

OBSERVATORIO SÍSMICO DEL ECUADOR

REPORTE ESPECIAL Nro. 1

SISMO CUMANDÁ, 11 de septiembre, 2018

OBSERVATORIO SÍSMICO DEL ECUADOR (OSSE)

REPORTE ESPECIAL Nro. 1

SISMO CUMANDÁ, 11 de septiembre, 2018

Autores

Edwin Duque Y.

José Tamay G.

Henry Rojas A.

Universidad Técnica Particular de Loja

 Ecuador - Barrio San Cayetano Alto,
calle Marcelino Champagnat s/n

 (07) 3701444

 www.utpl.edu.ec

Grupo de Ingeniería Sísmica y Sismología

 Ecuador - Barrio San Cayetano Alto,
calle Marcelino Champagnat s/n

 (07) 3701444

 epduque@utpl.edu.ec

 <http://www.ingenieriasismica.utpl.edu.ec>



UTPL
UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

GRISS-UTPL
GRUPO DE
INGENIERÍA SÍSMICA Y
SISMOLOGÍA

Contenido

1 GLOSARIO	5
2 ANTECEDENTES	6
3 SISMICIDAD HISTÓRICA	6
3.1 Sismicidad nacional	6
3.2 Sismicidad local	10
4 GEODINÁMICA Y SISMOTECTÓNICA	11
5 DESCRIPCIÓN DEL EVENTO	13
5.1 Intensidades Sísmicas	14
5.2 Registro de aceleraciones sísmicas. Estación Loja-UTPL	15
6 DAÑOS ESTRUCTURALES	16
7 DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	20
8 AGRADECIMIENTOS	21
9 BIBLIOGRAFÍA	22

Índice de figuras

Figura 1	Proceso de subducción entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana. Fuente: Yepes et al. 2016	7
Figura 2	Eventos sísmicos durante el periodo 1960-2018 Fuente: Tamay et al. 2016	8
Figura 3	Número y magnitud de eventos sísmicos en territorio ecuatoriano, en temporalidades: anuales, mensuales y diarias.	9
Figura 4	Profundidades focales de los eventos suscitados durante 1960-2018.	10
Figura 5	Mapa de Isosistas. Fuente: Egred 2000	10
Figura 6	Mapa de sismicidad de la provincia de Chimborazo año 1960-2018	11
Figura 7	Número y magnitud de eventos sísmicos en la provincia de Chimborazo, en temporalidades: anuales, mensuales y diarias.	12
Figura 8	Mecanismos de ruptura del sismo del 6 de septiembre. Fuente: Instituto Geofísico de Ecuador	14
Figura 9	Mapa de intensidades Sísmicas	15
Figura 10	Izq.) Registro de aceleraciones en las componentes N-S, E-W y Z y der) espectro de respuesta de la señal sísmica, Estación LOJA-UTPL	17
Figura 11	Registros de velocidad y desplazamiento registrado por la estación LOJA-UTPL.	18
Figura 12	Afectaciones en inmuebles por efecto del sismo de Cumandá, Chimborazo. Fuentes: MIDUVI, 2018; SGR, 2018	19

Índice de tablas

1	Frecuencias resonantes en los tres componentes sísmicos	15
2	Daños en infraestructura por evento sísmico	16
3	Niveles de daño para diferentes tipos de elementos	20

1. GLOSARIO

Magnitud: La magnitud sísmica es un número que busca caracterizar, de forma objetiva, el tamaño y la energía liberada de un sismo. Mide la energía liberada durante la ruptura de una falla.

Intensidad: La intensidad es una medida cualitativa, no instrumental, de los efectos provocados por un sismo sobre las personas y el grado de daño sobre las estructuras. Ésta no permite medir el movimiento del suelo, pero sí los efectos que este produce en la superficie. No sólo depende de la fuerza del sismo (magnitud) sino que también de la distancia al epicentro, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar.

Espectro de respuesta: Un espectro de respuesta es un gráfico utilizado en los cálculos de ingeniería sísmica, que mide la reacción o respuesta de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta. Existen diferentes tipos de espectros de respuesta según la reacción que se quiera comparar. El más habitual en cálculos sísmicos es el espectro elástico de respuesta, que relaciona la aceleración.

Acelerograma: Un acelerograma es una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un terremoto. Los valores de la aceleración se obtienen mediante unos instrumentos llamados acelerógrafos, que registran la aceleración del suelo según tres direcciones perpendiculares; dos horizontales y una vertical.

Sismicidad: La sismicidad es el estudio de los sismos que ocurren en un lugar en específico. Un sector puede tener alta o baja sismicidad según su frecuencia de ocurrencia de sismos.

Profundidad focal: Distancia vertical entre el epicentro y el hipocentro de un sismo.

Placa tectónica: Una placa tectónica es un fragmento de litosfera que se mueve como un bloque relativamente rígido sobre la astenosfera.

Epicentro: El epicentro es el punto en la superficie de la Tierra que se encuentra sobre la proyección vertical del hipocentro o foco de un sismo.

Hipocentro: El hipocentro o foco de un terremoto o foco sísmico, es el punto interior de la Tierra donde se inicia un movimiento sísmico o terremoto.

Subducción: La subducción de placas es el proceso de hundimiento de una zona oceánica de una placa litosférica bajo el borde de otra placa en un límite convergente.

2. ANTECEDENTES

Ecuador, por su ubicación geográfica (Cinturón de Fuego del Pacífico), es una de las zonas de mayor actividad sísmica a nivel del mundo, aquí se han desencadenado eventos de gran magnitud (p.ej: sismo de 8,8*Mw*, Esmeraldas 1906) que han ocasionado graves pérdidas humanas, sociales, económicas (Lanning et al. 2016). La principal causa de esta condición de alta peligrosidad sísmica se debe a la subducción de tipo ortogonal que se presenta entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana (Ver Figura 1), aquí la placa marina (Nazca) subducente se hunde con un ángulo que varía entre 25 y 35° (Guillier et al. 2001), a una velocidad aproximada de 56*mm.y*⁻¹ (Kendrick et al. 2003), esto produce una deformación de la placa superior que es particionada por el movimiento NE del Bloque Norandino, a esto se suma un complejo sistema de fallas locales superficiales que producen sismos importantes en gran parte del territorio ecuatoriano (MIDUVI 2015).

Aunque todo el país presenta una amenaza sísmica alta, la zonificación establecida en la Norma Ecuatoriana determina la existencia de seis zonas sísmicas con tres categorías generales: Intermedia, Alta y Muy Alta (MIDUVI 2015).

En el presente documento se realiza un análisis del sismo suscitado el día jueves 6 de septiembre del presente año en Cumandá, provincia de Chimborazo, para lo cual se ha utilizado información generada por el Instituto Geofísico de la Universidad Politécnica Nacional equivalente a 58 *años* (1960-2018), la misma que ha sido procesada y analizada por el equipo técnico del Observatorio Sísmico del Ecuador (OSSE) a través del Grupo de Ingeniería Sísmica y Sismología de la Universidad Técnica Particular de Loja (GRISS-UTPL).

3. SISMICIDAD HISTÓRICA

3.1. Sismicidad nacional

A escala nacional, Ecuador ha presentado fuertes eventos de tipo sísmico a lo largo de la historia, eventos que han sido atribuidos tanto a la naturaleza tectónica como volcánica del país (interplaca e intraplaca). El registro sísmico de los últimos 400 *años* establece que en Ecuador se han producido al menos 133 eventos de intensidad igual o mayor a *VI* en la escala de Mercalí, y 37 eventos han sido superiores a magnitudes de 7*Mw* (Nikolaou et al. 2017). A continuación, se muestra un análisis de la sismicidad en el Ecuador y específicamente en la provincia de Chimborazo. La data analizada comprende desde 1960 hasta 2018 y se puede identificar variables como número, magnitud y frecuencia

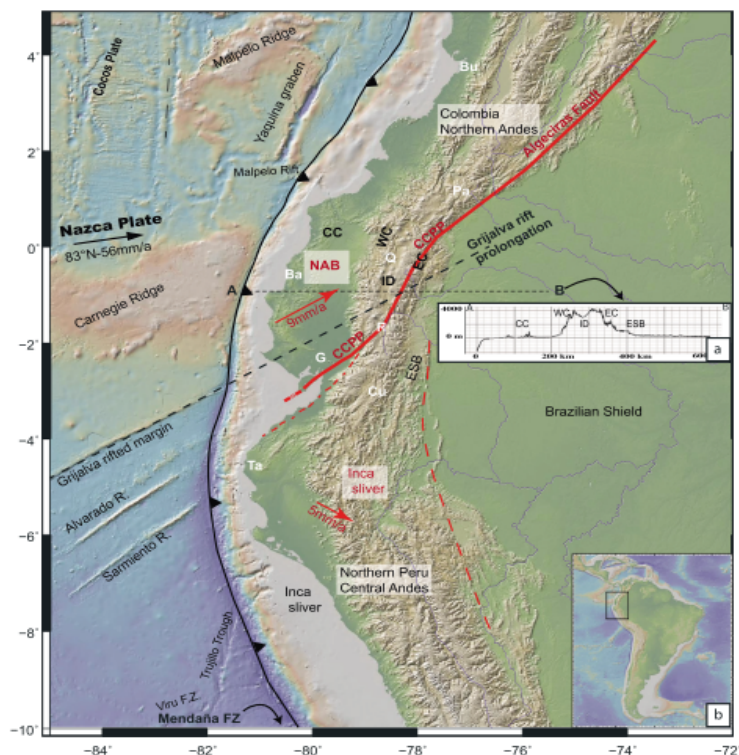


Figura 1: Proceso de subducción entre la placa oceánica de Nazca y la placa continental Sudamericana.

Fuente: Yepes et al. 2016

de eventos registrados. Estas variables son analizadas en periodos temporales anuales, mensuales y diarios, mientras que, para la localización espacial se utiliza coordenadas sexagesimales. Así mismo se muestra una clasificación de los eventos sísmicos según su profundidad focal de tipo: superficial ($0\text{km} - 70\text{km}$), intermedio ($71\text{km} - 300\text{km}$) y profundo (mayor a 301km). En todos los casos las magnitudes registradas son mayores a $4,5Mw$.

En la figura 2, se indica la ubicación espacial de los eventos suscitados en el Ecuador y sus fronteras (Ecuador-Colombia, Ecuador-Perú). De la gráfica se puede advertir la elevada actividad sísmica del país, destacando zonas como la costa ecuatoriana, así como la zona oriental caracterizada por sismos de profundidad intermedia.

En la Figura 3.a., el histograma muestra la cantidad de sismos anuales ocurridos en el país, aquí se puede identificar que los años 1979 y 2016 registran mayor cantidad de eventos, 93 y 120 respectivamente. La razón por la cual estos años describen valores máximos tiene que ver con la ocurrencia de dos grandes eventos: Tumaco 1979 (Frontera Ecuador-Colombia) y Pedernales 2016, esto, sumado a las réplicas que acompañaron a

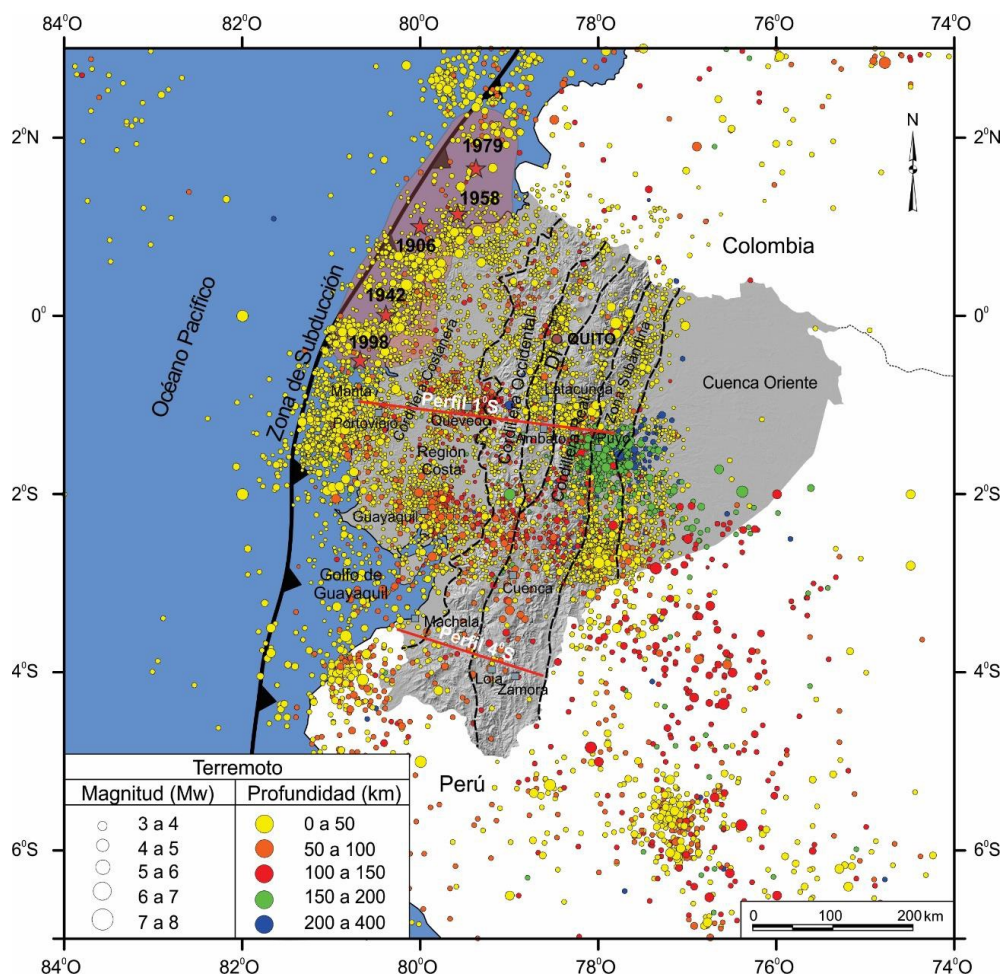


Figura 2: Eventos sísmicos durante el periodo 1960-2018

Fuente: Tamay et al. 2016

cada uno de los eventos, que incrementan el valor del registro anual. Así mismo, en estos años las magnitudes registradas son las máximas del historial, con valores de $8,1Mw$ (1979) y $7,6Mw$ (2016), ver figura 3.b. Finalmente se puede indicar que el promedio de eventos por año en el Ecuador es de 33,4 y el promedio anual de máximas magnitudes es de $6,31Mw$.

Así mismo, se puede identificar que los meses que tienen mayor actividad sísmica son abril y diciembre con 226 y 239 eventos respectivamente. De igual manera en estos meses se registran los mayores valores de máxima magnitud mensual, $7,6Mw$ y $8,10Mw$ (Ver figura 3.c y figura 3.d). El análisis realizado previamente permite identificar dos cuatrimestres de alta sismicidad en el país, marzo-junio y septiembre-diciembre en función de las siguientes variables: máxima magnitud mensual y número de sismos mensual. Finalmente, cuando el análisis de información se lo realiza considerando un periodo de tiempo

diario, se puede identificar que no existe un comportamiento sísmico en particular.

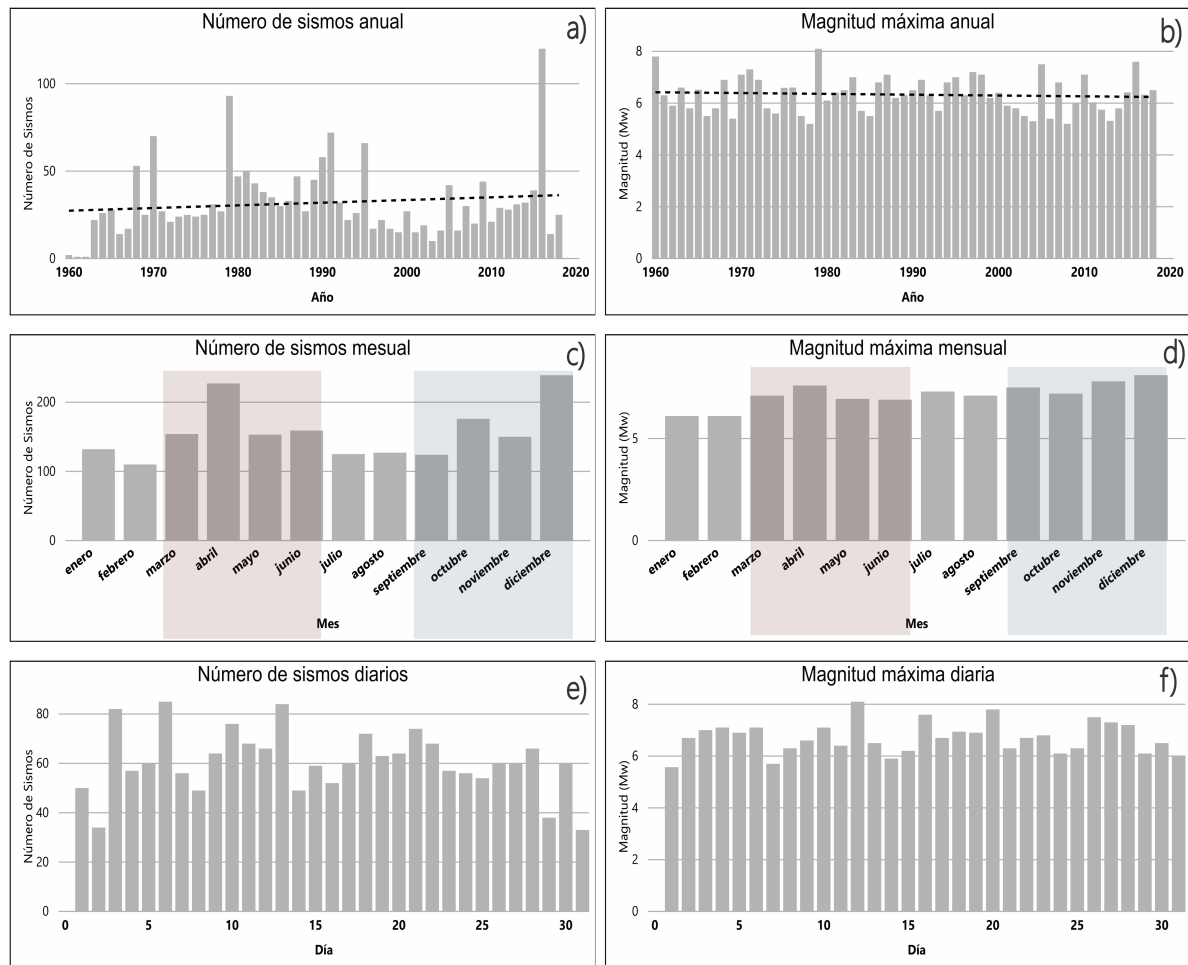


Figura 3: Número y magnitud de eventos sísmicos en territorio ecuatoriano, en temporalidades: anuales, mensuales y diarias.

Por otro lado, en Figura 4.a., se grafican las profundidades focales en función de su longitud. Valores de menor longitud (izquierda de la gráfica “a”) corresponde a la Costa ecuatoriana mientras que valores de mayor longitud (derecha de la gráfica “a”) corresponde a la Sierra y Oriente. La ilustración permite identificar que en la Costa, los eventos sísmicos son superficiales ($0km - 40km$) y que conforme se introduce al continente, la profundidad focal aumenta. En línea roja se ha dibujado el perfil de subducción formado por las placas de Nazca y Sudamericana, aquí se puede identificar cómo los eventos sísmicos se van profundizando conjuntamente con el perfil de subducción. Eventos suscitados sobre el perfil de subducción se atribuyen a mecanismos de falla intraplaca. En Figura 4.b., se muestra una clasificación de los eventos según su profundidad focal, se puede ver que aproximadamente el 75 % de los eventos son superficiales y los restantes

intermedios (no hay presencia de eventos profundos en el Ecuador).

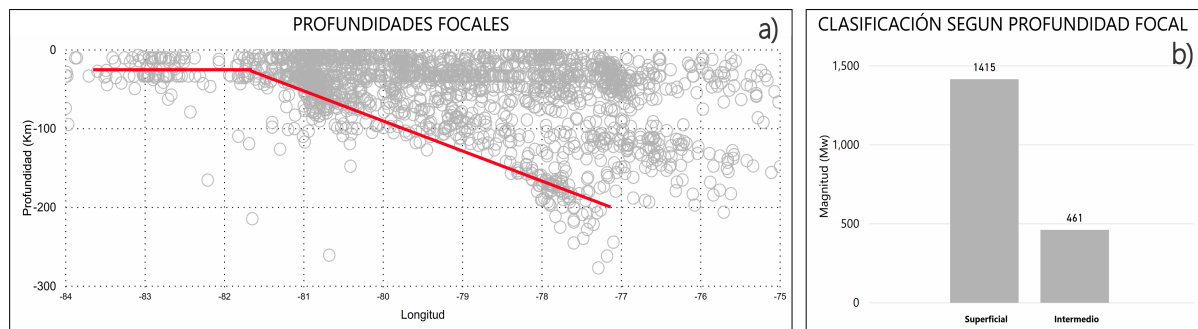


Figura 4: Profundidades focales de los eventos suscitados durante 1960-2018.

3.2. Sismicidad local

El registro histórico evidencia que en la zona del epicentro han ocurrido al menos 10 eventos sísmicos con intensidad mayor a *VIII* (Daños severos en estructuras mal diseñadas). Entre los que destacan el de Riobamba de 1797, este evento se registró a las 7:45 del 4 de febrero de 1797 y tuvo una magnitud de 8,3 (Gutenberg-Richter) e intensidad máxima de 11*k* (escala MKS) en la zona del epicentro y se llegó a sentir en el sur de Colombia y norte del Perú con intensidad *III* (Figura 5). Producto de este evento la ciudad de Riobamba tuvo que ser reubicada registrando al menos 25000 damnificados. Además, se registraron daños estructurales en las provincias de Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha y Bolívar (Beauval et al. 2010)

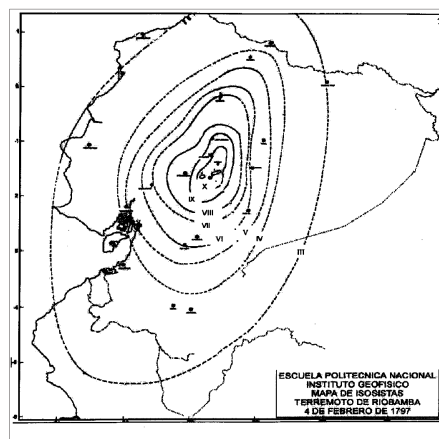


Figura 5: Mapa de Isosistas.

Fuente: Egred 2000

En los últimos años la sismicidad de la zona se categoriza como moderada, registrando 16 eventos mayores a $4,5Mw$ (Figura 6). Entre estos se puede destacar el evento ocurrido en Alausí del 8 de abril de 1961. El terremoto fue sentido en todo el Ecuador y los daños se concentraron en el sur de la provincia evidenciando el colapso de estructuras de adobe mayoritariamente (Beauval et al. 2010).

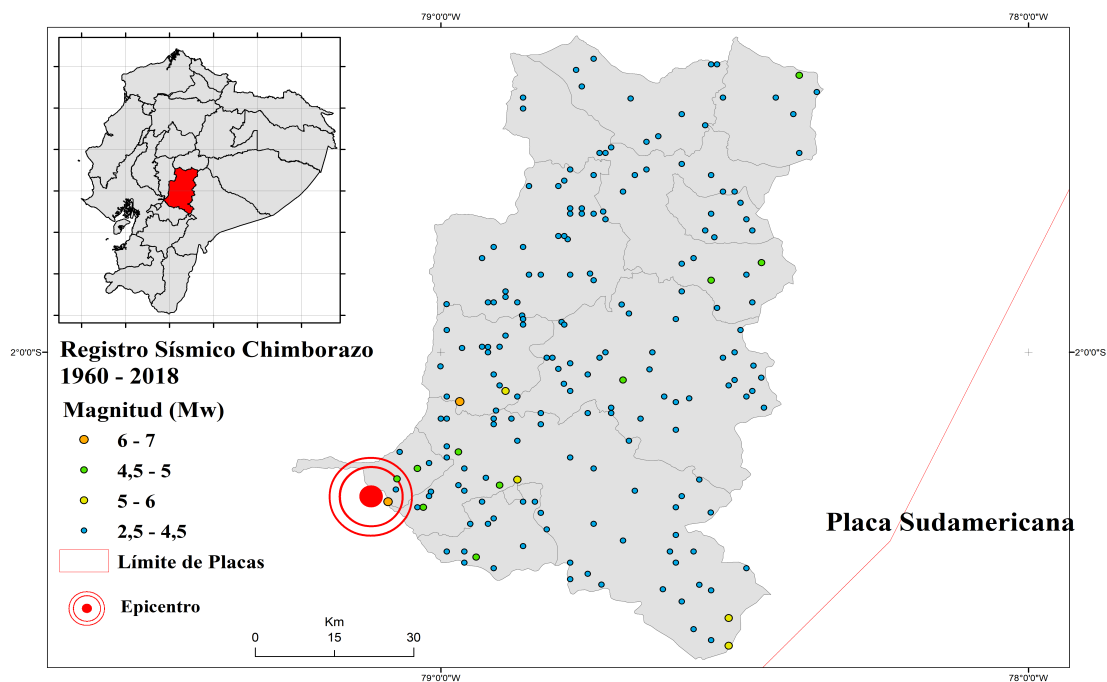


Figura 6: Mapa de sismicidad de la provincia de Chimborazo año 1960-2018

En la figura 7, se muestra el análisis del sísmico de la provincia de Chimborazo, periodo 1960-2018. Se puede evidenciar que la sismicidad de la provincia en el periodo de análisis es baja con respecto a la del país (aproximadamente representa el 1 % de los eventos nacionales) sin embargo la peligrosidad sísmica de la provincia es alta según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015), categorizándola con nivel *V* de *VI* existentes, esta categorización está sustentada en la gran sismicidad histórica de la zona (~ 300 años). Por otro lado, se puede evidenciar que el promedio de máximas magnitudes de la provincia es de $5,12Mw$ y de 1,14 eventos por años. Así mismo se puede mencionar que el evento del pasado jueves 6 de septiembre del 2018, corresponde a uno de los eventos de mayor magnitud junto con los suscitados en los años 1991 y 1961.

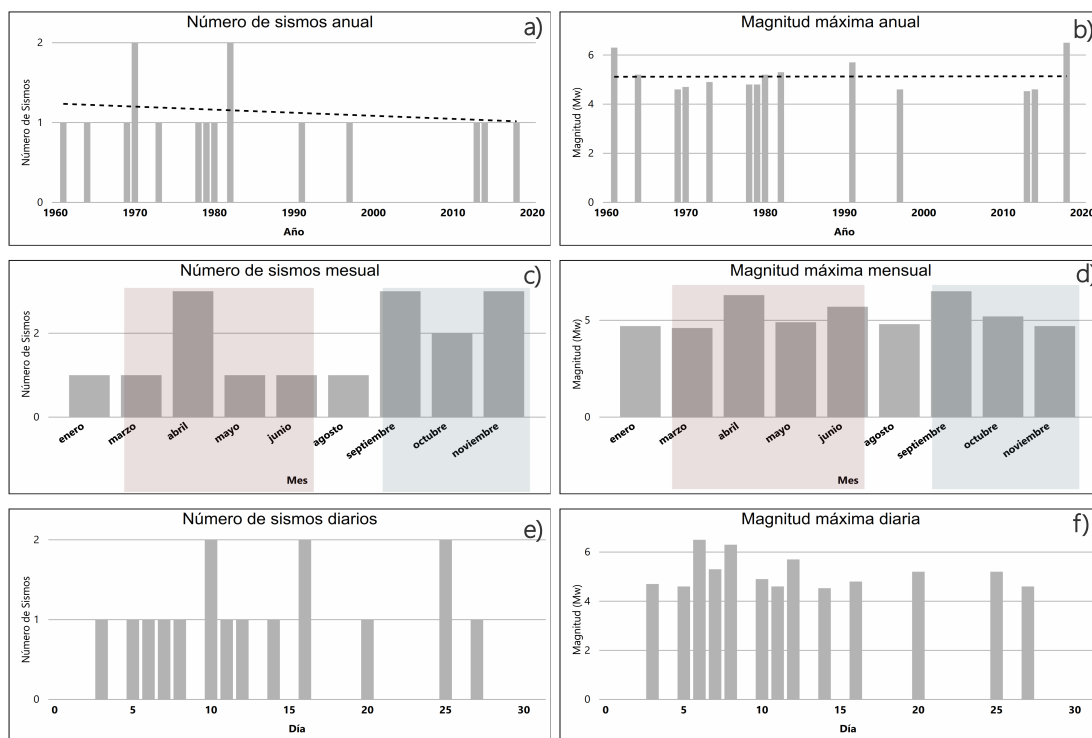


Figura 7: Número y magnitud de eventos sísmicos en la provincia de Chimborazo, en temporalidades: anuales, mensuales y diarias.

4. GEODINÁMICA Y SISMOTECTÓNICA

La geodinámica de Ecuador está caracterizada por el límite de placas convergentes que conforman una trinchera paralela que se extiende en dirección NNE-SSO al margen continental. En él se inicia la subducción de las placas oceánica de Nazca que incluye la Cordillera de Carnegie bajo la corteza continental de la placa Sudamericana formando un arco volcánico muy activo. Trabajos investigativos realizados por Nocquet et al. (2009), indica que la placa de Nazca converge a lo largo del margen ecuatoriano a una velocidad de $55 - 58.y^{-1}$ en dirección $N83^{\circ}E$, valores próximos a los de Collot et al. (2009) que determina que el movimiento relativo entre Nazca y Sudamérica es de $56.y^{-1}$ en la misma dirección, y el de Trenkamp et al. (2002) que muestra que la subducción de Nazca frente a la costa ecuatoriana es de $58 \pm 2.y^{-1}$. Sin embargo, el movimiento del Bloque Norandino, sería una de las consecuencias de la subducción oblicua de la placa de Nazca y el acoplamiento interplacas ocasionado por el desplazamiento de la Cordillera de Carnegie (Gutscher et al., 1999; Trenkamp et al., 2002; Witt y Burgois, 2009; Beauval et al., 2010; Nocquet et al., 2014).

El Bloque Norandino en el margen de Ecuador, está limitado a través del sistema de fallas de desgarre dextral con dirección noreste y de fallas inversas en dirección norte. Inicia en el Golfo de Guayaquil a través de la falla Puná-Pallatanga que cruza la Cordillera Occidental en dirección a la Depresión Interandina. Hacia el norte en la frontera con Colombia el límite lo conforma la falla Chingual-La Sofía (Segovia y Alvarado, 2009; Beauval et al., 2010; Alvarado et al., 2014). Este sistema de fallas tiene un movimiento en dirección N35°E, y una velocidad estimada entre 6 a 9 **mm/año** (Segovia y Alvarado, 2009; Nocquet et al., 2009; Trenkamp et al., 2002; Egbue y Kellog, 2010; Alvarado et al., 2014). El movimiento de estas fallas produciría la subsidencia del Golfo de Guayaquil.

El Ecuador se encuentra atravesado de NNE a SSO por la cordillera de los Andes, que forma cadenas montañosas y subdivide el país en varios dominios morfoestructurales: la región Costa, región Sierra y la cuenca Oriente. La evolución geológica de Ecuador es consecuencia de la yuxtaposición de terrenos alóctonos de origen oceánico sobre terrenos autóctonos del margen sudamericano compuesto por rocas volcánicas, metamórficas y secuencias sedimentarias marinas y continentales (Feininger y Bristow 1980; Aspden y Litherland, 1992; Jaillard et al., 1995 y 1997; Litherland et al., 1993, Litherland et al., 1994, Reynaud et al., 1999; Spikings et al., 2001; Hughes y Pilatasig, 2002; INIGEMM, 2017).

La zona del epicentro, geológicamente se encuentra ubicado en el borde oeste de la Cordillera Occidental que corresponde a la formación Macuchi. La cordillera Occidental, está constituida por varios terrenos de origen oceánico que fueron acrecionados al margen continental entre el Cretácico y el Eoceno (Feininger y Bristow 1980; Bourgois et al., 1990; Hughes y Pilatasig, 2002; Kerr et al., 2002; Jaillard et al., 2004; Pratt et al., 2005; Spikings et al., 2005; Vallejo et al., 2006), entre estos se destacan los terrenos, Pallatanga y Macuchi, separados por la zona regional de cizalla Chimbo-Toachi (Hughes y Bermúdez, 1997; Hughes y Pilatasig, 2002). El terreno más antiguo, Pallatanga, aflora a lo largo del borde Este de la Cordillera Occidental y está separado del margen continental (Cordillera Real) por la zona de sutura (falla Calacalí-Pujilí-Pallatanga), que representa la sutura oceáno-continente durante del Cretácico Superior (Hughes y Pilatasig 2002; Vallejo et al., 2009). El terreno más joven es Macuchi, que se extiende en el borde oeste de la Cordillera Occidental (McCourt et al., 1997). Está formado por una secuencia vulcano-sedimentaria de arco de isla de composición basáltica a andesítica con edades del Paleoceno al Eoceno inferior (Egüez, 1986; Hughes y Pilatasig, 2002; Spikings et al., 2005). La acreción del terreno Piñón Pallatanga durante el Cretácico Superior constituye el evento tectono-metamórfico más importante y responsable de la formación de la Cordillera Occidental.

5. DESCRIPCIÓN DEL EVENTO

La zona del epicentro se ubica en las estribaciones de la Cordillera Occidental, con un sismo de magnitud $6,2M_w$, con epicentro a $6km$ al sur de la población de Cumandá (Provincia de Chimborazo) y a unos $80km$ al E de la ciudad de Guayaquil con una profundidad de $90km$. El mecanismo de ruptura es de carácter normal, que se relaciona con una fractura en la placa de Nazca, que está en subducción bajo la placa Sudamericana.

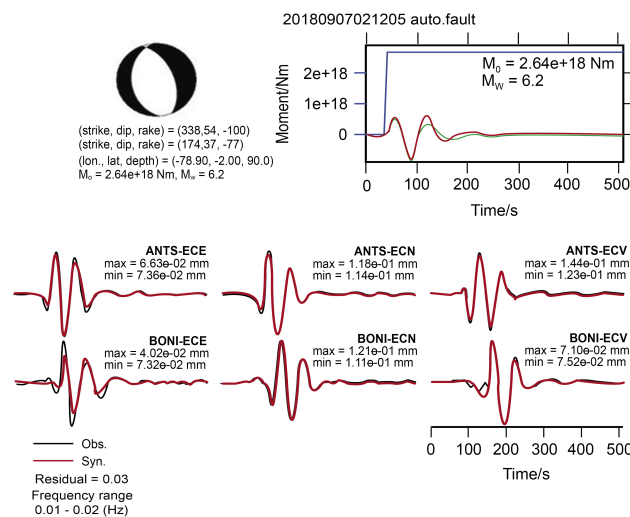


Figura 8: Mecanismos de ruptura del sismo del 6 de septiembre.
 Fuente: Instituto Geofísico de Ecuador

5.1. Intensidades Sísmicas

El sismo fue sentido en las tres regiones continentales del Ecuador: Sierra, Costa y Oriente. En la zona del epicentro se registraron intensidades de V de un máximo de XII (EMS-98). La categoría V indica que el evento fue “fuerte” y puede causar daños como ruptura de ventanas y objetos de vidrio, así como agrietamiento y colapso de mampostería débil. Otras provincias que registraron esta intensidad fueron: Guayas, Bolívar, Cañar y Azuay. En la provincia de Loja el sismo fue sentido con intensidad IV , definida como “Ampliamente observado” esta categoría indica que las vibraciones son moderadas y generalmente no se presentan daños estructurales. Mientras que en la provincia del Oro y Zamora Chinchipe la intensidad fue de III . En general el evento puede ser categorizado como de moderado a fuerte.

Es importante recordar que la intensidad es una unidad de medida de los sismos que,

relaciona los efectos sobre las personas y el grado de daño sobre las estructuras a diferencia de la magnitud que, cuantifica la cantidad de energía producida en el foco de un terremoto.

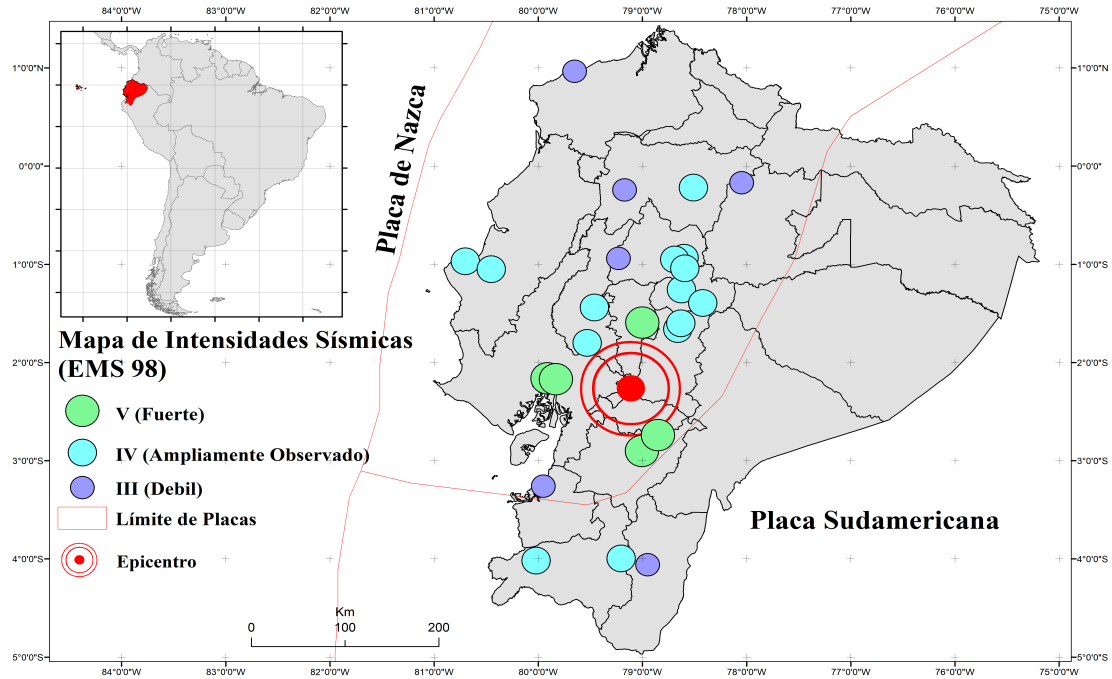


Figura 9: Mapa de intensidades Sísmicas

5.2. Registro de aceleraciones sísmicas. Estación Loja-UTPL

El Grupo de Investigación de Ingeniería Sísmica y Sismología de la UTPL (GRISS-UTPL) a través de Observatorio Sísmico del Ecuador (OSSE) se encuentra implementando una red de acelerógrafos que serán instalados en la Zona de Planificación Siete. Actualmente se encuentra operativa la estación Loja-UTPL, la misma que ha generado registros sísmicos desde el año 2017 hasta la actualidad. Esta estación ha permitido registrar la señal sísmica generada en la ciudad de Loja por el evento suscitado el pasado jueves 6 de septiembre en Cumandá-Chimborazo.

En la Figura 10, se muestra el acelerograma en las tres direcciones del terremoto: Norte-Sur (N-S), Este-Oeste (E-W) y Vertical (Z). La señal sísmica tiene una duración de 60s con valores máximos de $53,05mm/s^2$ para la componente N-S, $54,86mm/s^2$ para la componente E-W y $44,35mm/s^2$ componente Z. En la columna derecha se grafica el espectro de respuesta para cada una de las señales sísmicas considerando amortiguamiento del

2 % y 5 %. Los espectros de respuesta permiten identificar las frecuencias resonantes, las mismas que se describen a continuación.

Tabla 1: Frecuencias resonantes en los tres componentes sísmicos

Componente	Frecuencia resonante [1/s]	Aceleración [mm/s^2]
N-S	3.09	456
E-W	2.57	403
Z	8.91	305

Así mismo en la Figura 11, se muestra los registros de velocidad y desplazamiento. Los valores máximos de velocidad son: $3,62mm/s$, $3,57mm/s$ y $2,28mm/s$ para las componentes N-S, E-W y Z, respectivamente. Mientras que los valores máximos de desplazamiento fueron de $0,35mm$, $0,27mm$ y $0,22mm$ para las componentes N-S, E-W y Z respectivamente.

6. DAÑOS ESTRUCTURALES

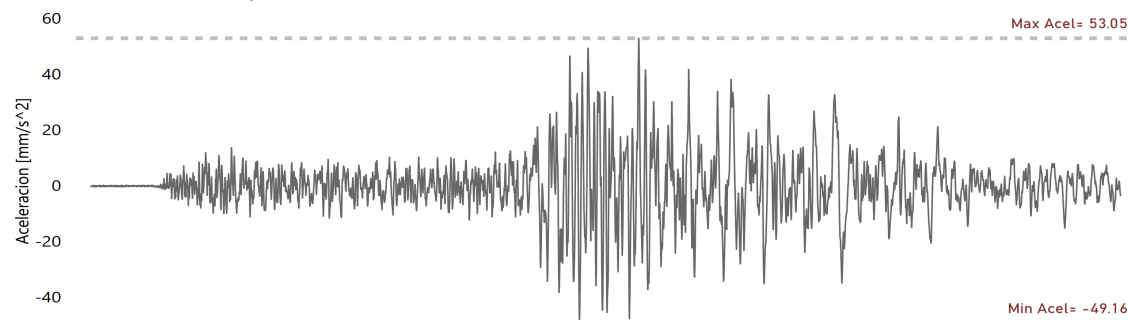
Tras el movimiento telúrico, se reporta, a través del informe preliminar Nro. 7 de la Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador que, en total 807 personas resultaron afectadas, entre ellos 46 damnificados y al menos seis personas presentaron algún tipo de herida leve. Además, varios inmuebles presentaron daños moderados y leves, en su gran mayoría ubicados en las zonas cercanas al epicentro, en las provincias de Chimborazo y Bolívar. El informe actualizado de esta cartera de Estado, establece el siguiente reporte:

Tabla 2: Daños en infraestructura por evento sísmico

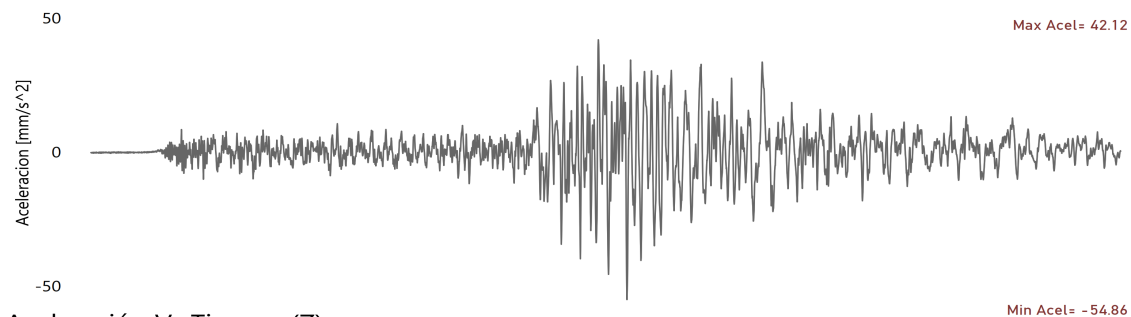
Infraestructura afectada	Provincia
220 viviendas afectadas	Bolívar, Chimborazo, Santo Domingo de Tsáchilas, Tungurahua
13 Viviendas destruidas	Bolívar, Chimborazo, Los Ríos
24 Unidades de salud afectadas	Manabí, Cotopaxi, Chimborazo, Pastaza, Azuay, Cañar
106 Unidades educativas	Azuay, Bolívar, Cañar, Chimborazo, Cotopaxi, Guayas, Los Ríos, Manabí, El Oro (dato aún por validar), Santa Elena

Asimismo, los reportes incluyen al menos $900m$ de carretera afectada, en tramos como la vía Alausí-Chunchi, al igual que cortes de energía en ciudades como Babahoyo, Guano y Chunchi. Las siguientes fotografías muestran parte de los daños producidos por el sismo.

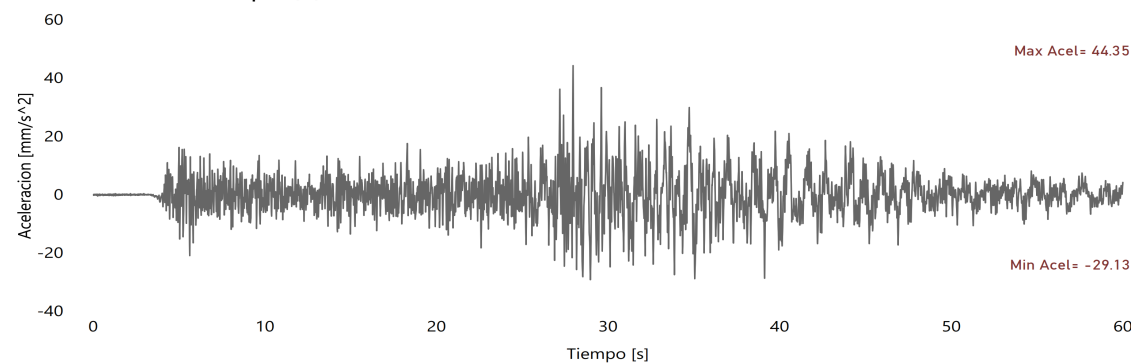
Aceleración Vs Tiempo (N-S)



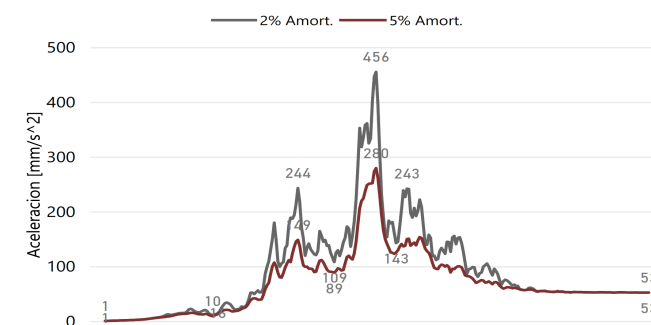
Aceleración Vs Tiempo (E-W)



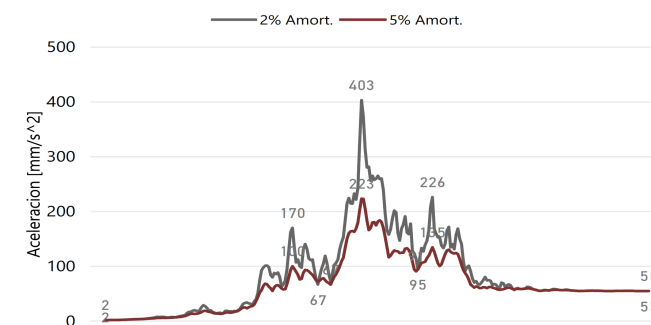
Aceleración Vs Tiempo (Z)



Espec. Respuesta (N-S)



Espec. Respuesta (E-W)



Espec. Respuesta (Z)

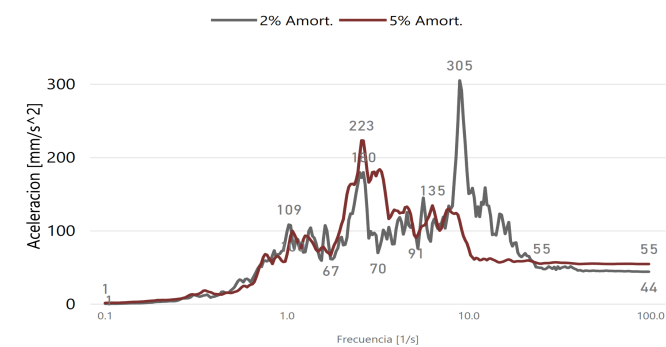
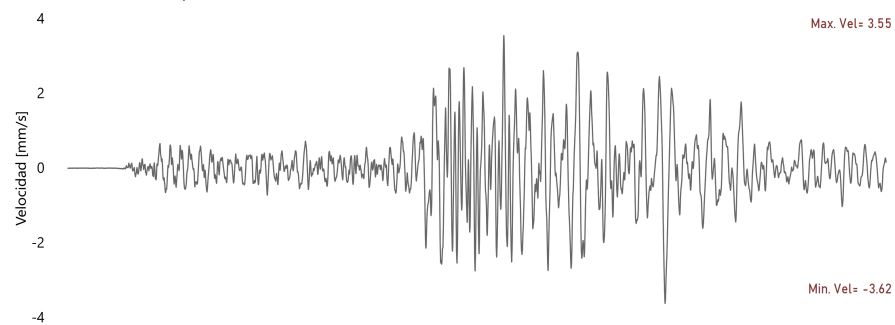
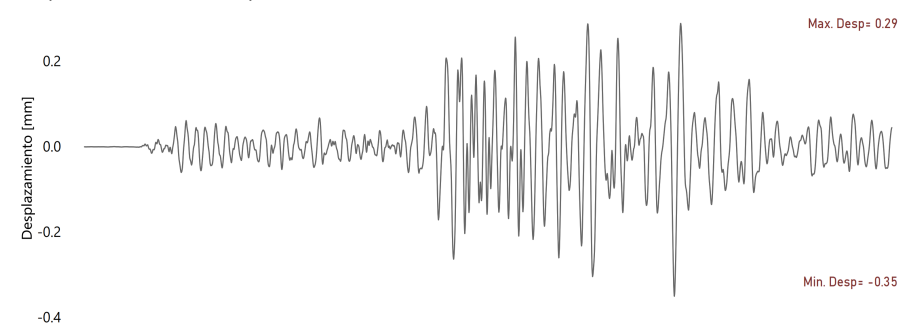


Figura 10: Izq.) Registro de aceleraciones en las componentes N-S, E-W y Z y der) espectro de respuesta de la señal sísmica, Estación LOJA-UTPL

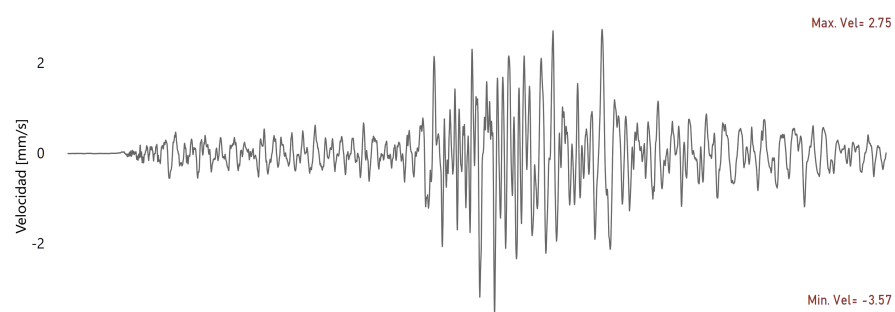
Velocidad Vs Tiempo (N-S)



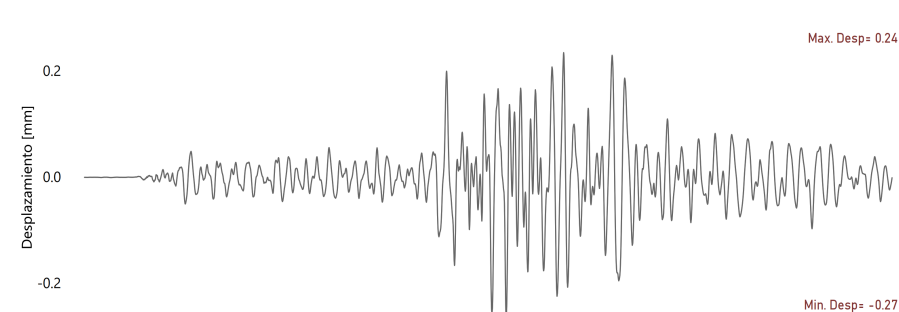
Desplazamiento Vs Tiempo (N-S)



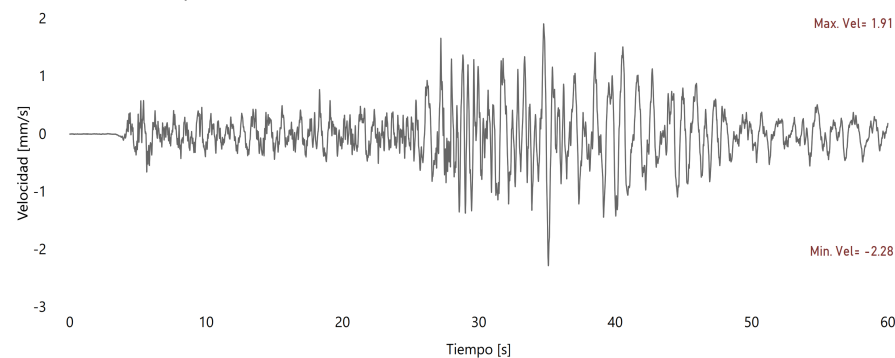
Velocidad Vs Tiempo (E-W)



Desplazamiento Vs Tiempo (E-W)



Velocidad Vs Tiempo (Z)



Desplazamiento Vs Tiempo (Z)

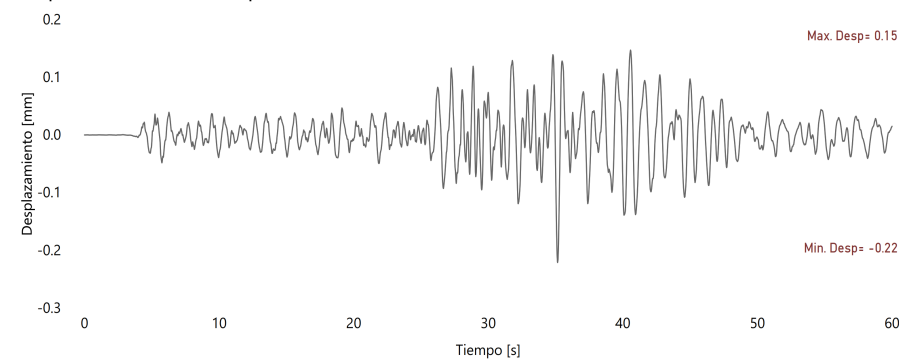


Figura 11: Registros de velocidad y desplazamiento registrado por la estación LOJA-UTPL.



a) Daño severo en mampostería



b) Daños en viviendas, cantón Chimbo.



c) Colapso de paredes.



d) Colapso de vivienda en Los Ríos



e) Daños en mampostería,



f) Daños en ventanales y fisuras, Chimborazo.

Figura 12: Afectaciones en inmuebles por efecto del sismo de Cumandá, Chimborazo.

Fuentes: MIDUVI, 2018; SGR, 2018

7. DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Tabla 3: Niveles de daño para diferentes tipos de elementos

Niveles	TIPO DE ELEMENTO		
	Paredes y muros divisorios y de fachada	Cielos rasos y luminarias	Cubiertas
Ninguno/ Muy leve	Fisuras muy leves sobre la superficie de la pared, difícilmente visibles con espesores menores a 0,2 mm	No hay daño aparente	Caída de pocas tejas o láminas o deslizamiento de las mismas
Leve	Agrietamiento visible sobre la superficie de la pared, con espesores entre 0,2 mm y 1,0 mm	No existe daño significativo y no hay riesgo aparente para las personas	Caída y falla de varias tejas o láminas que sufren deslizamiento, entre el 15 % y el 30 %
Moderado	Agrietamiento diagonal incipiente, grietas considerablemente grandes con espesores entre 1,0 mm y 3,0 mm en la superficie de la pared	Se pueden observar daños, pero éstos no representan un peligro aparente para la seguridad	Deslizamiento, caída y falla de un número considerable de tejas, entre el 30 % y el 45 %, sin presentar desnivel en el techo
Fuerte	Agrietamiento diagonal severo, con espesores de grieta mayores a 3,0 mm y dislocación de piezas de mampostería	Agrietamiento moderado o colapso parcial	Deslizamiento y caída generalizada de tejas o láminas, entre el 45 % y el 60 %, problemas en los apoyos de correas o cerchas
Severo	Desprendimiento de partes de piezas, aplastamiento local de la mampostería, desplome o inclinación considerable de la pared	Pérdida de anclaje o apoyo del cielo raso y luminarias	Daño severo o falla notable en las correas en las correas o cerchas de la cubierta, deslizamiento, caída y falla de prácticamente todos los acabados exteriores de la cubierta

Luego de cualquier evento sísmico, el punto más importante, como medida de respuesta, es la verificación de la condición física de todos los presentes. Si el sismo fue de características fuertes, es necesario el proceso de corte de suministros de gas, energía y agua, para evitar daños de mayor magnitud. Si las condiciones son adecuadas, se debe proceder a la evaluación de la estructura.

Los daños en elementos no estructurales, como paredes, cubiertas, entrepisos, cielos rasos, luminarias, entre otros se deben por lo general a una unión inadecuada, o a la falta de rigidez

de la misma, lo cual deriva en grandes deformaciones que no pueden ser absorbidas por este tipo de elementos. Las afectaciones a elementos no estructurales más frecuentes son el agrietamiento de paredes, desprendimiento de acabados, la rotura de vidrios y de instalaciones de diferente clase. Se debe tener en cuenta que la falla o desprendimiento de elementos no estructurales puede representar un riesgo para la vida, sin embargo, generalmente no ocasiona el colapso de la estructura. Tras el sismo, descrito en el presente reporte, la mayor parte de los daños suscitados son del tipo no estructurales. Así, en la tabla 3, se describe un proceso de evaluación de daños para este tipo de elementos.

8. AGRADECIMIENTOS

El presente documento ha sido realizado gracias al aporte de los egresados de la Titulación de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica Particular de Loja: Darío Erreyes y Freddy Ordoñez.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A., Audin, L., Nocquet, J. M., Lagreulet, S., Segovia, M., Font, Y., Lamarque, G., Yepes, H., Mothes, P., Rolandone, F., Jarrin, P., Quidelleur, X. (2014). Active tectonics in Quito, Ecuador, assessed by geomorphological studies, GPS data, and crustal seismicity. *Tectonics*, 33(2), 67-83.
- Aspden, J. A., Litherland, M. (1992). The geology and Mesozoic collisional history of the Cordillera Real, Ecuador. *Tectonophysics*, 205(1-3), 187-204.
- Beauval, C., H. Yepes, W. H. Bakun, J. Egred, A. Alvarado, and J. Singaicho. 2010. Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587-1996). *Geophysical Journal International* 181:1613–1633.
- Bourgois, J., Eguez, A., Butterlin, J., De Wever, P., (1990). Évolution géodynamique de la Cordillere Occidentale des Andes d'Équateur: la découverte de la formation éocène d'Apagua. *Compte Rendu Academie des Sciences Paris* 311 (II), 173–180.
- Collot, J., F. Michaud, A. Alvarado, B. Marcaillou, M. Sosson, G. Ratzov, S. Migeon, A. Calahorrano, and A. Pazmiño. 2009. Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador-Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie. Egbue, O., Kellogg, J. (2010). Pleistocene to present North Andean “escape”. *Tectonophysics*, 489(1), 248-257.
- Egüez, A. (1986). Evolution Cénozoïque de la Cordillère Occidentale septentrionale d'Equateur (0 15'S-1 10'S): les minéralisations associées. Unpublished thesis University Paris VI.
- Egred, J. 2000. El terremoto de Riobamba. Abya-Yala. Quito, Ecuador.
- Feininger, T., Bristow, C.R. (1980). Cretaceous and Paleogene geologic history of coastal Ecuador. *Geologische Rundschau*, 69(3), 849-874.
- Guillier, B., J. Chatelain, E. Jaillard, H. Yepes, J. Poupinet, and J. Fels. 2001. Seismological evidence on the geometry of the orogenic system in central-northern Ecuador (South America). *Geophysical Research Letters* 28:94–116.
- Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S., Collot, J. Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. *Earth and Planetary Science Letters*, 168(3), 255-270.
- Hughes, R. A., Bermudez, R. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0–1 S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Informacion Cartografica y Geologica, CODIGEM–BGS, Quito, Informe, 4.
- Hughes, R. A., Pilatasig, L. F. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cor-

dillera Occidental of the Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 345(1), 29-48.

INIGEMM. (2017). Mapa Geológico de la República del Ecuador, Escala 1:1,000,000

Jaillard, E., Ordonez, M., Suarez, J., Toro, J., Iza, D., Lugo, W. (2004). Stratigraphy of the late Cretaceous–Paleogene deposits of the Cordillera Occidental of central Ecuador: geodynamic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 17(1), 49-58.

Jaillard, E., Ordoñez, M., Benitez, S., Berrones, G., Jiménez, N., Montenegro, G., Zambrano, I. (1995). Basin development in an accretionary, oceanic-floored fore-arc setting: southern coastal Ecuador during late Cretaceous-late Eocene time. In A. J. Tankard, R. Suárez S., and H. J. Welsink, *Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62*, p. 615-631.

Jaillard, E., Caron, M., Dhondt, A., Ordoñez, M., Andrade, R., Bengtson, P., Huacho, J. (1997). Síntesis estratigráfica y sedimentológica del Cretáceo y Paleógeno de la cuenca oriental del Ecuador. Orstom-Petroproduccion Publication, Quito.

Kendrick, E., M. Bevis, R. Smalley, B. Brooks, R. B. Vargas, E. Lauría, and L. P. S. Fortes. 2003. The Nazca-South America Euler vector and its rate of change. *Journal of South American Earth Sciences* 16:125–131.

Kerr, A. C., Aspden, J. A., Tarney, J., PILATASIG, L. F. (2002). The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western Ecuador: geochemical and tectonic constraints. *Journal of the Geological Society*, 159(5), 577-594.

Lanning, F., A. Haro, L. Kuen, A. Monzón, H. Monzón-Despang, A. Schultz, and A. Tola. 2016. M7 . 8 Muisne, Ecuador Earthquake on April 16, 2016. Page EERI Earthquake Reconnaissance Team Report. California, EEUU.

Litherland, M., Egüez, A., Zamora, A. (1993). Mapa Geológico del Ecuador, escala 1:1,000,000. Corporación de Desarrollo e Investigación Geológico-Minero-Metalurgica (CODIGEM) and British Geological Survey. Quito.

Litherland, M., Aspden, J.A., Jemielita, R.A. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *Overseas Memoir of the British Geological Survey* 11, 147 pp.

McCourt, W. J., Duque, P., Pilatasig, L. F. (1997). Geology of the Western Cordillera of Ecuador between 1–2 S. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, Programa de Informacion Cartografica y Geologica, CODIGEM–BGS, Quito, Informe, 3.

MIDUVI. 2015. Norma Ecuatoriana de la Construcción. Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente. Quito, Ecuador.

Nikolaou, S., X. Vera-Grunauer, R. Gilsanz, R. Luque, T. Kishida, G. Diaz-Fanas, N. Antonaki, T. Toulkeridis, E. Miranda, V. Diaz, D. Alzamora, A. Athanasopoulos-Zekkos, G. Lyvers, E. Morales, P. López, K. Rollins, C. Wood, T. O'Rourke, and S. López. 2017. Earthquake Re-

connaissance Part I: Seismological ... Page 16 th Wold Conference on Earthquake Engineering. Santiago de Chile, Chile.

Nocquet, J., P. Mothes, and A. Alvarado. 2009. Geodésia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador. Pages 83–95 in J. Collot, editor. *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador*.

Nocquet, J. M., Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Mothes, P. A., Rolandone, F., Jarrin, P., Martin, X. (2014). Motion of continental slivers and creeping subduction in the northern Andes. *Nature Geoscience*, 7(4), 287-291.

Pratt, W. T., Duque, P., Ponce, M. (2005). An autochthonous geological model for the eastern Andes of Ecuador. *Tectonophysics*, 399(1-4), 251-278.

Reynaud, C., Jaillard, É., Lapierre, H., Mamberti, M., Mascle, G. H. (1999). Oceanic plateau and island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. *Tectonophysics*, 307(3), 235-254.

Segovia, M., Alvarado, A. (2009). Breve Análisis de la Sismicidad y del Campo de Esfuerzos en el Ecuador. *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador: desde la costa continental hasta las Islas Galápagos*, 131-149

Spikings, R. A., Winkler, W., Seward, D., Handler, R. (2001). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 186(1), 57-73.

Spikings, R. A., Winkler, W., Hughes, R. A., Handler, R. (2005). Thermochronology of allochthonous terranes in Ecuador: Unravelling the accretionary and post-accretionary history of the Northern Andes. *Tectonophysics*, 399(1-4), 195-220.

Trenkamp, R., J. Kellogg, J. Freymueller, and P. Mora. 2002. Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America. *Journal of South American Earth Sciences* 15:156–171.

Vallejo, C., Spikings, R. A., Luzieux, L., Winkler, W., Chew, D., Page, L. (2006). The early interaction between the Caribbean Plateau and the NW South American Plate. *Terra Nova*, 18(4), 264-269.

Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R. A., Luzieux, L., Heller, F., Bussy, F. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador. *Geological Society of America Memoirs*, 204, 197-216.

Witt C. y Bourgois J. (2009). Relaciones entre la evolución de la cuenca del Golfo de Guayaquil-Tumbes y el escape del Bloque Nor-Andino. En: *Geología y Geofísica Marina y Terrestre del Ecuador desde la Costa Continental hasta las Islas Galápagos*. Editores: Collot J. Y., Sallares V., Pazmiño N. Impreso: Argudo & Asociados, Guayaquil-Ecuador. pp. 95-106. ISBN-978-9978-92-737-3.

Yepes, H., L. Audin, A. Alvarado, C. Beauval, J. Aguilar, Y. Font, and F. Cotton. 2016. A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment. *Tectonics* 35:1249–1279.