

Análisis sobre la recurrencia de terremotos severos en Ecuador

Moncayo Theurer Marcelo¹, Vargas Jiménez Julio², Moncayo Velasco Guisella³, Barzola Zambrano Irma⁴

¹Profesor Titular, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas- Profesor de la Academia de Guerra Naval (Aguena); ²Profesor Titular, Universidad de Guayaquil; ³Universidad de Especialidad es Espíritu Santo UEES; ⁴Profesor Titular, Universidad de Guayaquil⁴.

marcelo.moncayot@ug.edu.ec; guisvel@hotmail.com; solugran@gmail.com

Resumen: *La recurrencia es un concepto planteado a mediados del siglo veinte, se basa en que los terremotos o eventos sísmicos que ocurren volverán a ocurrir con características parecidas, después de un período al que se le llama período de retorno o de recurrencia.*

En este trabajo se exponen argumentos para determinar si es válido medir la recurrencia de los sismos y si existe un sustento técnico para considerar este período de retorno como válido.

Se han determinado períodos de retorno para muchos sismos en el mundo, en este trabajo, y basados en el comportamiento sísmico histórico y a la teoría de la energía liberada (MEL), se plantea períodos de retorno o de recurrencia para los sismos más severos en el Ecuador.

Palabras Claves: Ley de recurrencia, terremoto, riesgo sísmico, magnitud Richter, Ecuador.

Title: Analysis and definitions on the recurrence of earthquakes in Ecuador.

Abstract: Recurrence is a concept raised in the mid-twentieth century, based on the occurrence of earthquakes or seismic events that occur again with similar characteristics, after a period called a period of return or recurrence.

This paper presents arguments to determine if it is valid to measure the recurrence of earthquakes and if there is a technical support to consider this period of return as valid.

Periods of return have been determined for many earthquakes in the world in this work, and based on historical seismic behavior and the theory of liberated energy (MEL). At the end, there have been determined periods of return or recurrence for the most severe earthquakes in the Ecuador.

Keywords: Law of recurrence, earthquake, seismic risk, magnitude Richter, Ecuador.

Tipo de artículo: original

Fecha de recepción: 15 de marzo de 2017

Fecha de aceptación: 16 de junio de 2017

1. Introducción

En sísmica, el término recurrencia fue acuñado por el norteamericano Charles Richter y el alemán Beno Gutenberg. En 1958 estos sismólogos relacionaron, a través de una fórmula, la frecuencia con que se repite un sismo y su nivel de magnitud.

Recurrencia proviene del término de raíz latina "recurrere", que significa: "volver a correr para pedir ayuda". La palabra se descompone en el prefijo "re" que significa reiteración y "currere" que significa correr (Etimologías de Chile, 2017), por ello la palabra recurrencia indica una situación que vuelve a ocurrir.

El Diccionario de la Real Academia de la Lengua determina que recurrente significa "un proceso que vuelve a ocurrir o a aparecer, especialmente después de un intervalo (RAE 2017).

En el análisis de riesgo sísmico se pueden utilizar métodos deterministas y probabilistas, "Los métodos deterministas requieren tan solo de la determinación de un sismo máximo o el llamado terremoto característico o esperado, mientras que los métodos probabilistas necesitan la estimación previa de leyes de recurrencia en cada falla o zona sismogénica" (Belén et al., 1988).

La fórmula de Gutenberg y Richter nos ayuda a determinar el sismo esperado para un número de años estimado de retorno, por ello se considera esta fórmula como un paso en el método determinístico.

Debido a que los terremotos más pequeños son siempre más frecuentes que los terremotos de mayor magnitud (Belén et al., 1988), se espera que los sismos de alta magnitud se repitan poco a diferencia de los de baja magnitud que se repiten con mayor frecuencia.

Beno Gutenberg y Charles Richter plantearon la ecuación que define la recurrencia de los sismos de la siguiente forma:

$$\text{Log } N = a - b * M \quad (1)$$

donde:

N: representa la recurrencia sísmica anual para terremotos de magnitudes Richter mayores a M.

a, b: son coeficientes que representan las condiciones sísmicas del lugar.

La figura 1 muestra la curva de la ley de recurrencia, evaluada para a=3 y b=0.2, coeficientes que corresponde a un ejemplo del caso ecuatoriano, el resultado indica que se producirán por ejemplo unos 150 sismos de grado 4 en magnitud Richter cada año o

también 400 sismos de grado 2. Se observa que mientras mayor es la magnitud menor es el número de veces en que el evento se repite.

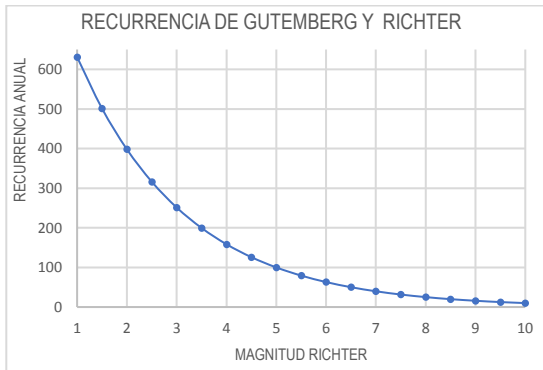


Figura 1. Aplicación de la ley de Recurrencia con $a = 3$ y $b=0.2$. Fuente: Moncayo 2017.

2. Argumentos que sustentan el comportamiento recurrente de los sismos

Los terremotos ocurren cuando, de forma súbita, se libera energía sísmica de deformación contenida en los contactos de placas tectónicas o en las caras de una falla geológica activa.

Esta energía de deformación se acumula año tras año con el movimiento de las placas tectónicas las mismas que según estudios se mueven varios centímetros al año. En el caso de Ecuador un estudio realizado en el 2012 demostró que la costa ecuatoriana, que se encuentra sobre la placa sudamericana, se mueve a razón de 2 cm al año en dirección norte y que las islas Galápagos, que se encuentran sobre la placa de Nazca, se mueve 5 cm al año en dirección al continente (Cisneros et al. 2012).

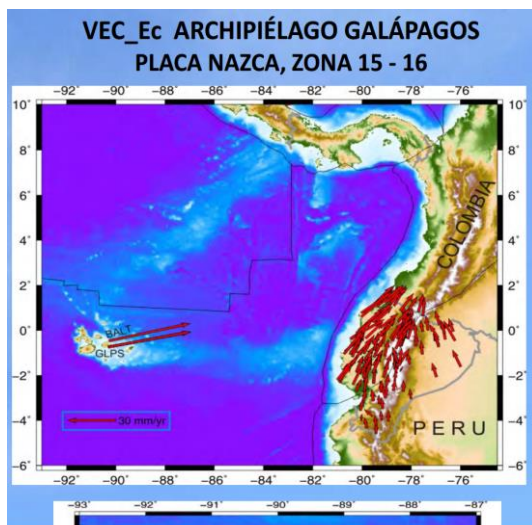


Figura 2. Movimiento de las placas tectónicas en Ecuador. Fuente: Moncayo 2017 (Cisneros et al. 2012).

La energía sísmica se acumula y también se libera donde existen contactos de placas, o fallas geológicas y en sus cercanías.

A nivel planetario se conoce el Cinturón de Fuego o Anillo de Fuego, que es una franja del borde costero que rodea en su totalidad al Océano Pacífico, esta franja tiene 40.000km de longitud, posee 482 volcanes activos y además libera el 90% de la energía sísmica del planeta (Ecured, 2015).

El movimiento de las placas tectónicas no se detiene, por ello la región en análisis esta perennemente acumulando energía de deformación, debido a que las placas y fallas están moviéndose unas con respecto de las otras.

El movimiento de las placas tectónicas es perenne pero no constante (ver figura 3), pero para propósitos prácticos, en este análisis, lo vamos a considerar constante.

Por ejemplo, una placa tectónica que se mueve 5 cm al año, en 100 años acumulará 5 metros de energía de deformación relativa, en ciertos casos, como en Ecuador las placas tectónicas en contacto se mueven una en contra de la otra, lo que vuelve la situación más crítica.

Como el movimiento de las placas es perenne, el proceso de acumulación de energía sísmica también, por ello debe considerar que una zona que es sísmicamente activa tiene dos estados, el estado de reactivación sísmica en el cual se encuentra liberando energía donde se producen fuertes sismos y el estado de tranquilidad sísmica en el que se acumula energía de deformación, donde los eventos sísmicos son escasos.

De la comprensión de este proceso de reactivación y tranquilidad sísmica y de la acumulación de energía de deformación se infiere que el proceso es cíclico y que tiene sus periodos de recurrencia.

2.1 La capacidad de asimilación de energía de las rocas

El momento en que la energía sísmica contenida se libera es llamado terremoto y esto ocurre cuando el material que constituye las caras de las fallas geológicas o contacto de placas, llega a su máxima capacidad.

Este material de roca llega al colapso cuando la energía de deformación acumulada en la roca supera la capacidad de resistencia del material, momento en el que la roca falla y se inicia la liberación de energía.

A pesar de la heterogeneidad de los materiales de suelos y rocas, las características generales de la roca se mantienen en el sitio antes y después del sismo por lo que no habrá diferencia entre las capacidades de asimilación de energía en la roca que se encontraba antes del sismo y las capacidades de asimilación de la roca después del sismo.

Ya que la cantidad de energía acumulada depende de la capacidad que tiene la roca de guardar energía, se puede inferir que la misma capacidad de acumulación se

mantiene en el sitio, antes y después de un sismo, por lo que, si una región generó un sismo de grado 8, tarde o temprano un sismo de iguales características volverá a ocurrir.

En el caso de que apareciera, en el contacto de las caras de la falla un material de menor capacidad de acumulación de energía entonces el sismo de grado 8 podría ocurrir antes, a través de varios sismos de menor magnitud, sin embargo, en la mayoría de los casos, la variabilidad a considerarse en el caso sísmico, en la capacidad de acumulación de energía de las rocas, es pequeña. Hay que recordar que para liberar la energía correspondiente a un sismo de 8 grados, deberán ocurrir 32 sismos de grado 7, lo que es bastante improbable. Este desarrollo lógico muestra que el sismo de grado 8 volverá a ocurrir con las mismas características después de un lapso, por lo que la recurrencia es un hecho sustentado.

2.2 Comportamiento sísmico histórico del Ecuador analizado a través de energía liberada

Otro factor a analizarse es la energía liberada en el siglo pasado, se puede asumir que la forma en que la energía se liberó es un patrón aceptable para entender la forma en que la energía se acumuló en la roca.

Para este análisis utilizaremos el método de la Energía Sísmica Liberada (MEL), el cual cuantifica la forma en que la energía sísmica de deformación se libera a lo largo de los años.

Este es un método que ha mostrado eficiencia para lograr entender el comportamiento sísmico histórico de una región y es una manera de determinar períodos de recurrencia de eventos telúricos reales.

Lo primero que se puede determinar de la figura 3 es que la energía que se libera en una región, no es constante, tiene altibajos, en ciertas décadas sube, luego descansa por un tiempo y vuelve a repuntar. Las etapas en que se libera mayor cantidad de energía se

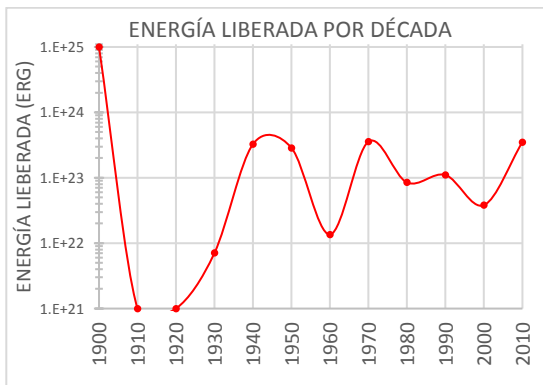


Figura 3. Energía Sísmica Liberada en Ecuador desde 1900 hasta el 2017 por Década. (Moncayo, 2017).

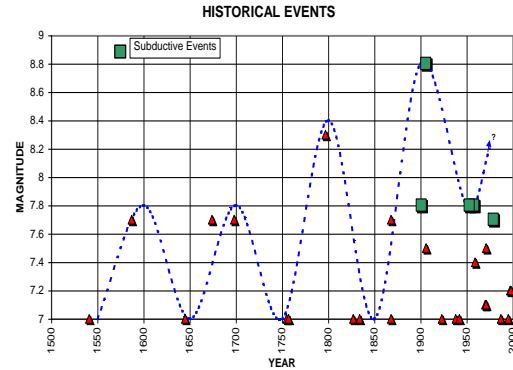


Figura 4. Etapas de reactivación Sísmica en Ecuador desde el año 1650, (Moncayo, 2000).

las conoce como “Etapa de reactivación sísmica” y las etapas donde esta liberación se reduce se las conoce como “Etapa de tranquilidad sísmica”.

En Ecuador se determinó, que el siglo pasado, hubo dos etapas bien marcadas de reactivación sísmica y este comportamiento se ha mantenido por cinco siglos (ver figura 4).

La figura 3 muestra el comportamiento sísmico del Ecuador desde 1900 hasta el 2017, se observa que la liberación de energía es más intensa en el período 1900-1910, 1940-1950, 1970-1980 y en el período actual 2000-2020. Al producirse un pico máximo de liberación se consideran estas etapas como de reactivación sísmica.

A través del Método de la Energía Liberada (MEL), se determinó en el año 2000 que el Ecuador entraría en un proceso de reactivación sísmica que intensificaría la actividad sísmica (Moncayo 2000), lo que precisamente sufre el Ecuador actualmente.

Este proceso matemático prospectivo, al que le hemos llamado Método de la Energía Liberada (MEL), no considera la magnitud Richter como elemento de análisis, sino que cuantifica y analiza la energía sísmica liberada recordando que Richter propuso una ecuación que relaciona ambos conceptos.

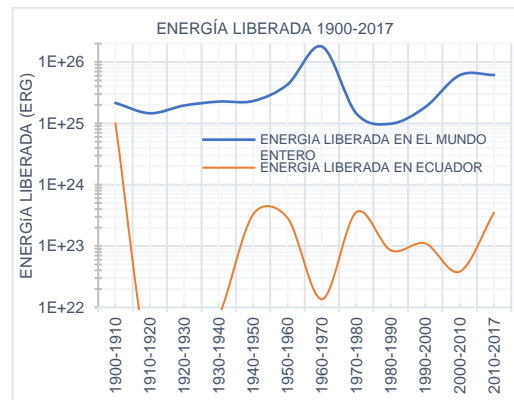


Figura 5. Comparación de la energía liberada en el Ecuador y en el mundo desde 1901, (Moncayo, 2017).

Este método permite que se construyan las curvas de liberación de energía con respecto al tiempo, pudiendo determinar cómo ha sido el comportamiento histórico de la región y con ello proyectarlo al futuro.

El gráfico de la figura 3 se ha logrado determinar el período de recurrencia de las reactivaciones sísmicas en Ecuador, que aproximadamente ocurren 1 reactivación cada 50 años, pero el gráfico muestra también como la reactivación del año 1900-1910 fue mucho más poderosa que la de los años 1940-1950. La actual reactivación sísmica que empezó en el año 2000 ya ha llegado al nivel de los años 40, pero existe la posibilidad que llegue a los niveles alcanzados en los años 1900.

La reactivación sísmica de los años 1900 – 1910 incluyó un terremoto de 8.8 en la provincia de Esmeraldas, lo que provocó una liberación de energía del nivel de $1.0 \text{ E}+25$ ergios.

De acuerdo a los datos analizados la reactivación sísmica actual no ha terminado y se considera que se encuentra en su apogeo.

En la figura 5 se puede observar que la energía liberada en el mundo tampoco es constante, sino que también tiene etapas de reactivación sísmica.

Además, si a través del estudio de la base de datos sísmica (USGS, 2017), podemos determinar que una zona provocó dos terremotos con igual magnitud y profundidad y cuyos epicentros son muy cercanos, se determinaría que se ha cumplido con un periodo de recurrencia y podría calcularse el número de años que duró el período.

Considerando que la energía sísmica continúa acumulándose y que una forma de visualizarla sería la figura 3, donde se observa la energía liberada en Ecuador desde los años 1900, que los materiales rocosos que ya provocaron en el pasado sismos de grado 7.2, 7.8 y 8.8 continúan allí y están guardando energía de deformación año tras año, se determina que en Ecuador se están produciendo eventos de manera recurrente.

En este trabajo, luego del análisis de la base de datos sísmica mundial se determinó que el siglo pasado, en Ecuador, se han producido, en varias zonas sismogénicas, terremotos que cumplen con las características indicadas anteriormente, se ha identificado que estos sismos han presentado su recurrencia por lo que se puede determinar el período.

3. Recurrencia de terremotos en Ecuador

Gutenberg y Richter propusieron el criterio teórico de la recurrencia de los sismos, en los párrafos anteriores se han propuesto las bases técnicas para sustentar que la recurrencia es un criterio cierto, por lo que es viable calcular el período de recurrencia de una etapa de reactivación sísmica o de un evento en particular.

El Método de la Energía Liberada (MEL), ha mostrado mucha eficiencia en determinar el período de recurrencia de las reactivaciones sísmicas en Ecuador.

En Ecuador, existen varias fuentes sismogénicas severas, las mismas que vamos a mencionar en los siguientes párrafos para las cuales determinaremos la existencia de periodos de recurrencia, de acuerdo a lo registrado en los datos sísmico-históricos.

3.1 Recurrencia del terremoto de Bahía de Caráquez

En 1998, ocurrió un sismo severo de magnitud Richter de 7.2 grados, que destruyó la infraestructura de una ciudad llamada Bahía de Caráquez, en la provincia de Manabí, el evento ocurrió el 4 de agosto y tuvo una profundidad de 33km. El epicentro se ubicó en 0.593S y 80.393W.

A 20km de distancia de este epicentro ocurrió en 1956, el 16 de enero, un sismo de 7.0 grados en escala Richter con una profundidad de 20km. (ver figura 6 y tabla 1).

Dos sismos de aproximadamente la misma magnitud, la misma profundidad hipocentral y cuyos epicentros se separan apenas por 20km, se considera que en esta fuente sismogénica se ha registrado la recurrencia de este sismo.

El período de recurrencia para este sismo es de 42 años, lo que indicaría que matemáticamente volvería a ocurrir en el año 2040.

3.2 Recurrencia del terremoto de Pedernales

En el 2016, ocurrió un sismo muy severo de magnitud Richter de 7.8 grados, que destruyó la infraestructura de casi toda la provincia de Manabí y parte de la provincia de Esmeraldas, inclusive en la ciudad Guayaquil (a 350Km de distancia epicentral), colapsó un viaducto.

Este evento ocurrió el 16 de abril y tuvo una profundidad de 21km (USGS 2017). El epicentro se ubicó en 0.025°S y 79.955°O.

A 45km de distancia de este epicentro ocurrió en 1942, el 14 de mayo un sismo de 7.8 grados en escala Richter con una profundidad de 20km. (ver figura 6 y tabla 1).

Dos sismos de aproximadamente la misma magnitud, la misma profundidad hipocentral y cuyos epicentros se separan apenas por 45km, se considera que en esta fuente sismogénica se ha registrado la recurrencia de este sismo.

De acuerdo al análisis de recurrencia mostrado, el periodo de recurrencia para este sismo sería de 74 años, lo que indicaría que matemáticamente volvería a ocurrir en el año 2090. (Moncayo 2014, Moncayo 2006).

Tabla 1. Ubicación epicentral y magnitud de terremotos mayores a 7 en Ecuador desde 1900 hasta el 2017 que muestran indicios de recurrencia. (USGS, 2017)

TERREMOTOS MAYORES A 7 GRADOS DESDE 1900 HASTA EL 2017 QUE MUESTRAN INDICIOS DE RECURRENCIA						
FECHA	HORA	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD	EPICENTRO
14/5/1942	02:13:27.000Z	-0.025	-79.955	20	7.8	TERREMOTO DE PEDERNALES DE 1942
16/4/2016	23:58:36.980Z	0.3819	-79.9218	20.59	7.8	TERREMOTO DE PEDERNALES DEL 2016
16/1/1956	23:37:45.000Z	-0.727	-80.213	20	7	TERREMOTO DE BAHÍA DE CARAQUEZ EN 1956
4/8/1998	18:59:20.100Z	-0.593	-80.393	33	7.2	TERREMOTO DE BAHÍA DE CARAQUEZ EN 1998
31/1/1906	15:36:10.000Z	0.955	-79.369	20	8.8	GRAN TERREMOTO DE ESMERALDAS EN 1906
19/1/1958	14:07:28.000Z	1.011	-79.489	27.5	7.6	TERREMOTO DE ESMERALDAS DE 1958
12/12/1953	17:31:29.000Z	-3.552	-80.636	25	7.3	TERREMOTO DE TUMBES DE 1953
10/12/1970	04:34:41.000Z	-4.026	-80.542	25	7.2	TERREMOTO DE TUMBES DE 1970
27/7/1971	02:02:49.000Z	-2.839	-77.322	120	7.4	SISMO DE MORONA SANTIAGO 1971
3/10/1995	01:51:23.900Z	-2.75	-77.881	24.4	7	SISMO DE MORONA SANTIAGO 1995

3.3 Recurrencia del gran terremoto de Esmeraldas

En 1906, ocurrió un terremoto gigantesco de magnitud Richter de 8.8 grados. Existía poca población en esa época en la provincia de Esmeraldas, pero la potencia del sismo debió ser descomunal, el evento ocurrió el 31 de enero y tuvo una profundidad de 20km. El epicentro se ubicó en 1.011°N y 79.489°O.

A 15km de distancia de este epicentro, ocurrió otro sismo en 1958, el 19 de enero, que tuvo 7.6 grados en escala Richter con una profundidad de 27km (USGS 2017).

Dos sismos de gran magnitud, la misma profundidad hipocentral y cuyos epicentros se separan apenas por 16km, se podría considerar que en esta fuente sismogénica se ha registrado la recurrencia de este sismo.

El período de recurrencia para este sismo sería de 52 años, lo que indicaría que matemáticamente este sismo debió volver a ocurrir en el 2010. El que no haya ocurrido muestra el nivel de riesgo sísmico que experimenta esa región. (ver figura 6 y tabla 1).



Figura 6. Recurrencia del terremoto de Bahía de Caráquez, Pedernales y gran terremoto de Esmeraldas con períodos de recurrencia de 42, 74 y 52 y magnitudes de 7.2, 7.8, 7.6-8.8 respectivamente.

4. Conclusiones

La tabla 1 muestra la ubicación, magnitud y profundidad de los sismos mayores a 7 grados que ha sufrido Ecuador desde 1900 hasta el 2017 y que muestran indicios de comportamiento recurrente.

La ley de recurrencia planteada por Richter determina el número de veces en que se repetirá un sismo en un período de tiempo en función de su magnitud.

Debido a que el movimiento de las placas es perenne y que los materiales rocosos continúan acumulando energía en el mismo sitio, se concluye que el concepto de recurrencia es sustentable.

Si ocurren dos sismos de las mismas características (magnitud, profundidad, y ubicación del epicentro) en diferentes años, se puede considerar que se ha registrado la recurrencia del sismo y se puede calcular el período.

El terremoto de Bahía de Caráquez fue un sismo de magnitud 7.2 en escala Richter que tiene un período de recurrencia de 42 años, por lo que, de acuerdo a este análisis, se volvería a presentar aproximadamente en el año 2040.

El terremoto de Pedernales es un sismo de magnitud 7.8 en escala Richter que tiene un período de recurrencia de 74 años, por lo que, de acuerdo al análisis, se volvería a presentar aproximadamente en el año 2090.

El terremoto de Pedernales es un sismo de magnitud 7.6 - 8.8 en escala Richter que tiene un período de recurrencia de 52 años.

Este terremoto debió ocurrir de nuevo en el año 2010. Como resultado de este análisis se determina el alto riesgo que tiene la provincia de Esmeraldas de que ocurra un sismo de magnitud parecida a las dos recurrencias del pasado.

Otro indicio importante de muestra en la figura 3, en la cual se observa que la energía liberada desde el año 2000 hasta el 2017 va en incremento, demostrando la etapa de reactivación sísmica que se diagnosticó

(Moncayo, 2000), pero el nivel de reactivación ha alcanzado 1×10^{23} Ergios, el mismo nivel de la reactivación sísmica de los años 1940-1950, existe la posibilidad y hay indicios para plantear que la etapa actual de reactivación sísmica pudiera ser más alta, considerando que la etapa de reactivación de 1900-1910 liberó 1×10^{25} , es decir 100 veces más energía que la etapa actual.

Referencias

- [1] Richter y Gutenberg 1958 – “Ley de Gutenberg-Richter”, Wikipedia, disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Gutenberg-Richter
- [2] USGS 2017, United States Geological Survey – Latest Earthquakes. Disponible en: www.usgs.gov
- [3] Belén, Jiménez 1988, “Peligrosidad Sísmica”, Asociación Latin Geo, Universidad Politécnica de Madrid.
- [4] Cisneros Vavid, Nocquet Jean. (2012). Campo de Velocidades del Ecuador VEC_Ec. 2017, de Instituto Geográfico Militar Sitio web: http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol17/Cisneros_Nocquet_Campo_velocidades_Ecuador.pdf
- [5] ECURED. (2015). Cinturón de fuego del Pacífico. 2017, de Ecured Sitio web: https://www.ecured.cu/Cintur%C3%B3n_de_fuego_del_Pac%C3%ADfico
- [6] Etimologías de Chile 2017, Diccionario etimológico español en línea, disponible en: <http://etimologias.dechile.net/?recurrir>
- [7] RAE 2017, Diccionario de la Real Academia de la Lengua (RAE), recurrente, disponible en: <http://dle.rae.es/?id=VXdBgGD>
- [8] Moncayo 2000, DIARIO EL UNIVERSO, 11 DE octubre del 2000, REPORTAJE, “MONCAYO: INICIO DE LA REACTIVACIÓN SÍSMICA”.
- [9] Moncayo 2006, DIARIO EL UNIVERSO, 20 DE AGOSTO DEL 2006, REPORTAJE, “SUS ERUPCIONES DURAN HASTA 10 AÑOS, YA VAN SIETE”, disponible en: <http://www.eluniverso.com/2006/08/20/0001/12/EBB96B8EF96343E8A528F92832293103.html>
- [10] Moncayo 2014, “Hay una reactivación sísmica”, 19/04/2014, Disponible en: <http://marcelomoncayo.blogspot.com/2014/04/Hay-una-reactivacion-sismica-april-7.html>