



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Modelación matemática del comportamiento en el tiempo de variables físicas relacionadas con fenómenos naturales sucedidos en Ecuador.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Cumbajín Armijos, Yajaira Dayana

DIRECTOR: Serrano Agila, Richard Germán, Ph.D.

LOJA - ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Doctor.

Richard Germán Serrano Agila

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Modelación matemática del comportamiento en el tiempo de variables físicas relacionadas con fenómenos naturales sucedidos en Ecuador, realizado por Yajaira Dayana Cumbajín Armijos, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Julio 2018

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Cumbajín Armijos Yajaira Dayana** declaro ser autora del presente trabajo de titulación: Modelación matemática del comportamiento en el tiempo de variables físicas relacionadas con fenómenos naturales sucedidos en Ecuador, de la Titulación de Ingeniería Civil, siendo PhD. Richard Germán Serrano Agila director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad

f.

Autora: Cumbajín Armijos Yajaira Dayana.

Cédula: 1104123516.

DEDICATORIA

“El sueño que Dios tiene para ti es más grande que cualquiera que puedas tener. Ponte en sus manos sin temor y deja que ÉL haga su voluntad en tu vida”

Autor desconocido.

A Dios y a la Virgen María por bendecirme en cada paso que doy y permitirme culminar con éxito mi carrera universitaria.

A mis padres

Con mucho amor, por estar presentes en cada momento de mi vida y enseñarme que el cansancio es temporal y que todo sacrificio al final del día tiene su recompensa. A mi Padre, Marco, por ser mi guía y con cada una de sus palabras levantar mis ánimos en esos momentos difíciles. A mi madre, Rocío, por sus consejos, palabras de amor y cuidados en cada noche de desvelo junto a mí.

A mi hermanita

Stefany, por demostrarme siempre su apoyo incondicional, su cariño y amor en cada momento.

A mis Abuelitos

Bolívar y Mercedes por su amor y sobre todo por tenerme presente siempre en sus oraciones. Manuel y María, mis ángeles, aunque no se encuentran conmigo físicamente su bendición desde el cielo me guía día a día.

Para todos ustedes con amor,

Yajaira Dayana

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud infinita a Dios y a la Virgencita por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi vida y culminar con éxito otra meta más en mi caminar.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Titulación de Ingeniería Civil y a todos los docentes que fueron de gran apoyo en mi formación académica.

A mi tutor de trabajo de fin de titulación PhD. Richard Serrano, que me brindo sus conocimientos y sugerencias durante el proceso y culminación de este proyecto.

A mis padres Marco y Rocío, por ser mis guías. Gracias por todo el amor y comprensión durante mi vida estudiantil.

A mi hermana por el apoyo constante, por su paciencia y los consejos brindados.

A mis amigos por su apoyo incondicional y de manera especial a mi mejor amiga, Kathy por su cariño, ayuda y palabras en los momentos buenos y malos en todos estos años de amistad.

Yajaira Dayana

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	I
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO I: MARCO TEORICO	5
1.1. FENÓMENOS NATURALES.....	6
1.2. SISMOS.....	7
1.3. SERIES TEMPORALES.....	14
1.4. MODELO MATEMÁTICO	14
1.4.1. <i>Tipos de funciones</i>	14
1.4.2. <i>Análisis de Regresión</i>	17
CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	18
2.1. ÁREA DE ESTUDIO	19
2.1.1. <i>Sismicidad histórica en relación con las regiones</i>	20
2.1.2. <i>Historia sísmica en el Ecuador</i>	22
2.2. DATOS Y MATERIALES.....	22
CAPITULO III: RESULTADOS.....	24
3.1. ACTIVIDAD SÍSMICA.....	25
CONCLUSIONES	28
RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30
ANEXOS	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sismo y sus elementos constitutivos (foco y epicentro).....	7
Figura 2: Tipos de ondas sísmicas.	8
Figura 3: Falla inversa.	8
Figura 4: Falla normal.	9
Figura 5: Falla deslizante.....	9
Figura 6: Falla oblicua	10
Figura 7: Sistemas de fallas	10
Figura 8: Sismos en función de la profundidad del hipocentro	13
Figura 9: Función Lineal.	15
Figura 10: Función Cuadrática.	16
Figura 11: Función Cúbica.....	16
Figura 12: Función Exponencial	17
Figura 13: Función Logarítmica.	17
Figura 14: Ubicación Geográfica del Ecuador.	19
Figura 15: Sistemas tectónicos en el Ecuador.....	21
Figura 16: Actividad sísmica de la provincia de Napo	26
Figura 17: Actividad sísmica de la provincia de Esmeraldas.	27

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de Mercalli Modificada.	11
Tabla 2: Registro de actividad sísmica de la provincia de Napo	25
Tabla 3: Registro de actividad sísmica de la provincia de Esmeraldas.....	25
Tabla 4: Resultados del comportamiento matemático de las variables de magnitud y profundidad del registro de actividad sísmica de la provincia de Napo	26
Tabla 5: Resultados del comportamiento matemático de las variables de magnitud y profundidad del registro de actividad sísmica de la provincia de Esmeraldas.	27
Tabla 6: Registro de actividad sísmica de la provincia de Napo	33
Tabla 7: Registro de actividad sísmica de la provincia de Esmeraldas.....	35

RESUMEN

En esta investigación se analiza el comportamiento matemático de eventos sísmicos, el estudio se enfocó en las provincias de Napo y Esmeraldas, y con el registro de actividad sísmica de cada provincia indicar si existe correlación entre las variables de magnitud y profundidad. Sin embargo, se determinó que los sismos de mayor magnitud se originan en profundidades menores a los 25 km, considerándose sismos superficiales y los que mayor impacto han causado en el País.

PALABRAS CLAVE: Comportamiento matemático, Eventos sísmicos, Magnitud, Profundidad, Sismos superficiales.

ABSTRACT

In this research the mathematical behavior of seismic events is analyzed, the study focused on the provinces of Napo and Esmeraldas, and with the record of seismic activity of each province indicate whether there is a correlation between the variables of magnitude and depth. However, it was determined that the largest earthquakes originate in depths less than 25 km, considering surface earthquakes and those that have had the greatest impact in the country.

KEYWORDS: Mathematical behavior, Seismic events, Magnitude, Depth, Surface earthquakes..

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el informe emitido por GEOECUADOR “La ubicación geográfica del Ecuador lo sitúa en una de las zonas de más alta complejidad tectónica, en el denominado cinturón de fuego del pacífico, siendo este el lugar en el que se registra una altísima actividad sísmica y volcánica” (Fontaine, Narváez, & Cisneros, 2008). De la misma manera se encuentra ubicado en el cinturón de bajas presiones, región que se la conoce como El Frente Intertropical o la Zona de Convergencia Ecuatorial, área sujeta a amenazas de origen hidrometeorológico (Moncayo Theurer, Velasco, Mora, Montenegro, & Córdova, 2017).

Los sismos son catástrofes naturales que no se pueden evitar, y actualmente tampoco predecir (Hernández, 2001). El conocimiento de la sismicidad de una región es necesario para todo cálculo o plan de mitigación de sus efectos y es fundamental para la elaboración de los códigos de construcción y escenarios sísmicos (Fontaine, Narváez, & Cisneros, 2008).

Para minimizar los daños de los futuros sismos, es necesario contar con información detallada de los sismos ocurridos en épocas anteriores de tal forma que se pueda identificar las regiones de alto potencial sísmico. De acuerdo con la actividad sísmica que registra el Ecuador desde 1541 hasta la actualidad, el país se encuentra en constante monitoreo que en promedio se registra aproximadamente 2600 eventos al año, de estos alrededor de 300 tienen magnitudes superiores a 4 grados y son sentidos por la población (IGEPN, 2016).

El último sismo de importancia en el país se produjo el 16 de abril de 2016 a las 18:58, en las costas del Ecuador con una magnitud 7.8 Mw. Este terremoto fue sentido en 23 provincias del Ecuador, así como en la parte sur de Colombia y norte de Perú. Las localidades más afectadas fueron las más cercanas a su epicentro, ubicadas en la zona de Pedernales. El sismo se caracterizó por tener un mecanismo de falla inverso, que concuerda adecuadamente con la zona de contacto entre las placas Nazca (Oceánica) y Sudamericana (Continental). Los días y meses posteriores al sismo se caracterizaron por la frecuente ocurrencia de réplicas que cubrieron una amplia zona de ruptura frente a las costas de Manabí y Esmeraldas. La ubicación de las réplicas, que se han registrado, está en relación con la magnitud del sismo principal de 7.8 Mw. Como es muy común en casos de sismos grandes, la tasa de generación de réplicas disminuye con el paso de tiempo. (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2017).

El presente trabajo de fin de titulación consiste en el análisis del comportamiento matemático de variables relacionadas a la actividad sísmica de la zona costanera del Ecuador respecto a la sismicidad de la región oriental del Ecuador. Para el análisis de los sismos se compara la actividad en las provincias de Napo y Esmeraldas, respecto a las variables de profundidad y magnitud y como resultado conocer si existe correlación entre las variables. La información se tomó de la página de El Servicio Geológico de los Estados Unidos (<https://www.usgs.gov/>), agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos que brinda información en tiempo real de los últimos sismos en el mundo.

La presente investigación está estructurada de la siguiente manera: Capítulo I se presenta información más relevante de la investigación; definiciones y conceptos fundamentales de los sismos. En el Capítulo II muestra la metodología utilizada desde la descripción de los datos y fuentes de información. En el capítulo III se adjuntan los resultados y su respectiva discusión. En el capítulo IV se presentan las conclusiones de los aspectos más destacados en la investigación y las recomendaciones.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1. Fenómenos Naturales.

Es un cambio de la naturaleza que ocurre por sí solo, sin intervención de la actividad humana, es decir como resultado del funcionamiento interno o externo de la Tierra, que puede presentarse de forma regular o sorprendente. Como ejemplo de los primeros se tiene la lluvia en los meses de verano en la sierra y la llovizna en los meses de invierno en la costa; para el segundo caso serían un terremoto, tsunami, maremoto, etc. (Romero & Maskery, 1993).

La ocurrencia de un fenómeno natural no precisamente provoca un desastre natural, todo depende de la magnitud de este en el entorno en el que se presente. El término desastre hace referencia “a las enormes pérdidas de vida y salud de la población, la destrucción o pérdida de los bienes de una colectividad y/o daños severos sobre el medio ambiente” (Cardona A, 2002).

Los fenómenos que regularmente se presentan son de origen geológico e hidrometeorológico, cada uno con características únicas, afectando de manera particular a la zona y a la población en la que se manifiesta dicho evento (Jovel, 1989, pág. 143).

A continuación, se describen los fenómenos antes mencionados:

- **Fenómenos geológicos:** Se forman de las entrañas del planeta Tierra o de la superficie de este. Éstos fenómenos pueden desencadenar los siguientes desastres; sismos y erupciones volcánicas. (Fontaine, Narváez, & Cisneros, 2008).
- **Fenómenos hidrometeorológicos:** Se manifiestan por la presencia violenta de los fenómenos atmosféricos, siguiendo los procesos de la climatología y del ciclo hidrológico (Rosquillas Navarro, 2016). Estos fenómenos son desfavorables y beneficiosos a la vez. En zonas costeras llegan a ser considerablemente destructivos, ocasionando pérdidas en la infraestructura e inestabilidad económica, debido a las inundaciones resultantes.

1.2. Sismos.

Los sismos son vibraciones de la Tierra, causadas por el fracturamiento en profundidad de las rocas sometidas a permanentes y continuos esfuerzos (choque de placas tectónicas). La energía liberada se transmite en forma de ondas sísmicas en todas las direcciones, en donde el grado de intensidad de las ondas sísmicas es mayor por la repentina liberación de la energía y por encontrarse cerca de la superficie de la Tierra (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Los elementos constitutivos que conforman un sismo son los siguientes:

Epicentro: Se encuentra en la superficie de la Tierra, lo cual es una proyección vertical del foco o hipocentro; punto interno de la Tierra en el que sucede un sismo.

Hipocentro: Se denomina al punto interno del planeta Tierra dónde se origina un movimiento sísmico.



Figura 1: Sismo y sus elementos constitutivos (foco y epicentro).

Fuente y Elaboración: (AstroMía, 2016).

Ondas sísmicas: Se comparan a una clase de elástico fuerte que producen movimientos pequeños. En el caso de la Tierra existen cuatro tipos de ondas sísmicas, de las cuales dos son internas, es decir vibraciones que se propagan en el interior de la Tierra: ondas de compresión y ondas de corte o secundarias; y otras dos son externas: ondas de Love y de Rayleigh (Laboratorio de ingeniería sísmica, 2009).

- *Ondas de compresión:* Llamadas P en la terminología sismológica, son de tipo longitudinal, es decir, las partículas vibran en la dirección de avance de la onda.

Las ondas de compresión son rápidas y, por tanto, las primeras que se registran en los sismógrafos.

- *Ondas secundarias*: Llamadas S, son de tipo transversal, es decir, la vibración de las partículas es perpendicular al avance de la onda.
- *Ondas Rayleigh y Ondas Love*: Son ondas que se producen en el epicentro y tienen un movimiento complejo, causando mayor destrucción. Presentan la mayor amplitud y la menor velocidad de propagación.

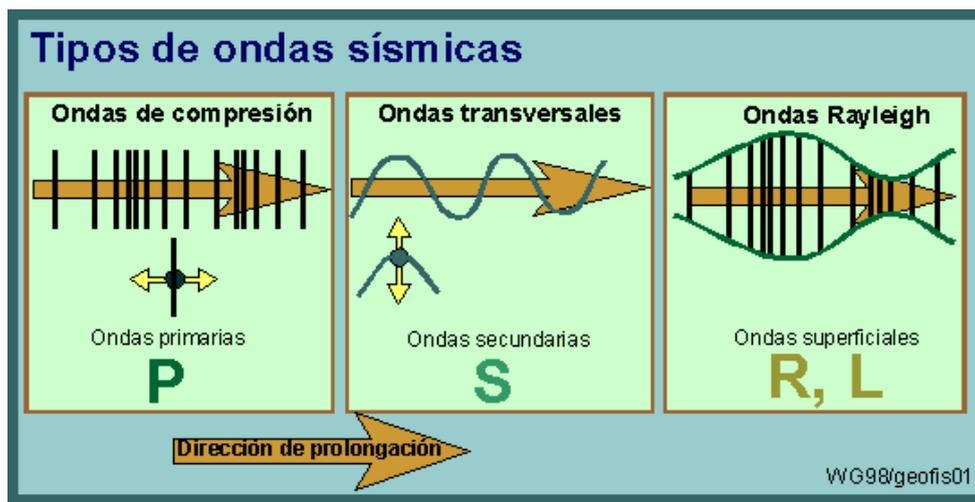


Figura 2: Tipos de ondas sísmicas.

Fuente y Elaboración: (Métodos geofísicos, 2013).

1.2.1. Tipos de Fallas.

De acuerdo con el informe de Riesgos Sísmicos (Giner Robles, y otros, 2012), los sismos son el resultado del movimiento inesperado a lo largos de los planos de las fallas. Se clasifican en función del movimiento de las placas que separa el plano de falla:

Falla inversa: Ocurren en áreas donde las rocas están sujetas a fuerzas de compresión. El bloque de techo es hacia arriba a lo largo del plano de falla.

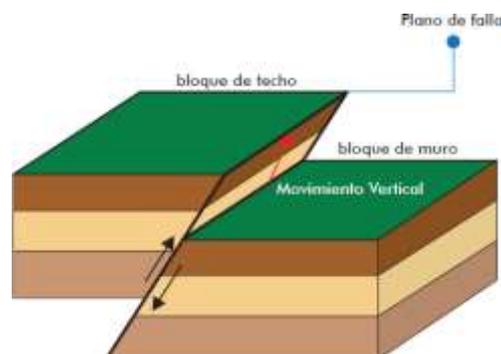


Figura 3: Falla inversa.

Fuente y Elaboración: (Atlas del Sismo, 2017).

Falla normal: Se producen en áreas donde las rocas se están separando. Son generados por fricción y ocurre cuando el movimiento del bloque de techo es hacia abajo a lo largo del plano de falla.

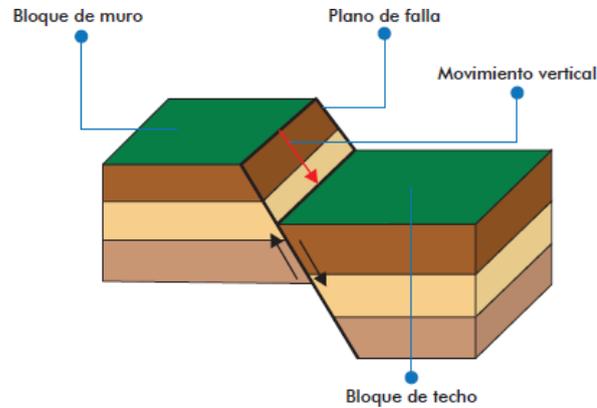


Figura 4: Falla normal.

Fuente y Elaboración: (Atlas del Sismo, 2017).

Falla Deslizante: Se genera cuando los movimientos son de manera horizontal, uno de los bloques se desliza lateralmente sobre el otro.

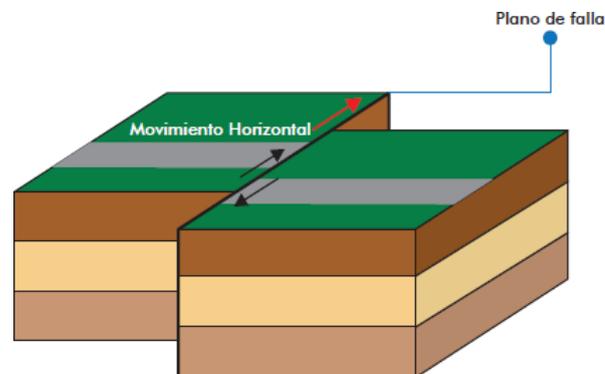


Figura 5: Falla deslizante.

Fuente y Elaboración: (Atlas del Sismo, 2017).

Falla oblicua: Se produce por la combinación de desplazamientos de forma horizontal y vertical.

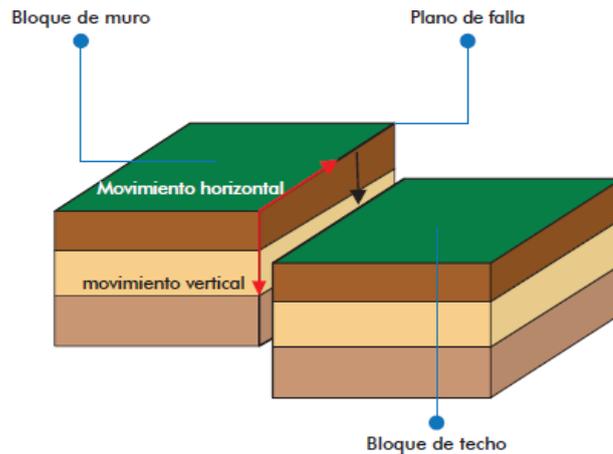


Figura 6: Falla oblicua.

Fuente y Elaboración: (Atlas del Sismo, 2017).

Se debe considerar que una falla no solo es una grieta en la roca, con frecuencia es una variedad de fracturas originadas por movimientos similares de la corteza terrestre. A esta condición se la conoce como zonas de fallas, o sistemas de fallas.

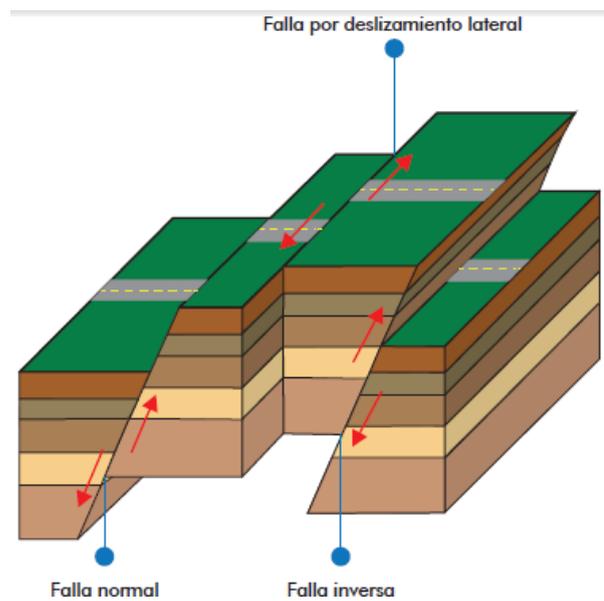


Figura 7: Sistemas de fallas.

Fuente y Elaboración: (Atlas del Sismo, 2017).

(Panchi Ortiz, 2013) "Al definir el tamaño de un sismo, se lo suele hacer por dos parámetros cada uno con significados diferentes. El primero de ellos, por motivos históricos, es la Intensidad del sismo que se define como un parámetro cualitativo que asigna tamaño a aquellos sismos que sucedieron en una época en la que la falta de instrumentos hacía

imposible su cuantificación. El segundo de ellos es la Magnitud, parámetro de medida instrumental y cuantitativa” (pág. 16).

Intensidad.

Se define como el efecto que tiene un sismo en el entorno que sucede. El valor de la intensidad varia del lugar depende de los daños que ocasionó y cómo las personas lo sintieron. Se usa la escala de Mercalli modificada y se utilizan números romanos que van del I-XII donde I es no sentido por los humanos y XII es destrucción total de bienes materiales y pérdidas humanas (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Tabla 1: Escala de Mercalli Modificada.

ESCALA DE MERCALLI	
VALORES	DESCRIPCIÓN
I	Casi nadie lo ha sentido.
II	Muy pocas personas lo han sentido.
III	Temblor notado por mucha gente que, sin embargo, no suele darse cuenta de que es un terremoto
IV	Se ha sentido en el interior de los edificios por mucha gente. Parece un camión que ha golpeado un edificio.
V	Sentido por casi todos; mucha gente se despierta. Pueden verse árboles y postes oscilando.
VI	Sentido por todos; mucha gente corre fuera de los edificios. Los muebles se mueven, pueden producirse pequeños daños.
VII	Todo el mundo corre fuera de los edificios. Las estructuras mal construidas quedan muy dañadas; pequeños daños en el resto.
VIII	Las construcciones especialmente, diseñadas dañadas ligeramente, las otras se derrumban.
IX	Todos los edificios muy dañados, desplazamientos de muchos crecimientos. Grietas apreciables en el suelo.
X	Muchas construcciones destruidas. Suelo muy agrietado.
XI	Derrumbe de casi todas las construcciones. Puentes destruidos. Grietas muy amplias en el suelo.
XII	Destrucción total. Se ven ondulaciones sobre la superficie del suelo, los objetos se mueven y voltean.

Fuente: (Atlas del Sismo, 2017).

Elaboración: El autor.

Magnitud.

La magnitud de un sismo es un número relacionado con la cantidad de energía liberada en el momento de su ocurrencia. El sismólogo Gutenberg- Richter entre 1936 y 1956, definió dos escalas en términos del movimiento del suelo registrado, una para ondas internas (ondas P) denominada Mb y medida en función del máximo de la amplitud de las ondas internas y su periodo y la otra para ondas superficiales (ondas Rayleigh), denominada Ms, cuya medida se usa el máximo de amplitud de la onda superficial en la componente vertical.

La escala de Richter de magnitud sísmica tiene 9 grados que no son ordinales, sino logarítmicas, es decir, que el grado 4 de magnitud Richter es aproximadamente 30 veces más fuerte que el grado 3. Pero la magnitud por sí sola no determina los daños que se pueden producir ya que dependerá de otros elementos como la distancia del epicentro, la población de la zona más próxima al epicentro, porque no es lo mismo que el sismo afecte una gran ciudad o una zona desértica (Sarachaga, 1997).

Las magnitudes en las que se puede medir un sismo se describen a continuación:

Magnitud local (ML): Llamada típicamente como “escala de Richter”, fue una de las primeras maneras de medir un sismo con cálculos, empleada en un comienzo para medir sismos en California. Se calcula mediante la captación de las ondas P-S y los datos de amplitud máxima de un sismograma registrado en un sismógrafo de torsión Wood-Anderson.

Magnitud de momento (Mw): Es la sucesora de la escala de Richter. Esta magnitud se determina a partir del ‘momento sísmico’ (Mo) que es la cantidad proporcional al área de ruptura o el tamaño de falla (largo por ancho). Su cálculo requiere por lo menos 15 minutos después de ocurrido el sismo en el caso de que se empleen datos locales, o hasta 30 minutos si se emplean datos de estaciones lejanas.

Magnitud de coda (Mc): Se obtiene a través de la duración del registro sísmico, la fase coda en un sismograma corresponde a la parte tardía de la señal que va decreciendo de manera paulatina a medida que transcurre el

Magnitud de ondas de cuerpo (mb): También denominada como “magnitud de compresión”, es un cálculo similar al de la magnitud local. A diferencia de la escala de Richter, toma distancias mucho más largas, puede tomar en consideración algunas

estaciones ubicadas a miles de kilómetros del terremoto. El problema es que se satura a partir de magnitudes altas.

Magnitud de ondas superficiales (Ms): Puede calcular terremotos a largas distancias y de magnitud fuerte, pero se satura cuando la magnitud del terremoto es muy significativa.

Magnitud de energía (Me): Su cálculo es muy laborioso por lo que generalmente no es muy utilizada por las agencias sismológicas.

Magnitud de duración (Md): Esta magnitud se calcula a partir de la duración del registro de la señal sísmica en el sismograma, corresponde a una variación del concepto de magnitud local que se emplea en algunas redes.

Mena (2002) señala que en función de la profundidad del hipocentro del sismo se establece la siguiente clasificación:

Sismos superficiales: Se producen entre los 0 y 70 km de profundidad, suelen ser los que más daños causan en las zonas que se presentan.

Sismos intermedios: Se originan entre los 70 y 300 km de profundidad, la mayoría de ellos se asocian a la zona de subducción.

Sismos profundos: se producen en profundidades mayores a 300 km. La mayoría de estos sismos se localizan en las placas que subducen, a esas profundidades la presión y la temperatura impiden que se produzcan la rotura frágil de la corteza y por lo tanto del sismo.

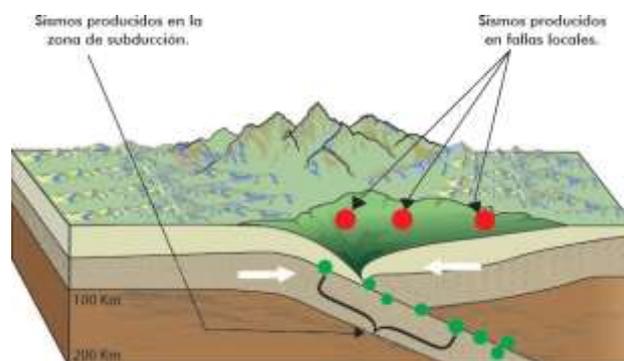


Figura 8: Sismos en función de la profundidad del hipocentro.

Fuente y Elaboración: (Atlas del Sismo, 2017).

1.3. Series Temporales.

Se llama serie temporal, serie cronológica, serie histórica o serie de tiempo a una sucesión de observaciones de una variable ordenadas en el tiempo. Su análisis permite la descripción de la evolución histórica del fenómeno que expresa la serie. (Fuente Fernández, 2010).

1.4. Modelo matemático.

Gujarati & Poter (2009) define:” Al modelo matemático como el conjunto de ecuaciones matemáticas que constan de una variable dependiente que se ubica antes del signo de igual y variable independiente que se encuentra después del signo de igualdad”. (pág. 3.)

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X \quad (1)$$

Los modelos matemáticos, pueden formularse en muchos grados de complejidad, desde una simple ecuación de primer grado, hasta un sistema de ecuaciones diferenciales parciales. Se clasifican en modelos determinísticos y probabilísticos. El modelo matemático es determinístico cuando no existe incertidumbre en sus valores y se conocen con exactitud. En cambio, un modelo matemático es probabilístico cuando existe un grado de incertidumbre en sus variables y se supone su función de distribución de probabilidad.

Según Ibarra (2000), las variables que conforman un modelo matemático son las siguientes:

Variable independiente: es el elemento o situación que condiciona o determina la presencia de otro elemento.

Variable dependiente: es el elemento que se encuentra en función de otro.

Variable interviniente: este tipo de variable influye de forma indirecta entre la relación de la variable independiente y la dependiente.

El uso de modelos matemáticos facilita el análisis de las variables y descubre las relaciones que no se aprecian en otro tipo de modelos. Sin embargo, modelar un sistema con cierto grado de complejidad e involucrar muchas variables hace que el proceso sea lento y costoso

1.4.1. Tipos de funciones.

Ferra Cuevas (2014) “Existe una gran cantidad de funciones que representan las observaciones o registros, tanto de manera gráfica como algebraica”. (pág.4).

Lineales: La representación gráfica de una función lineal es una línea recta. Una función es lineal cuando su gráfica es una línea recta, cuya expresión es la siguiente:

$$y = mx + b \quad (2)$$

Donde:

y: Variable dependiente.

m: Representa la pendiente de la recta.

x: Variable independiente.

b: La ordenada al origen

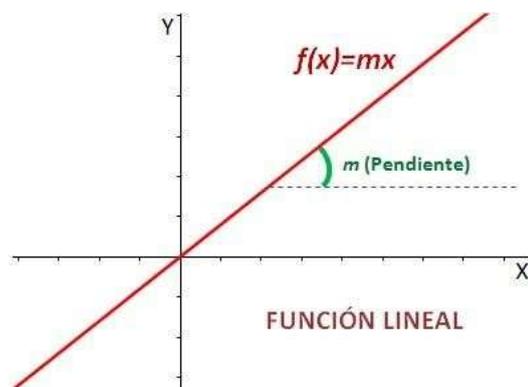


Figura 9: Función Lineal.

Fuente y Elaboración: (Contreras & Pino , 2010).

Polinomios: De acuerdo con el grado del primer término se designa si los polinomios son de primero, segundo o tercer grado, respectivamente son llamadas funciones lineales, cuadráticas y cúbicas. La forma de representar es la siguiente:

- Polinomio de grado dos (función cuadrática), gráficamente se representa por medio de una parábola, cuya expresión algebraica es la siguiente:

$$y = ax^2 + bx + c \quad (3)$$

Donde:

y: Variable dependiente.

a, b: Números reales, con **a** siempre con valor diferente de 0.

x: Variable independiente.

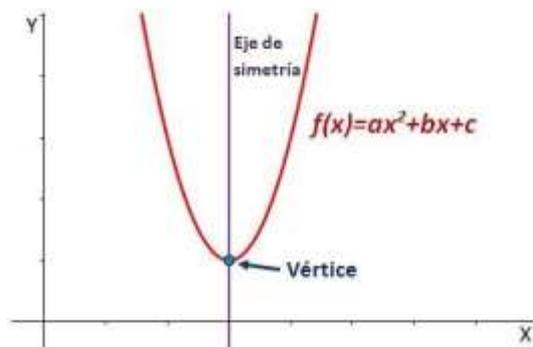


Figura 10: Función Cuadrática.

Fuente y Elaboración.: (Contreras & Pino , 2010).

- Polinomio de grado tres (función cúbica), el mayor exponente del polinomio es x elevado a 3. La función polinómica de grado tres se expresa de la siguiente manera:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (4)$$

Siendo $a \neq 0$

Donde:

y: Variable dependiente.

a, b, c: Números Reales (parámetros constantes).

x: Variable independiente.

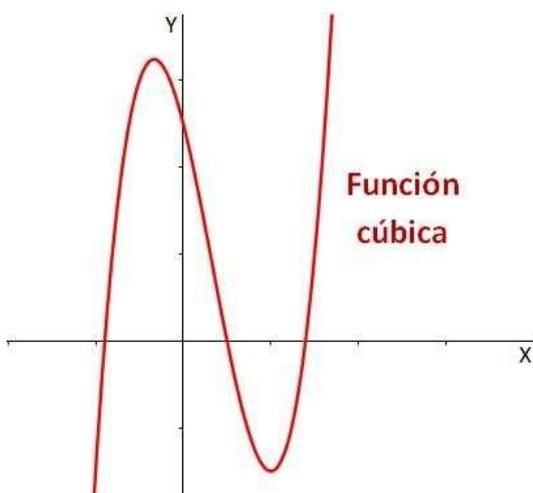


Figura 11: Función Cúbica.

Fuente y Elaboración.: (Contreras & Pino , 2010).

Exponencial: Es aquella que la variable independiente x aparece en el exponente y tiene de base una constante a . Su expresión es:

$$y = a^x \quad (5)$$

Siendo $a > 0$, y diferente de 1, $a \neq 1$.

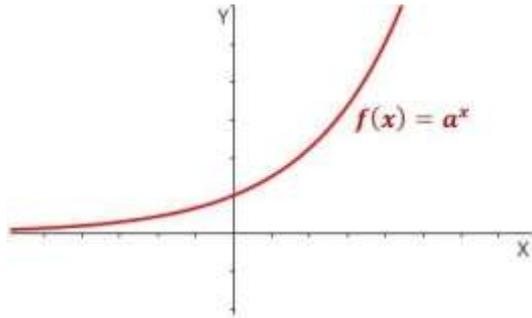


Figura 12: Función Exponencial.

Fuente y Elaboración.: (Contreras & Pino, 2010).

Logarítmicas: La función logarítmica está formada por un logaritmo de base a, cuya expresión es la siguiente:

$$y = \log_a X \tag{6}$$

Siendo $a > 0$, y diferente de 1, $a \neq 1$.

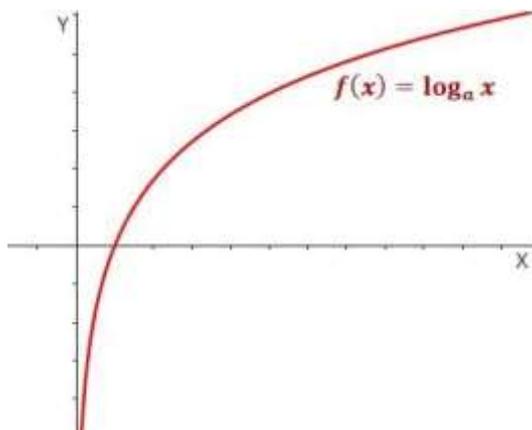


Figura 13: Función Logarítmica.

Fuente y Elaboración.: (Contreras & Pino, 2010).

1.4.2. Análisis de Regresión

El análisis de regresión busca establecer una relación directa o inversa entre dos o más variables. Se utiliza un sistema de coordenadas cartesianas para representar la distribución bidimensional, obteniendo un conjunto de puntos con el diagrama de dispersión, cuyo análisis permite estudiar cualitativamente la relación entre las variables. Es importante conocer el grado de relación en el que la recta se ajusta a la nube de puntos, en el análisis de regresión una medida de ajuste de gran aceptación es el **coeficiente de determinación R^2** , que trata de una medida estandarizada que toma los valores entre 0 y 1 (0 cuando las variables son independientes y 1 cuando entre ellas existe relación perfecta). (Aldás Manzano, 2008).

CAPITULO II: METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio.

Ecuador se encuentra ubicado entre los paralelos 01°30' N y 05°00' S y los meridianos 75°12'W y 81°00'W, situándose en la costa noroccidental de América del Sur. Al territorio nacional le atraviesa la línea ecuatorial aproximadamente 22km al Norte de la ciudad de Quito, que es su capital (INOCAR , 2012).

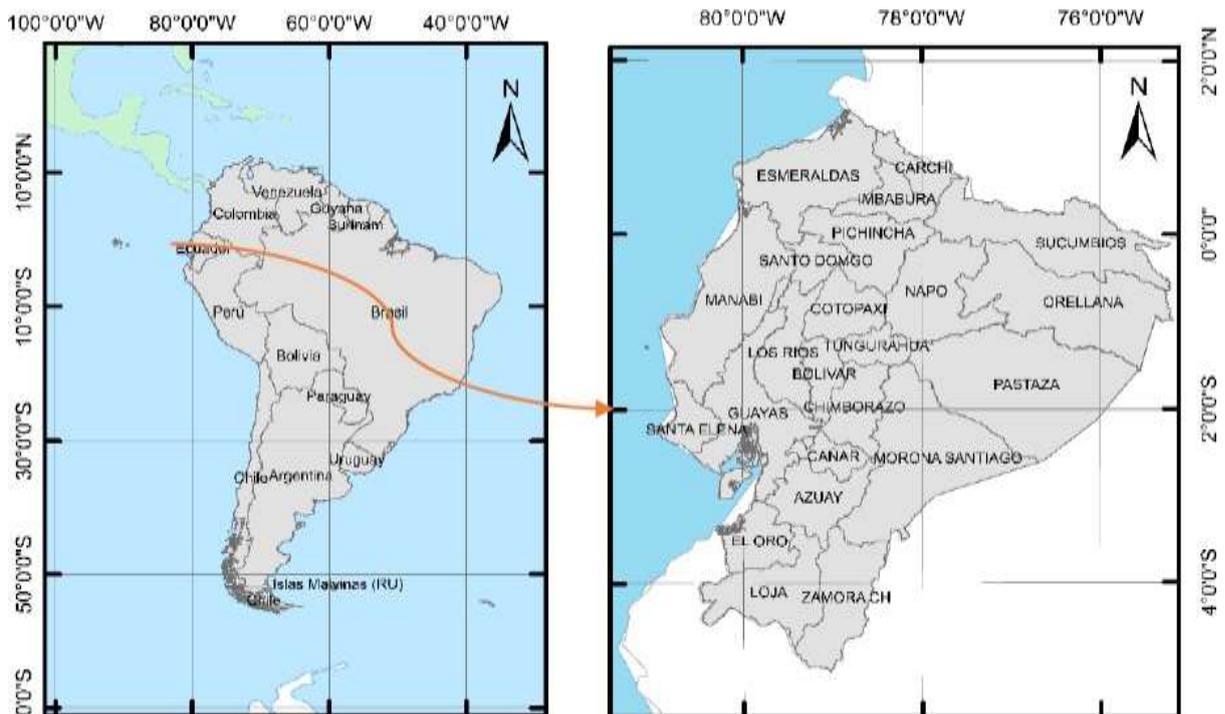


Figura 14: Ubicación Geográfica del Ecuador.

Fuente y Elaboración: (Autoridad Portuaria Guayaquil).

La cordillera de los Andes divide al país continental en tres regiones diferentes: Costa, Sierra y Amazonia; en ellas se presenta una elevada biodiversidad, varios tipos de climas y suelos, gran cantidad de paisajes y regímenes pluviales distintos.

De acuerdo con el informe Ecuador emitido por la Secretaria de Gestión de Riesgos (2012). Se define a las regiones que forman el territorio ecuatoriano:

Región Litoral o Costa: Se extiende desde la línea costera hasta la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes a una altitud aproximadamente de 1200msnm. Posee una temperatura promedio de 22°C; el invierno se presenta entre los meses de diciembre y mayo, y el verano de junio a diciembre. Esta región está influenciada por dos corrientes, la corriente fría de Humboldt proveniente del sur, y la corriente caliente

del Niño proveniente del norte, las dos corrientes han modelado el clima y la biodiversidad terrestre y acuática de la región.

Región Interandina o Sierra: Se ubica entre las cordilleras occidental y oriental de los Andes, y está conformado por valles altos, mostrando un relieve accidentado. En la región Sierra, la temperatura promedio es de 12°C a 18°C. El invierno dura de octubre a mayo y el verano de junio a septiembre. La décima parte del territorio total se encuentra cubierta por paramos, que se ubican entre 3500 a 4500 msnm.

Región Oriental o Amazónica: En la totalidad de su extensión está conformado por una exuberante vegetación de zonas selváticas, bosques, junglas y zonas pantanosas

Región Insular o Galápagos: La integran 13 islas mayores y muchas menores e islotes (más de 70), que se localizan entre 900 y 1200 km del continente. Tiene una superficie aproximada de 8010 km² y su origen es volcánico. El volcanismo en la isla es muy activo, presenta frecuentes erupciones que modelan la orografía de las islas.

2.1.1. Sismicidad histórica en relación con las regiones

De acuerdo con (Rivadeneira, y otros, 2007) “La sismicidad es diferente de acuerdo con las características geológicas y tectónicas de cada región, las mismas que dependen de varios factores, como la estructura y la composición del subsuelo, las fallas tectónicas activas del lugar. Por ello al ser diferente las condiciones sísmicas en cada región también lo será la amenaza sísmica (pág. 32).

Sismos en la región Costera.

Todos los eventos que se producen en la región costera tienen como origen rupturas en la zona de subducción. Por esta razón, la energía liberada es muy alta porque al momento de ocurrir un sismo el material que constituye las caras de las fallas geológicas o contacto de placas llega a su máxima capacidad. Se han registrados eventos desde 1906 y el más fuerte se produjo en el año 2016 el mes de abril en las costas del Ecuador con una magnitud 7.8 grados.

Sismos en la región Oriental.

En la región oriental la cantidad de sismos históricos es menor y estos han provocado daños moderados. Sin embargo, en épocas recientes se registraron dos eventos de importancia como son, el terremoto en la zona de El Reventador en 1987 y el de Cutucú en 1995, ambos con magnitud de 6,9. El origen del sismo está relacionado al sistema de fallas subandino que pasan al occidente del volcán el Reventador.

Sismos en el Valle Interandino.

Los eventos que se producen tienen origen en la falla de Pallatanga cuyo trazo pasa cerca de la zona de Colta.

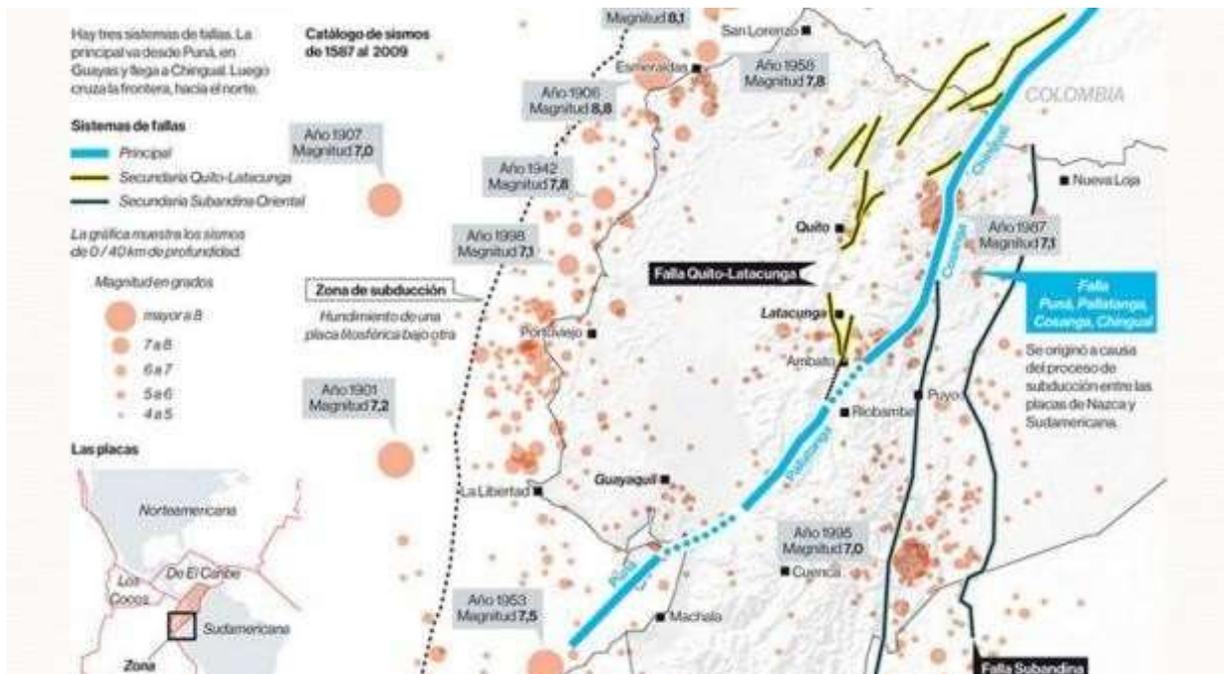


Figura 15: Sistemas tectónicos en el Ecuador.

Fuente y Elaboración: (IGEPN, 2016)

2.1.2. Historia sísmica en el Ecuador.

En los últimos años, de acuerdo con el monitoreo sísmico y a los informes emitidos por parte de las entidades encargadas, el catálogo sísmico del Ecuador registra la siguiente información (Egred A, 1999).

- El terremoto de abril de 1541 con una magnitud de 7.
- El terremoto del 16 de agosto de 1868 de magnitud 7.7.
- El terremoto del 31 de enero de 1906 con magnitud 8.8
- El terremoto del 23 de junio de 1925 cuya magnitud se estima en 6.8.
- El terremoto del 14 de mayo de 1942 con magnitud 7.9.
- El terremoto del 19 de enero de 1958 con magnitud 7.8.
- El terremoto del 5 de marzo de 1987 con magnitud 6.9.
- El terremoto del 16 de abril de 2016 con magnitud 7.8.

2.2. Datos y materiales.

En el presente trabajo se analizarán los datos registrados de la actividad sísmica respecto a las provincias de Napo y Esmeraldas. Para el análisis de sismos se optó por tomar información de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), que brinda información en tiempo real desde el año 1940 hasta el año 2018. La información que se obtiene consta de la ubicación, magnitud y profundidad de los sismos.

Con el fin de registrar y caracterizar los eventos sísmicos en el Ecuador, al final de la década de los 70 se implantó la red de monitoreo sísmica ecuatoriana (RENSIG), operada por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, que provee soluciones para terremotos a partir de 1990. La modernización y ampliación de la red inició en el año 2008 con el fin de contar con una red que cubra todo el Ecuador y permita una mejor caracterización de los parámetros sísmicos. Sin embargo, se cuenta con pocos registros de los eventos sísmicos, para la provincia de Napo se tiene un total de 46 registros desde el año 1955 y para la provincia de esmeraldas con un total de 97 registros desde el año 1944.

2.3. Métodos.

El análisis matemático de los datos se lo realiza mediante el modelo de regresión, es decir, la función se ajusta a una recta y se considera el mejor ajuste aquella recta que hace mínimas las distancias de los puntos medidos.

La ecuación general tiene la forma:

$$y = ax + b \quad (7).$$

Donde:

y= Variable dependiente (magnitudes, profundidades, precipitaciones).

x=Variable independiente (Tiempo).

a= Pendiente de la recta.

b= Ordenada en el origen.

Adicionalmente, se toma en cuenta el coeficiente de determinación (r^2), (Gujarati & Poter, 2009) “parámetro que indica cuán bien se ajusta la línea de regresión de datos” (pág. 77).

El coeficiente de determinación r^2 se encuentra entre los límites de 0 y 1; cero significa que no hay relación alguna entre la variable regresada y la variable regresora. Y cuando el coeficiente de determinación r^2 es 1 la relación entre las variables es perfecta.

CAPITULO III: RESULTADOS

En este capítulo se presenta el registro de actividad sísmica de las provincias de Esmeraldas y Napo, con las variables de profundidad y magnitud y se realiza una comparación entre los eventos sísmicos de la zona costanera respecto a la sismicidad en la región oriental.

3.1. Actividad Sísmica. A partir del catálogo de sismos de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos, se elabora un registro de la información como se indica en la **Tabla 2 y Tabla 3** y el registro completo se adjunta en el **Anexo1. y Anexo 2.**

Tabla 2: Registro de actividad sísmica de la provincia de Napo

AÑO	FECHA	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD	TIPO DE MAGNITUD
1955	11/05/1955	6:04:04	-0,23	-77,878	15	6,5	mw
1973	13/01/1973	2:47:28	-459	-77,957	25	4,4	mb
1975	29/10/1975	9:41:27	-1	-77,905	71	4,1	mb
1976	25/12/1976	23:18:35	-807	-77,626	33	5,2	mb

Fuente: (USGS, 2018).

Elaboración: Autor.

Tabla 3: Registro de actividad sísmica de la provincia de Esmeraldas

AÑO	FECHA	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD	TIPO DE MAGNITUD
1944	23/10/1944	18:40:09	0,605	-79,32	20	6,7	mw
1958	19/01/1958	9:07:28	1,011	-79,489	27,5	7,6	mw
	14/04/1958	16:32:34	0,801	-79,428	25	6,8	mw
	14/04/1958	20:30:49	0,907	-79,581	25	6,1	mw

Fuente: (USGS, 2018).

Elaboración: Autor.

Se generan las gráficas a partir de las variables de magnitud y profundidad, a través del registro de actividad sísmica. (Figura 16) y Tabla 4.



Figura 16: Actividad sísmica de la provincia de Napo.

Fuente y Elaboración: Autor.

Tabla 4: Resultados del comportamiento matemático de las variables de magnitud y profundidad del registro de actividad sísmica de la provincia de Napo.

Periodo	Ubicación	Ecuación	r ²
1955-2014	Napo	$4,8734e^{-0,001x}$	0,1554

Fuente y Elaboración: Autor.

De acuerdo con el catálogo de actividad sísmica para la provincia de Napo (**Anexo 1**), se registran un total de 46 sismos desde el año 1955 hasta el año 2014. Los valores de magnitud se encuentran entre el límite de 3,5 a 6,5 Mw, considerando al sismo ocurrido en el año 1955 como el evento de mayor magnitud con un valor de 6,5 Mw.

La actividad sísmica que se observa en la **Figura 16**, indica que no existe relación entre las variables ya que su valor es 0,1554. El registro de actividad sísmica muestra que desde el año de 1955 solo han ocurrido 4 sismos con profundidades mayores a los 70 km, considerándose sismos intermedios debido a la profundidad en la que se originan.

Y el resto de los sismos son considerados superficiales por encontrarse entre los 0 y 70km de profundidad.

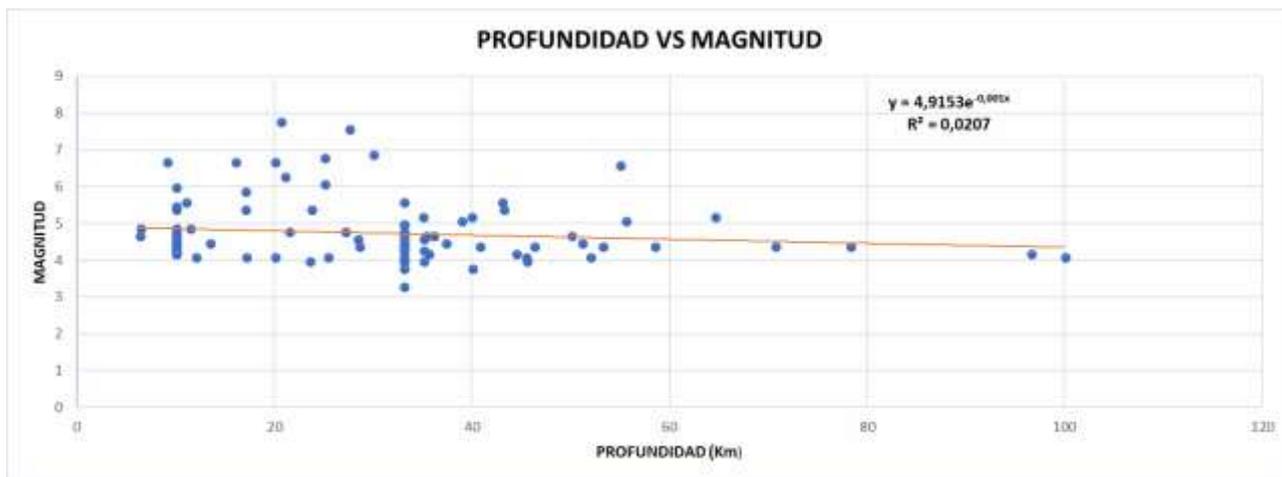


Figura 17: Actividad sísmica de la provincia de Esmeraldas.

Fuente y Elaboración: Autor.

Tabla 5: Resultados del comportamiento matemático de las variables de magnitud y profundidad del registro de actividad sísmica de la provincia de Esmeraldas.

Periodo	Ubicación	Ecuación	r ²
1944-2017	Esmeraldas	$4,9153e^{-0,001x}$	0,0207

Fuente y Elaboración: Autor.

El catálogo de actividad sísmica para la provincia de Esmeraldas (**Anexo 2**), registra un total de 97 sismos desde el año 1944 hasta el año 2017. Los valores de magnitud se encuentran entre el límite de 3 a 8 Mw, considerando al sismo ocurrido el 16 de abril de 2016 a las 18:58, el evento de mayor magnitud con un valor de 7,8 Mw a una profundidad de 20,6 km. Los días y meses posteriores al sismo, se caracterizaron por la frecuente ocurrencia de réplicas que cubrieron una amplia zona de ruptura frente a las costas de Manabí y Esmeraldas

En la **Figura 17**, se observa que las magnitudes de mayor valor se producen en a profundidades cerca de las superficies que se encuentran entre los valores de 0 a 70 km, considerándose sismos superficiales, con un coeficiente de determinación r² nulo ya que su valor se acerca a 0 y no indica relación alguna entre las variables (**Tabla 5**).

CONCLUSIONES

- La elaboración de un registro de actividad sísmica permite conocer el comportamiento a través de los años de la zona en estudio mas no permite predecir la ocurrencia de un sismo en el lugar
- La actividad sísmica es diferente en cada región ya que cada una depende de varios factores, como la estructura y composición del subsuelo y las fallas tectónicas activas del lugar.
- Los sismos que ocurren en la zona costera del Ecuador son considerados los más importantes, debido a que todos estos eventos tienen como origen de ruptura la zona de subducción y es por esta razón que la energía liberada es muy alta.
- En el registro sísmico de la provincia de Esmeraldas se observa mayor actividad sísmica en el año 2016 en el que se produce un sismo principal de 7.8 Mw y en relación con este se registran sismos secundarios que en su mayoría son considerados superficiales (< 70km en profundidad).
- En la provincia de Esmeraldas, así como en la provincia de Napo los sismos de mayor magnitud se producen en profundidades menores a los 25 Km, considerándose sismos superficiales y los que mayor destrucción causan en el lugar en el que se producen.
- Las gráficas de actividad sísmica de las provincias de Esmeraldas y Napo indican que no existe una correlación entre las variables de magnitud y profundidad, los coeficientes de determinación (r^2) en cada una indican que los valores son cercanos a 0.

RECOMENDACIONES

- Es necesario que los boletines de información emitidos por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, no solo reporte información del estado en el que se encuentra el país. Es importante tener información en tiempo real de la actividad sísmica.
- Que las entidades encargadas del monitoreo de actividad sísmica en el Ecuador registren permanentemente las señales sísmicas de mayor impacto y destrucción.
- Realizar investigaciones sobre la recurrencia de sismos de gran magnitud, en base al comportamiento sísmico histórico y la energía liberada.
- En base a los resultados obtenidos es importante realizar otro tipo de investigación en el que se emplee registros completos de la actividad sísmica en toda la región costera, andina y oriental del país, de la misma manera contar con información de la estructura y composición del subsuelo y el comportamiento de las fallas activas en cada región. Y como resultados conocer la relación que exista entre las variables.

BIBLIOGRAFÍA

- (2017). *Atlas del Sismo* . Instituto Geográfico Militar, Quito.
- Autoridad Portuaria Guayaquil . (s.f.). *Ubicación Geográfica* . Obtenido de <http://www.apg.gob.ec>
- Cardona A, O. D. (2002). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo*. Obtenido de Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres: <http://hdl.handle.net/20.500.11762/19852>
- Contreras , J., & Pino , C. (2010). *Modelos matemáticos y funciones* . Universidad de Talca , Departamento de Matemática y Física.
- Cursos de Formación General . (s.f.). *La tierra fuerzas de la naturaleza y el hombre*. Universidad de Chile , Departamento de Pregrado . Obtenido de www.cfg.uchile.cl
- D' Ercole, R., & Trujillo, M. (2003). *Amenzas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador*. Quito.
- Egred A, J. (1999). *Sismicidad Histórica en el Ecuador* . Quito.
- Ferra Cuevas , J. (2014). *Las funciones: Sus tipos y representaciones gráficas*. Universidad Interamericana para el Desarrollo , Departamento de matemáticas , Juchitán de Zaragoza.
- Fontaine, G., Narváez , I., & Cisneros , P. (2008). *GEO ECUADOR*. QUITO: Publicaciones FLACSO.
- Giner Robles, J. L., Pozo Rodriguez , M., Carena Fernández, B., Domínguez Díaz, C., García Ruíz , A., Regadío García , M., & Soto García , I. S. (2012). *Riesgo Sísmico*. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias, Madrid .
- Gujarati , D., & Poter , D. (2009). *Econometría* (Quinta ed.). México: The McGraw-Hill.
- Ibarra M, L. (2000). *Las matemáticas: sus modelos y variables*. Universidad Autónoma de Aguascalientes , Departamento de Matemáticas y Física , México.
- IGEPN. (s.f.). *Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de Red de observatorios vulcanológicos: <http://www.igepn.edu.ec>
- Mena, U. (2002). *Evaluación del Riesgo Sísmico en zonas urbanas*. Memoria de la Tesis de Doctorado en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural , Universidad Politécnica de Cataluña .
- Métodos geofísicos*. (s.f.). Obtenido de Tipos de ondas sísmicas: www.medellin.unal.edu.ec

- Moncayo Theurer, M., Velasco , G., Mora , C., Montenegro, M., & Cordova , J. (2017). Terremotos mayores a 6.5 en escala de Richter ocurridos en Ecuador desde 1900 hasta 1970. *Revista Académica de la FI-AUDY*, 55-64.
- Organización Mundial de la Salud. (2004). *Publicaciones*. Obtenido de www.who.int/publications/es/
- Organización Panamericana de la Salud. (2000). *Efectos generales de los desastres en la salud pública*. Obtenido de Impacto de los desastres en la salud pública: <http://www.paho.org>
- Sarachaga, M. H. (1997). *Conceptos básicos de sismología para ingenieros* (Primera ed.). Lima, Perú.
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2017). *Desastres en Ecuador*. Obtenido de <http://gestionriesgosec.maps.arcgis.com>
- Tarback, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la Tierra* (Octava ed.). Madrid: Pearson Educación S.A.
- USGS. (s.f.). *Catálogo de Sismos* . Obtenido de <https://earthquake.usgs.gov>

ANEXOS

ANEXO 1: REGISTRO DE ACTIVIDAD SÍSMICA DE LA PROVINCIA DE NAPO

Tabla 6: Registro de actividad sísmica de la provincia de Napo

FECHA	HORA (LOCAL)	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD	TIPO DE MAGNITUD
11/05/1955	6:04:04	-0,23	-77,878	15	6,5	mw
13/01/1973	2:47:28	-0,459	-77,957	25	4,4	mw
29/10/1975	9:41:27	-1	-77,905	71	4,1	mb
25/12/1976	23:18:35	-0,807	-77,626	33	5,2	mb
22/04/1984	13:57:38	-0,532	-78,047	33	4,6	mb
13/07/1986	5:26:07	-0,607	-77,957	5	4,9	mb
21/01/1987	11:35:13	-1,049	-77,631	138	4,3	mb
5/03/1987	23:17:30	-0,22	-77,6	10	5,5	mb
6/03/1987	1:33:04	-0,55	-77,629	10	5,2	mb
6/03/1987	7:40:05	-0,152	-77,565	12,2	4,9	mb
7/03/1987	14:16:32	-208	-77,716	10	4,3	mb
7/03/1987	17:58:14	-138	-77,533	10	4,7	mb
9/03/1987	20:35:29	-187	-77,948	10	4,8	mb
10/03/1987	1:38:57	-267	-77,95	10	4,7	mb
10/03/1987	9:59:23	-268	-77,733	10	4,7	mb
16/03/1987	2:31:50	-1	-77,776	10	4,3	mb
24/03/1987	10:53:02	-43	-77,752	10	3,7	mb
15/08/1987	8:46:38	-1165	-78,093	58,7	4,6	mb
22/09/1987	8:43:38	-978	-78,05	10	6,4	mw
22/09/1987	11:21:35	-1082	-78,127	10	6	mw
26/09/1987	9:58:43	-1014	-77,944	57,6	3,9	mb
23/10/1987	10:49:57	-1115	-77,964	33	4,4	mb

16/06/1988	11:33:03	-163	-77,793	26,6	4,8	mb
2/03/1989	9:10:29	-593	-77,514	41,5	5	mb
15/09/1989	20:49:16	-592	-77,469	10	5,4	mb
6/10/1989	16:15:42	-676	-77,546	10	4,6	mb
12/03/1990	2:32:09	-104	-78,019	10	4,1	mb
24/03/1991	11:13:31	-101	-78,059	10	4	md
20/07/1991	10:21:09	-703	-78,148	33	4	md
12/12/1991	2:12:41	-902	-77,49	33	4,7	mb
24/12/1991	5:32:55	-632	-77,545	33	3,7	mb
26/12/1992	9:57:39	-1011	-78,064	11,6	5,9	mw
21/04/1999	6:29:27	-26	-77,307	54,4	4,2	mb
14/01/2002	1:21:23	-994	-77,957	10	4,7	mb
23/05/2003	22:56:50	-378	-78,073	49,3	4,5	mb
20/08/2003	5:06:05	-982	-77,642	119,7	4,4	mb
7/01/2004	19:03:01	-553	-77,918	10	4,6	mb
24/10/2005	12:35:34	-507	-77,745	35	4,8	mb
30/10/2006	19:28:28	-1178	-78,132	204,9	3,7	mb
22/09/2007	15:01:24	-993	-78,137	35	4,2	mb
27/10/2007	15:38:28	-652	-77,602	45,2	4,9	mb
17/08/2008	19:41:32	-1087	-77,788	29,2	4,6	mb
9/10/2009	13:11:40	-962	-77,817	35,2	5,2	mwc
25/03/2010	20:56:37	-1098	-78,129	10	5	mwc

Fuente: USGS

Elaboración: Autor.

ANEXO 2: REGISTRO DE ACTIVIDAD SÍSMICA DE LA PROVINCIA DE ESMERALDAS.

Tabla 7: Registro de actividad sísmica de la provincia de Esmeraldas.

FECHA	HORA (LOCAL)	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD	TIPO DE MAGNITUD
23/10/1944	18:40:09	0,605	-79,32	20	6,7	mw
19/01/1958	9:07:28	1,011	-79,489	27,5	7,6	mw
14/04/1958	16:32:34	0,801	-79,428	25	6,8	mw
14/04/1958	20:30:49	0,907	-79,581	25	6,1	mw
4/01/1973	19:39:48	0,683	-80,018	36	4,7	mb
6/01/1973	1:41:12	0,705	-79,962	40	3,8	mb
10/03/1974	11:17:09	0,403	-80,047	43	5,6	ms
1/08/1974	18:36:47	0,866	-79,74	50	4,7	mb
9/04/1976	2:08:47	0,782	-79,804	9	6,7	ms
28/02/1979	10:03:48	0,879	-79,79	33	4,8	mb
1/03/1979	9:33:15	0,673	-80,073	33	5,6	mb
27/11/1980	17:04:21	0,313	-79,206	33	4,8	mb
12/09/1982	15:03:21	0,768	-79,815	33	4,7	mb
22/11/1983	9:21:03	0,482	-79,877	54,9	6,6	mw
21/12/1983	13:36:55	0,4	-79,907	39,9	5,2	mb
19/01/1986	3:03:27	0,555	-80,041	33	5	mw
24/03/1994	6:59:08	0,38	-79,135	33	4	md
29/03/1994	6:58:22	0,656	-79,778	10	4,3	md
1/04/1994	0:01:04	0,502	-79,798	23,5	4	md
1/04/1994	3:29:39	0,612	-79,863	33	4	md
20/07/1995	6:13:38	0,522	-80,091	33	5	mb
10/10/1995	12:29:23	1,123	-79,3	55,5	5,1	mw

17/06/1996	23:49:50	0,885	-79,9	33	4,1	mb
18/06/1996	3:01:29	0,792	-79,992	33	4,3	mb
11/12/1996	16:15:49	0,775	-79,135	33	3,8	mb
22/12/1996	20:44:07	0,353	-79,641	33	3,3	mb
31/07/1998	7:32:00	0,31	-80,004	33	4,4	mb
21/08/1998	19:27:29	0,913	-79,199	33	4,3	mb
21/12/1998	13:13:33	0,405	-79,665	100	4,1	mb
5/08/1999	19:53:17	0,748	-79,25	96,5	4,2	mb
27/08/1999	21:52:10	0,747	-80,102	33	4,6	mb
24/12/2002	5:08:30	0,869	-79,525	33	4,5	mb
1/06/2004	10:52:39	0,706	-79,744	23,7	5,4	mwc
31/12/2005	22:37:09	0,999	-79,544	44,4	4,2	mb
18/04/2006	2:00:14	0,962	-79,623	51,9	4,1	mb
31/01/2007	22:55:32	0,397	-79,787	45,5	4	mb
4/12/2007	18:05:51	0,75	-80,059	70,6	4,4	mb
10/12/2007	13:19:07	0,589	-80,007	38,9	5,1	mwc
11/12/2007	1:54:26	0,599	-79,874	58,4	4,4	mb
31/05/2008	1:13:50	1,076	-79,129	46,2	4,4	mb
18/04/2010	19:33:07	1,131	-79,489	12	4,1	mb
24/11/2010	23:19:41	0,443	-79,92	43,1	5,4	mwc
20/05/2011	9:00:49	0,509	-79,871	17,1	4,1	mb
12/01/2012	1:59:02	0,551	-79,697	51,1	4,5	mb
8/02/2012	5:54:42	0,658	-79,258	64,5	5,2	mwc
15/11/2015	10:54:05	0,6504	-80,0534	10	4,2	mb
23/12/2015	12:19:53	1,0111	-79,5217	40,7	4,4	mb
1/01/2016	12:15:43	0,4792	-78,7732	27,1	4,8	mb

16/04/2016	18:47:42	0,2992	-80,05	21,4	4,8	mb
16/04/2016	18:58:37	0,3819	-79,9218	20,6	7,8	mww
17/04/2016	15:24:01	0,5721	-79,9153	10	4,5	mb
19/04/2016	16:54:21	0,5615	-80,0435	10	4,4	mb
19/04/2016	17:22:25	0,5783	-80,0247	11	5,6	mwb
19/04/2016	20:48:11	0,6249	-79,9257	10	4,2	mb
19/04/2016	20:49:17	0,6231	-79,9113	10	4,3	mb
19/04/2016	20:50:39	0,6897	-80,0286	10	4,4	mb
20/04/2016	3:35:11	0,7079	-80,0352	10	6	mwb
20/04/2016	3:56:51	0,4653	-80,0595	20	4,1	mb
20/04/2016	16:30:04	0,5694	-79,9283	6,4	4,9	mwr
22/04/2016	11:27:05	0,8542	-79,997	10	4,4	mb
24/04/2016	2:22:00	0,6026	-79,5669	10	4,3	mb
29/04/2016	20:44:41	5094	-79,7834	10	4,2	mb
18/05/2016	2:57:03	4261	-79,7899	16	6,7	mww
18/05/2016	3:06:18	4334	-79,8336	10	4,8	mb
18/05/2016	11:46:44	4947	-79,616	30	6,9	mww
19/05/2016	2:05:51	6232	-80,0177	37,3	4,5	mb
24/05/2016	16:03:18	4694	-79,7804	10	4,6	mb
6/06/2016	11:45:10	5823	-80,0321	13,4	4,5	mb
24/06/2016	4:38:06	8315	-79,542	10	4,3	mb
6/07/2016	1:15:28	9737	-79,4339	35,5	4,2	mb
6/07/2016	1:19:48	9235	-79,3978	35	4,6	mb
7/07/2016	5:48:41	9109	-79,5016	35	4	mb
10/07/2016	21:01:10	5874	-79,6358	17	5,9	mww
10/07/2016	21:11:05	5812	-79,638	21	6,3	mww

11/07/2016	2:40:30	7388	-79,55	10	4,3	mb
14/07/2016	11:37:43	12598	-79,9909	10	4,7	mb
18/07/2016	7:00:26	11219	-79,1882	10	4,5	mb
2/09/2016	15:49:01	7154	-79,0854	78,2	4,4	mb
14/09/2016	11:50:36	5673	-79,9646	6,3	4,7	mb
12/12/2016	9:42:27	8666	-79,6942	35,3	4,7	mb
12/12/2016	10:54:00	8529	-79,7855	34,9	5,2	mww
12/12/2016	14:29:19	6163	-79,429	45,4	4,1	mb
13/12/2016	17:55:52	9465	-79,7679	28,5	4,4	mb
19/12/2016	2:11:40	8754	-79,7079	10	5,4	mwr
19/12/2016	2:24:58	8205	-79,6857	10	4,2	mb
19/12/2016	3:57:15	7831	-79,7186	10	4,5	mb
20/12/2016	5:49:58	9054	-79,7553	10	4,8	mwr
20/12/2016	10:41:33	9148	-79,6875	10	4,6	mb
20/12/2016	12:39:23	9368	-79,6304	11,4	4,9	mb
20/12/2016	12:55:19	9739	-79,5919	25,3	4,1	mb
20/12/2016	20:04:52	9239	-79,6856	10	4,8	mwr
10/01/2017	21:36:30	6184	-80,0216	10	4,9	mwr
31/01/2017	9:22:39	702	-79,6769	10	5,5	mww
11/07/2017	7:09:16	7164	-79,7006	17	5,4	mww
12/09/2017	22:34:45	9958	-79,4515	53,2	4,4	mb
18/10/2017	21:39:12	10737	-79,4764	28,4	4,6	mb
6/11/2017	12:56:53	6776	-79,785	35	4,3	mb
11/07/2016	2:40:30	7388	-79,55	10	4,3	mb
14/07/2016	11:37:43	12598	-79,9909	10	4,7	mb
18/07/2016	7:00:26	11219	-79,1882	10	4,5	mb

2/09/2016	15:49:01	7154	-79,0854	78,2	4,4	mb
14/09/2016	11:50:36	5673	-79,9646	6,3	4,7	mb
12/12/2016	9:42:27	8666	-79,6942	35,3	4,7	mb
12/12/2016	10:54:00	8529	-79,7855	34,9	5,2	mww
12/12/2016	14:29:19	6163	-79,429	45,4	4,1	mb
13/12/2016	17:55:52	9465	-79,7679	28,5	4,4	mb
19/12/2016	2:11:40	8754	-79,7079	10	5,4	mwr
19/12/2016	2:24:58	8205	-79,6857	10	4,2	mb
19/12/2016	3:57:15	7831	-79,7186	10	4,5	mb
20/12/2016	5:49:58	9054	-79,7553	10	4,8	mwr
20/12/2016	10:41:33	9148	-79,6875	10	4,6	mb
20/12/2016	12:39:23	9368	-79,6304	11,4	4,9	mb
20/12/2016	12:55:19	9739	-79,5919	25,3	4,1	mb
20/12/2016	20:04:52	9239	-79,6856	10	4,8	mwr
10/01/2017	21:36:30	6184	-80,0216	10	4,9	mwr
31/01/2017	9:22:39	702	-79,6769	10	5,5	mww
11/07/2017	7:09:16	7164	-79,7006	17	5,4	mww
12/09/2017	22:34:45	9958	-79,4515	53,2	4,4	mb
18/10/2017	21:39:12	10737	-79,4764	28,4	4,6	mb
6/11/2017	12:56:53	6776	-79,785	35	4,3	mb
2/09/2016	15:49:01	7154	-79,0854	78,2	4,4	mb
14/09/2016	11:50:36	5673	-79,9646	6,3	4,7	mb
12/12/2016	9:42:27	8666	-79,6942	35,3	4,7	mb
12/12/2016	10:54:00	8529	-79,7855	34,9	5,2	mww
12/12/2016	14:29:19	6163	-79,429	45,4	4,1	mb
13/12/2016	17:55:52	9465	-79,7679	28,5	4,4	mb

19/12/2016	2:11:40	8754	-79,7079	10	5,4	mwr
19/12/2016	2:24:58	8205	-79,6857	10	4,2	mb
19/12/2016	3:57:15	7831	-79,7186	10	4,5	mb
20/12/2016	5:49:58	9054	-79,7553	10	4,8	mwr
20/12/2016	10:41:33	9148	-79,6875	10	4,6	mb
20/12/2016	12:39:23	9368	-79,6304	11,4	4,9	mb
20/12/2016	12:55:19	9739	-79,5919	25,3	4,1	mb
20/12/2016	20:04:52	9239	-79,6856	10	4,8	mwr
10/01/2017	21:36:30	6184	-80,0216	10	4,9	mwr
31/01/2017	9:22:39	702	-79,6769	10	5,5	mww
11/07/2017	7:09:16	7164	-79,7006	17	5,4	mww
12/09/2017	22:34:45	9958	-79,4515	53,2	4,4	mb
18/10/2017	21:39:12	10737	-79,4764	28,4	4,6	mb
6/11/2017	12:56:53	6776	-79,785	35	4,3	mb
19/12/2016	2:11:40	8754	-79,7079	10	5,4	mwr
19/12/2016	2:24:58	8205	-79,6857	10	4,2	mb
19/12/2016	3:57:15	7831	-79,7186	10	4,5	mb
20/12/2016	5:49:58	9054	-79,7553	10	4,8	mwr
20/12/2016	10:41:33	9148	-79,6875	10	4,6	mb
20/12/2016	12:39:23	9368	-79,6304	11,4	4,9	mb
20/12/2016	12:55:19	9739	-79,5919	25,3	4,1	mb
20/12/2016	20:04:52	9239	-79,6856	10	4,8	mwr
10/01/2017	21:36:30	6184	-80,0216	10	4,9	mwr
31/01/2017	9:22:39	702	-79,6769	10	5,5	mww
11/07/2017	7:09:16	7164	-79,7006	17	5,4	mww
12/09/2017	22:34:45	9958	-79,4515	53,2	4,4	mb

18/10/2017	21:39:12	10737	-79,4764	28,4	4,6	mb
6/11/2017	12:56:53	6776	-79,785	35	4,3	mb

Fuente: USGS

Elaboración: Autor.