La ISpre se encuentra en formato pdf, que posteriormente se transformó a formato tiff. La ISpost no tuvo mayores complicaciones pues tiene formato geotiff, es decir, posee un sistema de referencia, lo que permitió ingresarlo directamente al software ArcGIS. Por otro lado, el IGM puso a disposición del público un archivo formato shp que contiene las construcciones en la ciudad de Pedernales, que también se descargó.
- B. **Digitalización de infraestructuras faltantes**, A partir del shape obtenido del IGM, se realizó la comparación con la ISpost y se procedió a digitalizar las construcciones faltantes, ya que el archivo no estaba completo. La información tipo shape obtenida del Instituto Geográfico Militar (IGM) estaba incompleta, por lo que se realizó un análisis exhaustivo tanto de las ortofotos como de la necesidad de agregar más campos que requería el shape para su correcta interpretación.
- C. **Identificación de daños**, Al tener la digitalización completa de las infraestructuras del cantón, se realizó una comparación entre ambas imágenes (pre-evento y post-evento) y se fueron identificando las edificaciones destruidas mediante un nuevo campo en la tabla de atributos del shape, lo cual posteriormente permitió clasificar a las construcciones para la posterior elaboración del mapa de afectación.

- D. Cuantificación de edificaciones destruidas,** En este paso se procedió a cuantificar el número total de edificaciones y el número de infraestructuras colapsadas en el software ArcGIS; además del cálculo de los porcentajes correspondientes.
- E. Elaboración del mapa de daños e informe,** Con el shape listo, se colocó sobre la ISpost y se construyó un mapa que permite observar gráficamente los daños causados en las edificaciones del cantón.

## Resultados y Discusión

En base a las ortofotos ex – ante y ex - post obtenidas a través del Geoportal del IGM y a la ejecución de la metodología aplicada, se generó un mapa de daños, representando el número de edificaciones destruidas en la zona de Pedernales. En la *Figura 3* se puede observar la distribución total de las construcciones afectadas en Pedernales.

Estadísticamente, analizando los valores del número de construcciones destruidas, se tiene el siguiente cuadro:

Tabla 1. Estadísticas sobre las edificaciones en el cantón Pedernales

| Estado                       | Número | Porcentaje |
|------------------------------|--------|------------|
| Edificaciones Totales:       | 6018   | 100 %      |
| Edificaciones Destruidas     | 635    | 10,55 %    |
| Edificaciones No Destruidas: | 5383   | 89,45 %    |

Seguidamente, la cantidad de edificaciones destruidas se encuentra cerca del 11% del total de edificaciones del área urbana de Pedernales. La imagen del mapa de construcciones destruidas en el cantón Pedernales muestra mayor concentración hacia la parte centro de Pedernales y en la zona sur del cantón cercano a sus playas. De acuerdo al análisis realizado de la zona, se observa que la parte norte del cantón presenta un bajo número de construcciones destruidas, debido a que la mayoría de edificaciones de la zona son de una sola altura.

## Conclusiones

Al coincidir con el epicentro, la infraestructura ha sufrido una gran afectación. Se ven cientos de casas derrumbadas y varias de las que están en pie poseen daños estructurales, por lo que también deben ser derribadas. El coste que esto representa al país se cifra en millones de dólares y la reconstrucción llevará varios años.

El porcentaje de pérdida de infraestructura en el cantón Pedernales es del 10.55%. A pesar de que Pedernales está próximo al epicentro, no ha sufrido destrucción como se podría pensar. Sin embargo, este sector puede tener prioridad en trabajos de reconstrucción y remoción de escombros para la reactivación de la economía pues constituye un importante balneario turístico.

La valoración económica de las edificaciones debe ser llevada a cabo a través del levantamiento de información de campo, ya que es el único medio de verificación del estado interno de las infraestructuras: casas, edificios, instituciones, etc. Para la fase de reconstrucción, se requiere analizar el catastro de la ciudad, movilizar a las personas y reconstruir la ciudad fuera de zonas de riesgo, evitando con ello la pérdida de vidas humanas y costes al Estado.

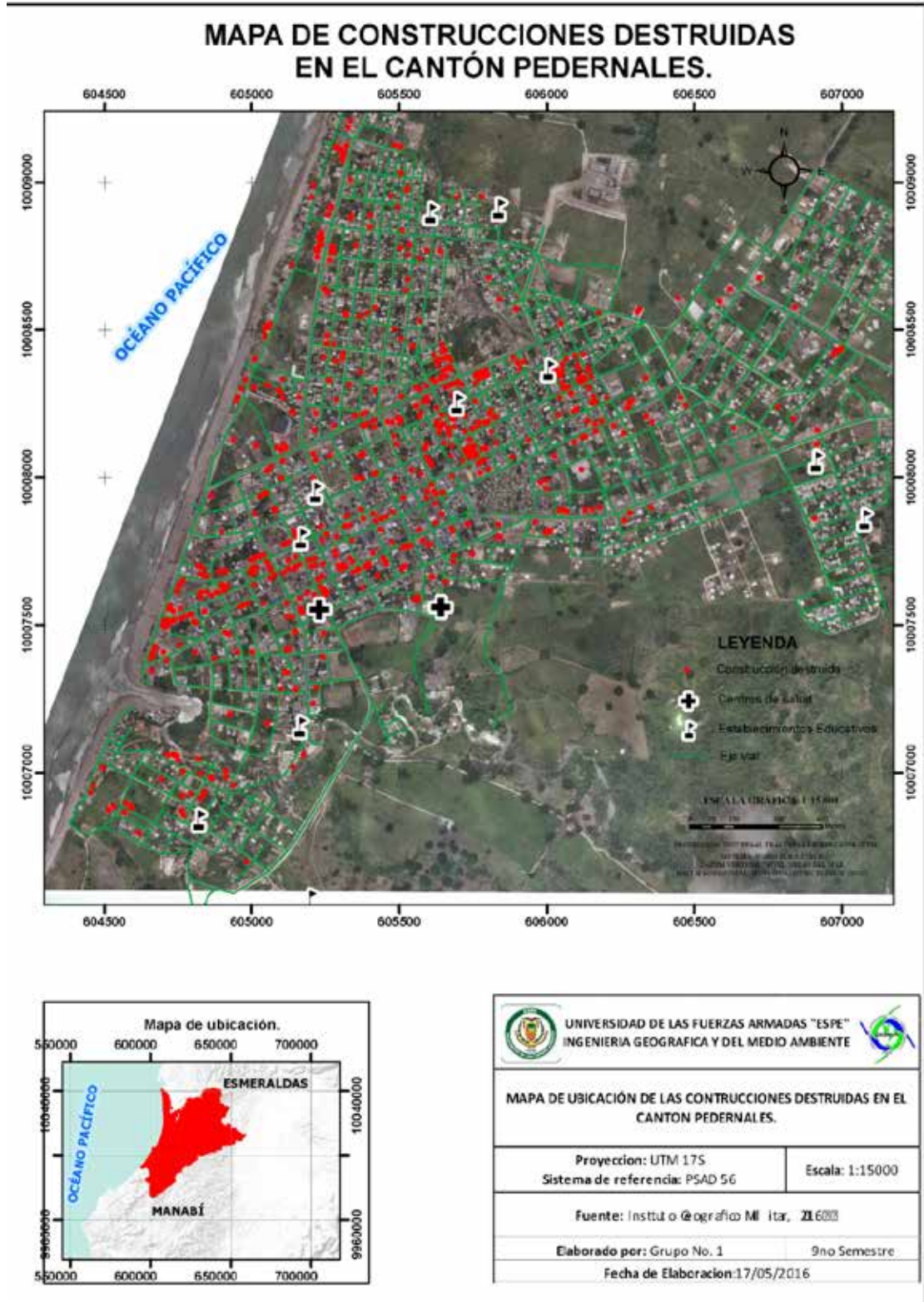


Figura 3. Mapa de Construcciones Destruidas en Pedernales.

**Bibliografía**

- Chunga, K. and Toulkeridis, T., 2014: First evidence of paleo-tsunami deposits of a major historic event in Ecuador. *Journal of Tsunami Hazards Science*, 33: 55-69.
- Jordá-Bordehore, L., Toulkeridis, T., Romero-Crespo, P.L., Jordá-Bordehore, R. and García- Gariazabal, I., 2016: Stability assessment of volcanic lava tubes in the Galápagos using engineering rock mass classifications and by empirical approach. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 89: 55–67.
- Matheus Medina, A.S., Cruz D’Howitt, M., Padilla Almeida, O., Toulkeridis, T. and Haro, A.G., 2016: Enhanced vertical evacuation applications with geomatic tools for tsunamis in Salinas, Ecuador. *Science of Tsunami Hazards*, 35, (3): 189-213
- Nikolaou, S., Vera-Grunauer, X., and Gilsanz, R., eds., 2016. GEER-ATC Earthquake Reconnaissance: April 16 2016, Muisne, Ecuador, Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Association Report GEER-049, Version 1. Authored by: Alvarado, A., Alzamora, D., Antonaki, N., Arteta, C., Athanasopoulos-Zekkos, A., Bassal, P., Caicedo, A., Casares, B., Davila, D., Diaz, V., Diaz-Fanas, G., Gilsanz, R., González, O., Hernandez, L., Kishida, T., Kokkali, P., López, P., Luque, R., Lyvers, G.M., Maalouf, S., Mezher, J., Miranda, E., Morales, E., Nikolaou, S., O’Rourke, T., Ochoa, I., O’Connor, J.S., Ripalda, F., Rodríguez, L.F., Rollins, K., Stavridis, A., Toulkeridis, T., Vaxevanis, E., Villagrán León, N., Vera-Grunauer, X., Wood, C., Yepes, H., Yopez, Y. Accessible at the GEER website [geerassociation.org](http://geerassociation.org), USA: 582pp
- Rodríguez Espinosa, F., Toulkeridis, T., Salazar Martínez, R., Cueva Girón, J., Taipe Quispe, A., Bernaza Quiñonez, L., Padilla Almeida, O., Mato, F., Cruz D’Howitt, M., Parra, H., Sandoval, W. and Rentería, W., 2017: Economic evaluation of recovering a natural protection with concurrent relocation of the threatened public of tsunami hazards in central coastal Ecuador. *J. Tsunami Soc. Int.*, in press
- Rodríguez, F., Cruz D’Howitt, M., Toulkeridis, T., Salazar, R., Ramos Romero, G.E., Recalde Moya, V.A. and Padilla, O., 2016: The economic evaluation and significance of an early relocation versus complete destruction by a potential tsunami of a coastal city in Ecuador. *Journal of Tsunami Hazards Science*, 35, 1: 18-35.
- Toulkeridis, 2011: *Volcanic Galápagos Volcánico*. Ediecuadorial, Quito, Ecuador: 364pp.
- Toulkeridis, T. (editor), 2015: *Algunos elementos fundamentales en el manejo de reducción de riesgo de desastres*. Imprenta de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Ecuador: 182 pp.
- Toulkeridis, T. (editor), 2015: *Amenazas de Origen Natural y Gestión del Riesgo en el Ecuador*. Imprenta de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Ecuador: 180 pp.
- Toulkeridis, T., Arroyo, C.R., Cruz D’Howitt, M., Debut, A., Vaca, A.V., Cumbal, L., Mato, F. and Aguilera, E., 2015: Evaluation of the initial stage of the reactivated Cotopaxi volcano - Analysis of the first ejected fine-grained material. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3, (11): 6947-6976.
- Toulkeridis, T., Chunga, K., Rentería, W., Rodríguez, F., Mato, F., Nikolaou, S., Cruz D’Howitt, M., Besenon, D., Ruiz, H., Parra, H. and Vera-Grunauer, X., 2017c: The 7.8 Mw Earthquake and Tsunami of the 16th April 2016 in Ecuador - Seismic evaluation, geological field survey and economic implications. *J. Tsunami Soc. Int.*, in press
- Toulkeridis, T., Parra, H., Mato, F., Cruz D’Howitt, M., Sandoval, W., Padilla Almeida, O., Rentería, W., Rodríguez Espinosa, F., Salazar martinez, R., Cueva Girón, J., Taipe Quispe, A. and Bernaza Quiñonez, L., 2017: Contrasting results of potential tsunami hazards in Muisne, central coast of Ecuador. *J. Tsunami Soc. Int.*, 36: 13-40
- USGS (United States Geological Survey), 2016: Earthquake Hazards Program. <http://web.archive.org/web/20130502223428/http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqs> [www/Quakes/usc0001xgp.php](http://www.Quakes/usc0001xgp.php)
- Zhao, B., Clauer, N., Robb, L.J., Zwingmann, H., Toulkeridis, T. and Meyer, M.F., 1999: K-Ar dating of micas from the Witwatersrand Basin, South Africa: timing of post-depositional alteration and gold mineralization. *Mineralogy and Petrology*, 66: 149-170.