



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGERIA CIVIL**

**TEMA:**

**DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO DE SISMOS HISTÓRICOS  
EN ECUADOR.**

**AUTORES:**

**CHICA CARVAJAL, CÉSAR ALEJANDRO  
MORÁN PARRALES, ROMMEL JESÚS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERA CIVIL**

**TUTOR:**

**ING. ALEX VILLACRÉS SÁNCHEZ, M.SC.**

**GUAYAQUIL, ECUADOR**

**14 de septiembre del 2020**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGERIA CIVIL

**CERTIFICACIÓN:**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Chica Carvajal, César Alejandro y Morán Parrales, Rommel Jesús**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR:**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alex Villacrés Sánchez, M.Sc**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, M.Sc**

Guayaquil, a los 14 del mes de septiembre del año 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

### **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Morán Parrales, Rommel Jesús y Chica Carvajal, César Alejandro**

#### **DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación, **DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO DE SISMOS HISTÓRICOS EN ECUADOR**, previo a la obtención del título de **Ingeniería Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 14 del mes de septiembre del año 2020**

#### **AUTORES:**

f.   
Chica Carvajal, César Alejandro

f.   
Morán Parrales, Rommel Jesús



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

### **AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Chica Carvajal, César Alejandro y Morán Parrales, Rommel Jesús.**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO DE SISMOS HISTÓRICOS EN ECUADOR**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los días 14 del mes de septiembre del año 2020**

### **AUTORES:**

f.  \_\_\_\_\_

**Chica Carvajal, César Alejandro**

f.  \_\_\_\_\_

**Morán Parrales, Rommel Jesús**

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** Cesar.Chica\_Rommel.Moran.pdf (D78511339)  
**Submitted:** 9/2/2020 8:04:00 PM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 4 %

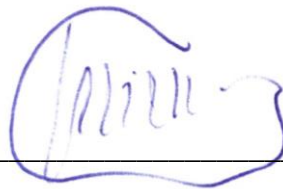
### Sources included in the report:

Análisis de Riesgo Sísmico, su afectación a los centros de atención a emergencias en Ecuador y continuidad de servicio V2.docx (D15081723)  
PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO Y REHABILITACIÓN DE LA EDIFICACION- Luis Arturo Teran Reyes.docx (D35166884)  
<http://jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/05/2011-SISMICA-Cap-2-Parte-2.pdf>  
<https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidad-espanol/23-el-terremoto-de-riobamba-de-1797/file>  
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmico-parte-1.pdf>  
<https://docplayer.es/12239291-El-terremoto-de-riobamba.html>

### Instances where selected sources appear:

9

f. \_\_\_\_\_



**Ing. Alex Villacrés Sánchez, M.Sc**

TUTOR

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer primeramente a Dios ya que es el faro que me guía, a mis padres que siempre me estuvieron apoyando a lo largo de mis estudios universitarios, mi madre María Paola Carvajal Intriago que con mucha perseverancia y arriesgando muchas cosas siempre estuvo presente para darme aliento, a mi padre Lenin Alejandro Chica Arteaga, que con sus consejos, con su guía, y con mucho sacrificio me apoyo incondicionalmente para que pudiera llegar a lograr este objetivo, y también a mi tía Georgina Intriago Rodríguez que me acogió en su hogar en los primeros años de estudios.

En general gracias al apoyo brindado a familiares y amigos, mi compañero de tesis por quien siento un profundo afecto, espero que la vida nos colme de bendiciones y tengamos mucho éxito en nuestra vida profesional.

Y a mi tutor el Ingeniero Alex Villacrés, quien fue el guía fundamental en el trabajo de titulación, y con sus conocimientos nos instruyó para que este trabajo sea posible.

**CÉSAR ALEJANDRO CHICA CARVAJAL**

## **AGRADECIMIENTO**

El milagro de la vida en esta época difícil, donde el creador me ha protegido con salud, fortalecido en mis convicciones y fe en el creador a quien mi gratitud imperecedera nace de mi espíritu, a mi familia, mis progenitores Rommel Jorge Morán Zavala y Haydee Monserrate Parrales Gutiérrez cuyo apoyo incondicional ha sido el pilar en los momentos difíciles que me han motivado y animado para continuar esta etapa de estudio.

Reconocer lo prolijo, exigente, esfuerzo y paciencia del Ingeniero Alex Villacrés tutor del tema de Tesis, quien transmitió experiencias y conocimientos, cuya guía fue primordial para el éxito en el trabajo de titulación.

El camino no ha sido fácil, se han vencido los obstáculos hasta culminar este tercer nivel de estudio universitario y poder ser un activo para la sociedad, revertiendo los conocimientos de Ingeniero Civil para el cambio que requiere el País.

**ROMMEL JESÚS MORÁN PARRALES**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, quien ha sido mi guía fundamental en cada momento y en cuya Fe he cimentado el propósito de mi vida estudiantil y profesional.

A mis padres, quienes transmitieron en mí la perseverancia y ejemplo para poder avanzar con mis estudios y me han impulsado a seguir adelante en cada trayecto de mi vida. A la comunidad universitaria y futuros estudiantes y profesionales de la Ingeniería Civil para que este sea un pequeño grano de arena que acompañe o aumente en algo sus conocimientos y experiencias estudiantiles.

A los catedráticos universitarios para que en el producto del mismo vean plasmadas sus enseñanzas y logren regocijarse de ella y a la vez mejorarlas cada día más para los futuros universitarios.

**CÉSAR ALEJANDRO CHICA CARVAJAL**



## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada principalmente a Dios, por ser el inspirador, y darme fuerzas día a día para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, nunca han dudado de mí, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, gracias por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, por inculcar en mí el ejemplo de valores, perseverancia, esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre. Por confiar y creer en mí y en mis expectativas y por cada una de sus sabias palabras que me guían e impulsan en mi vida.

A mis hermanos Romina, Jorge y Sofía por estar siempre presentes durante todo este proceso y por el apoyo moral que me brindaron a lo largo de esta etapa, que con sus palabras me hacen sentir orgulloso de lo que soy y de lo que les puedo enseñar. Y ser un ejemplo a seguir para ustedes.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis compañeros y amigos por todos los esfuerzos y momentos que pasamos juntos. por las tareas que juntos realizamos y por todas las veces que a mí me explicaron de ida y vuelta, gracias. Por la confianza que en mí depositaron.

**ROMMEL JESÚS MORÁN PARRALES**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Alex Villacrés Sánchez, M.Sc**

TUTOR

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas, M.Sc.**

DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Jaime Hernández Barredo M.Sc**

DELEGADO DE ÁREA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. José Andrés Barros Cabezas, M.Sc.**

OPONENTE

# ÍNDICE

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| CAPITULO 1 .....                                                                                                            | 2         |
| INTRODUCCIÓN .....                                                                                                          | 2         |
| 1. GENERALIDADES.....                                                                                                       | 4         |
| 1.1 Antecedentes .....                                                                                                      | 4         |
| 1.2 Objetivos .....                                                                                                         | 6         |
| 1.2.1 Objetivo general .....                                                                                                | 6         |
| 1.2.2 Objetivos específicos:.....                                                                                           | 6         |
| 1.3 Alcance.....                                                                                                            | 7         |
| 1.4 Metodología.....                                                                                                        | 7         |
| CAPITULO 2 .....                                                                                                            | 8         |
| 2. MARCO TEÓRICO .....                                                                                                      | 8         |
| 2.1 La historia sísmica del Ecuador .....                                                                                   | 8         |
| 2.2 Terremoto de Riobamba del 4 de febrero de 1797 .....                                                                    | 10        |
| <i>a) Ubicación _ Zona macrosísmica .....</i>                                                                               | <i>28</i> |
| <i>b) Ley de atenuación de aceleración de Aguiar .....</i>                                                                  | <i>10</i> |
| <i>c) Tipo de suelo .....</i>                                                                                               | <i>11</i> |
| <i>d) Aceleración horizontal en superficie AH(g) .....</i>                                                                  | <i>14</i> |
| <i>e) Coeficiente de perfil del suelo Fa: el Coeficiente de amplificación de<br/>suelo en la zona de período corto.....</i> | <i>26</i> |
| <i>f) Aceleración en roca .....</i>                                                                                         | <i>29</i> |

|                                                       |    |
|-------------------------------------------------------|----|
| g) <i>Período de retorno</i> .....                    | 30 |
| CAPÍTULO 3 .....                                      | 44 |
| 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....                        | 44 |
| 3.1 Sismos históricos por capitales del Ecuador. .... | 62 |
| CAPÍTULO 4 .....                                      | 57 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....               | 57 |
| 4.1 Conclusiones .....                                | 58 |
| 4.2 Recomendaciones .....                             | 59 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA .....                       | 59 |
| ANEXOS .....                                          | 60 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                                                                                                | 2  |
| <b>1. GENERALIDADES</b> .....                                                                                                            | 4  |
| <b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....                                                                                                            | 8  |
| <b>2.1 La historia sísmica del Ecuador</b> .....                                                                                         | 8  |
| <b>Tabla 1.</b> Terremotos del Ecuador con Intensidades $\geq$ VIII .....                                                                | 9  |
| <b>Tabla 2.</b> Terremotos del Ecuador con Intensidades $\geq$ VIII .....                                                                | 10 |
| <b>Tabla 3.</b> Intensidades del terremoto de Riobamba. ....                                                                             | 12 |
| <b>Tabla 4.</b> Cálculo de la Ley de Atenuación de aceleraciones de Aguiar de Sismos asociados al fallamiento Cortical, Ecuación 1. .... | 13 |
| <b>Tabla 5.</b> Tipo de suelo y aceleración horizontal en superficie AH (g).....                                                         | 26 |
| <b>Tabla 6.</b> Factores de sitio Fa, Riobamba Antiguo. ....                                                                             | 27 |
| <b>Tabla 7.</b> Resumen de los valores de Fa .....                                                                                       | 28 |
| <b>Tabla 8.</b> Resumen de los valores de aceleración en roca (Z). ....                                                                  | 29 |
| <b>Tabla 9.</b> Valores de periodo de Retorno, Riobamba. ....                                                                            | 31 |
| <b>Tabla 10.</b> Valores de periodo de Retorno, Ambato.....                                                                              | 32 |
| <b>Tabla 11.</b> Valores de periodo de Retorno, Latacunga.....                                                                           | 33 |
| <b>Tabla 12.</b> Valores de periodo de Retorno, Guaranda. ....                                                                           | 34 |
| <b>Tabla 13.</b> Valores de periodo de Retorno, Quito .....                                                                              | 35 |
| <b>Tabla 14.</b> Valores de periodo de Retorno, Cuenca.....                                                                              | 36 |
| <b>Tabla 15.</b> Valores de periodo de Retorno, Ibarra. ....                                                                             | 37 |
| <b>Tabla 16.</b> Valores de periodo de Retorno, Guayaquil.....                                                                           | 38 |
| <b>Tabla 17.</b> Valores de periodo de Retorno, Machala.....                                                                             | 39 |
| <b>Tabla 18.</b> Valores de periodo de Retorno, Loja. ....                                                                               | 40 |

|                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tabla 19.</b> Valores de periodo de Retorno, Portoviejo.....                                       | 41        |
| <b>Tabla 20.</b> Valores de periodo de Retorno, Tena.....                                             | 42        |
| <b>Tabla 21.</b> Resumen de los valores de Periodo de retorno y tipos de amenazas sísmica.....        | 43        |
| <b>3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>                                                                | <b>44</b> |
| <b>Tabla 22.</b> Efecto en Riobamba de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....      | 45        |
| <b>Tabla 23.</b> Efecto en Ambato de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....        | 46        |
| <b>Tabla 24.</b> Efecto en Guayaquil de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....     | 47        |
| <b>Tabla 25.</b> Efecto en Portoviejo de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....    | 48        |
| <b>Tabla 26.</b> Efecto en Esmeraldas de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....    | 49        |
| <b>Tabla 27.</b> Efecto en Guaranda de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....      | 50        |
| <b>Tabla 28.</b> Efecto en Quito de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....         | 51        |
| <b>Tabla 29.</b> Efecto en Latacunga de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....     | 52        |
| <b>Tabla 30.</b> Efecto en Ibarra de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....        | 53        |
| <b>Tabla 31.</b> Efecto en Tulcán de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....        | 54        |
| <b>Tabla 32.</b> Efecto en Santo Domingo de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020)..... | 55        |
| <b>Tabla 33.</b> Efecto en Loja de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).....          | 56        |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....                          | 57 |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA</b> .....                                  | 59 |
| <b>Tabla 34.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Riobamba. ....   | 60 |
| <b>Tabla 35.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Ambato. ....     | 61 |
| <b>Tabla 36.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Latacunga. ....  | 62 |
| <b>Tabla 37.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Guaranda. ....   | 63 |
| <b>Tabla 38.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Quito. ....      | 64 |
| <b>Tabla 39.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Cuenca. ....     | 65 |
| <b>Tabla 40.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Ibarra. ....     | 66 |
| <b>Tabla 41.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Guayaquil. ....  | 67 |
| <b>Tabla 42.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Machala. ....    | 68 |
| <b>Tabla 43.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Loja. ....       | 69 |
| <b>Tabla 44.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Portoviejo. .... | 70 |
| <b>Tabla 45.</b> Aceleración sísmica esperada en roca, Tena. ....       | 71 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Mapa geológico de Ecuador, RIOBAMBA. ....                                                  | 14 |
| <b>Figura 2.</b> Mapa geológico de Ecuador, Ambato. ....                                                    | 15 |
| <i>Figura 3 . Mapa geológico de Ecuador, Latacunga</i> .....                                                | 16 |
| <b>Figura 4.</b> Mapa geológico de Ecuador, Guaranda. ....                                                  | 17 |
| <b>Figura 5.</b> Mapa geológico de Ecuador, Quito. ....                                                     | 18 |
| <b>Figura 6.</b> Mapa geológico de Ecuador, Ibarra. ....                                                    | 19 |
| <b>Figura 7.</b> Mapa geológico de Ecuador, Ibarra. ....                                                    | 20 |
| <b>Figura 8.</b> Mapa geológico de Ecuador, Guayaquil. ....                                                 | 21 |
| <b>Figura 9.</b> Mapa geológico de Ecuador, Machala.....                                                    | 22 |
| <b>Figura 10.</b> Mapa geológico de Ecuador, .....                                                          | 23 |
| <b>Figura 11.</b> Mapa geológico de Ecuador, Portoviejo .....                                               | 24 |
| <b>Figura 12.</b> Mapa geológico de Ecuador, Tena. ....                                                     | 25 |
| <b>Figura 13.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 31 |
| <b>Figura 14.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 32 |
| <b>Figura 15.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 33 |
| <b>Figura 16.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 34 |
| <b>Figura 17.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 35 |



|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 18.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 36 |
| <b>Figura 19.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 37 |
| <b>Figura 20.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 38 |
| <b>Figura 21.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 39 |
| <b>Figura 22.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 40 |
| <b>Figura 23.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 41 |
| <b>Figura 24.</b> Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z) ..... | 42 |
| <b>Ilustración 25</b> Curva de peligro sísmico, Riobamba. ....                                              | 60 |
| <b>Figura 26</b> Curva de peligro sísmico, Ambato. ....                                                     | 61 |
| <b>Figura 27</b> Curva de peligro sísmico, Latacunga.....                                                   | 62 |
| <b>Figura 28</b> Curva de peligro sísmico, Guaranda. ....                                                   | 63 |
| <b>Figura 29</b> Curva de peligro sísmico, Quito. ....                                                      | 64 |
| <b>Ilustración 30</b> Curva de peligro sísmico, Cuenca. ....                                                | 65 |
| <b>Figura 31</b> Curva de peligro sísmico, Ibarra. ....                                                     | 66 |
| <b>Figura 32</b> Curva de peligro sísmico, Guayaquil.....                                                   | 67 |
| <b>Figura 33</b> Curva de peligro sísmico, Machala. ....                                                    | 68 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 34</b> Curva de peligro sísmico, Loja. ....      | 69 |
| <b>Figura 35</b> Curva de peligro sísmico, Portoviejo..... | 70 |
| <b>Figura 36</b> Curva de peligro sísmico, Tena. ....      | 71 |

## **RESUMEN**

El presente trabajo consiste en determinar el período de retorno de sismos históricos ocurridos en capitales de provincia del Ecuador a partir del año 1541. Se trabajó en base a las investigaciones del geofísico José Egred que dedicó la mayor parte de su vida al estudio de terremotos históricos del Ecuador considerando las intensidades mayores o igual a VIII en la escala de Mercalli Modificada, en base a las intensidades máximas se relacionan las ecuaciones de atenuación de aceleraciones de Aguiar, y se la vincula en función con la gravedad para obtener la aceleración en superficie  $AH(g)$ , es importante conocer la caracterización del tipo del suelo donde ocurrió el sismo para determinar el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto que se encuentra en la NEC-15 y así realizar el cálculo de la aceleración máxima en roca esperada tomando en referencia las curvas de peligro sísmicos según la NEC-15 para el cálculo del período de retorno de sismos históricos y su tipos de amenazas sísmicas.

Palabras claves: Periodo de Retorno, Amenaza sísmica, Sismo, intensidad, aceleración y magnitud

## **ABSTRACT**

This work consists of determining the return period of historical earthquakes that occurred in provincial capitals of Ecuador from the year 1541. It was based on the investigations of the geophysicist José Egred, who dedicated most of his life to the study of historical earthquakes of Ecuador considering the intensities greater than or equal to VIII on the Modified Mercalli scale, based on the maximum intensities the Aguiar acceleration attenuation equations are related, and it is linked in function with gravity to obtain the surface acceleration  $AH$  (g), it is important to know the characterization of the soil type where the earthquake occurred to determine the soil amplification coefficient in the short-period zone found in the NEC-15 and thus perform the calculation of the maximum acceleration in rock expected taking reference to the seismic hazard curves according to the NEC-15 for the calculation of the return period of historical earthquakes and its types of seismic threats.

Keywords: Return Period, Seismic Hazard, Earthquake, intensity, acceleration and magnitude

## INTRODUCCIÓN

El estudio de peligro sísmico trata principalmente la caracterización de los diferentes tipos de suelo que se encuentran en el sitio donde se produjeron los mayores daños, ocasionados por la interacción entre la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca que genera una zona de subducción frente a las costas y varias zonas tectónicamente activas (sismos interplaca) al interior del territorio, en donde se originan la mayor parte de sismo que se registran en nuestro país.(Egred et al., s. f.). Cuando esta energía es liberada causan fuertes terremotos que como ya sabemos producen daños severos en las estructuras normales o comunes que se edifican en nuestro país.

El Ecuador como ya se conoce, es un país con alto riesgo sísmico, la mala calidad de los suelos sobre los que se asientan las estructuras producen que estas estructuras sedan ante el fuerte movimiento que las remece incluso con magnitudes más bajas; un suelo muy malo tipo D, E, o F producen aceleraciones mayores, las cuales son transmitidas a la estructura, que si no cuenta con un buen diseño estructural terminan siendo afectada por el movimiento sísmico. Por ejemplo, el terremoto del 16 de abril del 2016 en Guayaquil, que afecto estructuras como el puente de la av. De las Américas, o edificaciones en el centro de la ciudad.

Ecuador tiene una amplia historia sísmica, contando desde el sismo de Napo de 1541 que tuvo una intensidad máxima de VIII en Escala de Mercalli Modificada en el caserío de la ciudad del Tena; hasta el sismo del 16 de abril del 2016 que tuvo una intensidad máxima de IX en Pedernales, y VIII en la ciudad de Portoviejo donde deberíamos basar nuestro estudio, debido a que Portoviejo es la capital de Manabí que tiene la curva de peligro sísmico en la NEC-15.

Este estudio se basa únicamente en las intensidades captadas en las capitales de provincias del Ecuador, las cuales son las únicas que poseen curvas de peligro sísmico según la NEC-

15. Exceptuando la capital de la provincia de galápagos ya que no posee curvas de peligro sísmico debido a que su actividad sísmica depende de erupciones volcánicas y no de la interacción de las placas.

Gracias a las curvas de peligro sísmico de la NEC-15, las intensidades calculadas por José Egred, y las leyes de atenuación para calcular las aceleraciones en todo el territorio ecuatoriano proporcionadas por los estudios del Dr. Aguiar, podemos calcular el periodo de retorno de sismos históricos. Esta información será tabulada de la siguiente manera, 43 años para un sismo de la categoría frecuente, 72 años para un sismo ocasional, 475 años para un sismo raro y 2500 para un sismo muy raro.

# **CAPITULO 1**

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 Antecedentes**

La primera noticia histórica de un sismo ocurrido en el territorio del actual Ecuador corresponde a la expedición de Francisco de Orellana en busca del país de la canela (1541).

Desde entonces, muchos sismos históricos, sin ningún registro instrumental de movimiento del suelo en el sitio, han afectado y aún causado gran destrucción en nuestro territorio. Entre ellos, el terremoto de Riobamba (1797), el de Ibarra y Otavalo (1868), el de Esmeraldas (1906), el de Ambato (1949), el de Bahía de Caráquez (1998); entre otros, para los cuales no hubo registros de movimiento del suelo debido a la inexistencia de acelerógrafos.

Las Normas Ecuatorianas de la Construcción actuales clasifican los movimientos sísmicos del suelo en categorías de sismos frecuentes, ocasionales, raros o muy raros. De acuerdo a que se trata de edificios esenciales, especiales o normales, a dichos sismos se les asigna períodos de retorno de 43, 72, 225, 475 o 2500 años. Para ciudades capitales de provincia como Quito, Riobamba, Ibarra, Ambato, Portoviejo, Guayaquil, Esmeraldas, etc... existen curvas de peligro sísmico que asocian los períodos de retorno de los sismos con la aceleración esperada en roca.

En años recientes, gracias a la existencia de la Red Nacional de Acelerógrafos del Instituto Geofísico de la Escuela Superior Politécnica Nacional (RENAC) y de otras redes locales, ha sido posible registrar movimientos del suelo en diversos sismos en el país, tanto para roca como para otros tipos de suelo.

Mediante la obtención de los espectros de respuesta de dichos movimientos del suelo, es posible identificar si el movimiento registrado correspondió a un sismo frecuente, ocasional, raro o muy raro.

Identificando los daños sufridos por las estructuras u otros eventos colaterales y comparándolos con los de sismos históricos (carentes de registros instrumentales de movimiento del suelo), puede ser posible identificar el período de retorno de dichos eventos.



## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar el período de retorno del sismo histórico del Ecuador en base a las investigaciones de José Egred.

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

- Relacionar el movimiento del suelo registrado instrumentalmente con acelerógrafos durante sismos en ciudades capitales de provincia del Ecuador, con los daños estructurales o efectos colaterales observados durante sismos históricos en dichas ciudades.
- Comparar los espectros de respuesta obtenidos de los registros de aceleración del suelo durante sismos reales en dichas ciudades, con los espectros de código propuestos por las normas NEC-2015 para sismos de distinto período de retorno.
- Calcular el período de retorno de sismos históricos ocurridos en capitales de provincia del Ecuador a partir de 1541.

### **1.3 Alcance**

Determinar los periodos de retornos de los sismos existentes en el Ecuador, a partir de los estudios José Egred, desde el año 1541 hasta la actualidad para establecer el tipo de amenaza sísmica y catalogarlo como frecuente, ocasional, raro o muy raro.

Se usará como guía la NEC-2015 la cual tiene las curvas de peligro sísmico de todas las provincias del Ecuador la que se utilizará para calcular las aceleraciones de cada provincia y relacionarlo con los efectos colaterales observados en los sismos históricos.

### **1.4 Metodología**

Se obtendrán los registros de movimiento del suelo (aceleración) disponibles en las ciudades capitales de provincia del Ecuador, obtenidos durante el sismo de pedernales del 2016 por estaciones acelerográficas de la RENAC u otras redes locales. También se obtendrán los espectros de respuesta de dichos movimientos del suelo, considerando sistemas elásticos de 1 grado de libertad con amortiguamiento igual al 5% del crítico.

Se compararán dichos espectros de respuesta con los espectros de código de las normas NEC-2015 para sismos frecuentes, ocasionales, raros o muy raros, determinando el tipo de sismo que correspondió a cada caso en la ciudad en cuestión.

Por comparación de los daños observados durante los eventos con registros de aceleración con los descritos por los informes de los sismos históricos, se determinará el tipo de cada uno de los sismos registrados en cada ciudad desde 1541.

Finalmente, en cada caso, se determinará el año de ocurrencia de los sismos que pueden ser considerados frecuentes, ocasionales o raros (los sismos muy raros tienen período de retorno de 2500 años, que excede el período de la historia sísmica nacional).

## CAPITULO 2

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### ***2.1 La historia sísmica del Ecuador***

En términos generales, si tomamos en cuenta los temblores de pequeña magnitud y los que no son sentidos por las personas y son detectados únicamente por los sismógrafos, el número de sismos que se registran en nuestro territorio pueden sumar varios miles por año. De esta gran cantidad de actividad sísmica, desde 1541 hasta la actualidad, han ocurrido en nuestro país 37 terremotos de intensidad igual o mayor a VIII en la escala de intensidad MSK (Viene de las iniciales **Medvedev-Sponheuer-Karnik**), Intensidad desde la cual los efectos son de consideración, en el anexo 4 se hace una descripción de las escalas de intensidad, incluidas la MSK. Y si se toma en cuenta los sismos a partir de la intensidad VI (que es el grado desde el cual se presentan daños leves), hay que añadir 86 eventos al registro histórico de sismos importantes.

Es imposible cuantificar las pérdidas materiales ocasionadas por estos terremotos, y en lo referente a las pérdidas de vidas humanas, estas superan las 80.000 muertes.

La figura 8 muestra las localizaciones de los sismos como magnitudes mayores a 4 ocurridos en el Ecuador y, como se puede advertir, los epicentros cubren prácticamente todo el territorio, con zonas de mayor y menor concentración de eventos (Anexo 4). Esto demuestra que todo el territorio ecuatoriano está expuesto a este tipo de fenómenos en cualquier momento. La información que proviene del monitoreo indica que el promedio anual de sismicidad en el país es de 2.600 eventos, de este alrededor de 300 tienen magnitudes superiores a 4 grados y pudieron ser sentidos por la población.

En lo que a la intensidad se refiere, los terremotos de grado igual o mayor a VIII MM (Mercalli Modificada), son aquellos cuyos efectos se catalogan entre considerables y

catastróficos, razón por la cual se los considera para los estudios de análisis de peligro sísmico. En concordancia con este criterio, para nuestro territorio, se ha extraído del catálogo de terremotos del Ecuador el listado de los eventos que han tenido intensidades iguales a mayores a VIII (tabla 1) y que, por consiguiente, han constituido verdaderas catástrofes en nuestra historia. Como puntos de referencia para el lector, recordemos que los últimos terremotos que padeció el Ecuador son: el de Pujilí (1996), que fue un terremoto moderado de intensidad máxima VII, a pesar de lo cual se produjeron serios problemas especialmente en el sector rural; el sismo ocurrido en 1998, cuyo epicentro se localizó muy cerca de Bahía de Caráquez, en donde se estimó una intensidad máxima de VII. En la tabla 1, se encuentra el listado de eventos que alcanzaron intensidades superiores de VIII, indicando la provincia que tuvo mayor impacto. (Egred, Noviembre 2007)

**Tabla 1. Terremotos del Ecuador con intensidades  $\geq$  VIII**

| No. | FECHA       |      |      | EPICENTRO |        | INT<br>MAX | ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN                  |
|-----|-------------|------|------|-----------|--------|------------|-------------------------------------------|
|     | Año/mes/día | Lat. | Lon. |           |        |            |                                           |
| 1   | 1541        | 04   | sd   | 0,10      | -77,80 | VIII       | Napo                                      |
| 2   | 1587        | 08   | 31   | 0,00      | 78,40  | VIII       | Pichincha                                 |
| 3   | 1645        | 03   | 15   | 1,68      | -78,55 | IX         | Chimborazo, Tungurahua                    |
| 4   | 1674        | 08   | 29   | 1,70      | -79,00 | IX         | Chimborazo, Bolívar                       |
| 5   | 1687        | 11   | 22   | -1,10     | -78,25 | VIII       | Tungurahua                                |
| 6   | 1698        | 06   | 20   | 1,45      | 78,30  | X          | Tungurahua, Chimborazo                    |
| 7   | 1736        | 12   | 06   | 0,78      | 78,80  | VIII       | Pichincha, Cotopaxi                       |
| 8   | 1749        | 01   | 20   | 4,00      | 79,20  | VIII       | Loja                                      |
| 9   | 1755        | 04   | 28   | 0,21      | 78,48  | VIII       | Pichincha                                 |
| 10  | 1757        | 02   | 22   | 0,93      | 78,61  | IX         | Cotopaxi, Tungurahua                      |
| 11  | 1786        | 05   | 10   | 1,70      | 78,80  | VIII       | Chimborazo                                |
| 12  | 1797        | 02   | 04   | -1,43     | -78,55 | XI         | Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar |
| 13  | 1834        | 01   | 20   | 1,30      | -76,90 | XI         | Carchi, Nariño* (Colombia)                |
| 14  | 1859        | 03   | 22   | 0,40      | 78,40  | VIII       | Pichincha, Imbabura, Cotopaxi             |
| 15  | 1868        | 08   | 15   | 0,60      | 78,00  | VIII       | Carchi                                    |
| 16  | 1868        | 08   | 16   | 0,31      | 78,18  | IX         | Imbabura, Carchi, Pichincha               |
| 17  | 1896        | 05   | 03   | 0,51      | 80,45  | IX         | Manabí                                    |
| 18  | 1906        | 01   | 31   | 1,00      | 81,30  | IX         | Esmeraldas. Nariño (Colombia)             |
| 19  | 1911        | 09   | 23   | 1,70      | -78,90 | VIII       | Chimborazo, Bolívar                       |

*Tabla 1. Terremotos del Ecuador con Intensidades  $\geq$  VIII*

**Fuente:**(Egred et al., s. f.)

| No. | FECHA       |      |      | EPICENTRO |        | INT<br>MAX | ZONA DE MAYOR AFECTACIÓN            |
|-----|-------------|------|------|-----------|--------|------------|-------------------------------------|
|     | Año/mes/día | Lat. | Lon. | Lat.      | Lon.   |            |                                     |
| 20  | 1913        | 02   | 23   | 4,00      | 79,40  | VIII       | Loja, Azuay                         |
| 21  | 1914        | 05   | 31   | 0,50      | 78,48  | VIII       | Pichincha, Cotopaxi                 |
| 22  | 1923        | 02   | 05   | 0,50      | 78,50  | VIII       | Pichincha                           |
| 23  | 1923        | 12   | 16   | 0,90      | 77,80  | VIII       | Carchi, Nariño (Colombia)           |
| 24  | 1926        | 12   | 18   | 0,80      | 77,90  | VIII       | Carchi                              |
| 25  | 1929        | 07   | 25   | 0,40      | 78,55  | VIII       | Pichincha                           |
| 26  | 1938        | 08   | 10   | 0,30      | 78,40  | VIII       | Pichincha                           |
| 27  | 1942        | 05   | 14   | 0,01      | -80,12 | IX         | Manabí, Guayas, Bolívar             |
| 28  | 1949        | 08   | 05   | 1,25      | 78,37  | X          | Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi    |
| 29  | 1953        | 12   | 12   | 3,40      | 80,60  | VIII       | Loja, norte del Perú                |
| 30  | 1955        | 07   | 20   | 0,20      | 78,40  | VIII       | Pichincha, Imbabura                 |
| 31  | 1958        | 01   | 19   | 1,22      | 79,37  | VIII       | Esmeraldas                          |
| 32  | 1961        | 04   | 08   | 2,20      | -78,90 | VIII       | Chimborazo                          |
| 33  | 1964        | 05   | 19   | 0,84      | 80,29  | VIII       | Manabí                              |
| 34  | 1970        | 12   | 10   | -3,79     | 80,66  | IX         | Loja, El Oro, Azuay, norte del Perú |
| 35  | 1987        | 03   | 06   | 0,87      | -77,14 | IX         | Napo, Sucumbíos, Imbabura           |
| 36  | 1995        | 10   | 02   | -2,79     | -77,97 | VIII       | Morona Santiago                     |
| 37  | 1998        | 08   | 04   | -0,55     | -80,53 | VIII       | Provincia de Manabí                 |

\* Intensidad máxima en Nariño, Colombia: XI      Latitud = Lat.; + = Norte, - = Sur.  
 Longitud = Lon: - = Oeste      INT = Intensidad máxima      sd = sin fecha exacta

Tomado de: Egred, inédito.

**Tabla 2. Terremotos del Ecuador con Intensidades  $\geq$  VIII**

**Fuente:**(Egred et al., s. f.)

## 2.2 Terremoto de Riobamba del 4 de febrero de 1797

### a) Ubicación \_ Zona macrosísmica

La urbe más importante de la zona macrosísmica era Riobamba que años antes había alcanzado la categoría de "Villa". Situada junto a la laguna de Colta, estaba rodeada de pequeñas colinas y atravesada por un río. Su corregimiento tenía 21 parroquias principales, varias de las cuales habían alcanzado mayor desarrollo que algunas villas del reino (Egred, 2000).

Según Egred la zona macrosísmica de este terremoto se ubicó en la parte central del Valle Interandino ecuatoriano y abarcó lo que actualmente se conoce como las provincias de Tungurahua, Chimborazo, y Cotopaxi, parte de Pichincha y Bolívar, sectores donde la

actividad sísmica ha sido muy alta y frecuente. La presencia del proceso de subducción de la placa Nazca bajo el Continente Sudamericano determina la ocurrencia de un ambiente tectónico básicamente compresivo para el territorio ecuatoriano con los esfuerzos principales orientados en forma paralela a la dirección de convergencia de las placas N81°E (DeMets et al, 1990). Evidencias de una tectónica netamente compresiva se encuentran en el cinturón de fallas del sistema Sub-andino y en las fallas inversas del interior del Callejón Interandino.

Sin embargo, la entrada en subducción de la Cordillera de Carnegie, con una orientación N60° (Lonsdale, 1978) puede estar alterando el sistema de esfuerzos compresivos al crear un componente de esfuerzos en la dirección mencionada. Este fenómeno junto con la compresión resultante de la subducción estaría determinando la existencia de un importante sistema de fallamiento dextral en sistemas de fracturamiento de dirección oblicua a la subducción en el interior del continente.(Egred A., 2000)

### ***b) Ley de atenuación de aceleración de Aguiar***

La ecuación o ley de atenuación es una expresión semi-empírica que relaciona Magnitud-Distancia-Intensidad Sísmica; entendiéndose por estas últimas palabras a la aceleración, velocidad, desplazamiento e intensidad propiamente dicha de eventos sísmicos; estas relaciones se obtienen de los datos que existen sobre los parámetros mencionados (Argudo, 2011).

La ley de atenuación para el Ecuador según Aguiar y otros, es la siguiente:

$$\log(A_{MAX}) = 0,3629 + 0,2355 * I_{MM} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $A_H$  es la aceleración horizontal en gals que es la representación de la aceleración máxima;  $M_W$  la magnitud y D la distancia al foco en km, datos que se encuentran en la Tabla 1 de Intensidades del terremoto de Riobamba.

### INTENSIDADES DEL TERREMOTO

| LOCALIDAD        |            | COORDENADAS |        | ALT<br>(m) | DISTANCIA |      | ACI-<br>MUT | INT |
|------------------|------------|-------------|--------|------------|-----------|------|-------------|-----|
| Lugar            | Provincia  | LAT         | LON.   |            | EPI       | HIP. |             |     |
| RIOBAMBA ANTIGUO | CHIMBORAZO | -1.68       | -78.78 | 3320       | 38        | 50   | 223         | 10+ |
| PENIPE           | CHIMBORAZO | -1.57       | -78.53 | 2510       | 16        | 37   | 172         | 10  |
| QUITO            | PICHINCHA  | -0.22       | -78.50 | 2818       | 134       | 139  | 2           | 7   |
| EL QUINCHE       | PICHINCHA  | -0.10       | -78.29 | 2630       | 151       | 154  | 11          | 6   |
| SANGOLQUI        | PICHINCHA  | -0.32       | -78.44 | 2510       | 124       | 128  | 6           | 7   |
| LOCALIDAD        |            | COORDENADAS |        | ALT<br>(m) | DISTANCIA |      | ACI-<br>MUT | INT |
| Lugar            | Provincia  | LAT         | LON.   |            | EPI       | HIP. |             |     |
| AMAGUAÑA         | PICHINCHA  | -0.38       | -78.45 | 2580       | 117       | 121  | 5           | 7   |
| TAMBILLO         | PICHINCHA  | -0.41       | -78.43 | 2785       | 114       | 118  | 7           | 7   |
| MACHACHI         | PICHINCHA  | -0.50       | -78.56 | 2950       | 103       | 108  | 271         | 6   |
| CUENCA           | AZUAY      | -2.90       | -79.00 | 2527       | 171       | 174  | 197         | 6   |
| IBARRA           | IMBABURA   | 0.36        | -78.11 | 2628       | 200       | 203  | 277         | 4   |
| CAYAMBE          | PICHINCHA  | 0.05        | -78.13 | 2812       | 171       | 174  | 16          | 4   |
| POPAYAN          | CAUCA      | 2.45        | -78.60 | 1738       | 431       | 432  | 270         | 3   |
| MACHALA          | EL ORO     | -3.26       | -78.98 | 6          | 209       | 211  | 193         | 3   |
| GUAYAQUIL        | GUAYAS     | -2.19       | -79.89 | 6          | 168       | 171  | 240         | 4   |
| LOJA             | LOJA       | -4.00       | -79.20 | 2064       | 294       | 296  | 194         | 3   |
| MANTA            | MANABI     | -0.94       | -80.73 | 6          | 248       | 250  | 347         | 3   |
| PORTOVIEJO       | MANABI     | -1.06       | -80.45 | 44         | 215       | 218  | 349         | 3   |
| TENA             | NAPO       | -1.00       | -77.80 | 527        | 96        | 101  | 60          | 3   |
| GUARANDA         | BOLIVAR    | -1.59       | -79.00 | 2608       | 53        | 62   | 250         | 8   |
| PILLARO          | TUNGURAHUA | -1.16       | -78.54 | 2805       | 30        | 45   | 2           | 8   |
| IZAMBA           | TUNGURAHUA | -1.22       | -78.58 | 2520       | 24        | 41   | 278         | 8   |
| AMBATO           | TUNGURAHUA | -1.23       | -78.62 | 2540       | 24        | 41   | 289         | 10  |
| IGUALATA (Monte) | TUNGURAHUA | -1.49       | -78.64 | 4400       | 12        | 35   | 236         | 10  |
| TILINDAN         | TUNGURAHUA | -1.31       | -78.52 | 2800       | 14        | 36   | 14          | 10  |
| RIO AMBATO       | TUNGURAHUA | -1.23       | -78.55 | 2240       | 22        | 40   | 3           | 10  |
| TILULUN (Cerro)  | TUNGURAHUA | -1.26       | -78.68 | 2880       | 24        | 41   | 307         | 10  |
| PELILEO VIEJO    | TUNGURAHUA | -1.33       | -78.52 | 2800       | 12        | 35   | 17          | 10  |
| CHUMAQUI (Cerro) | TUNGURAHUA | -1.29       | -78.54 |            | 16        | 36   | 4           | 10  |
| SAN IDELFONSO    | TUNGURAHUA | -1.32       | -78.53 | 2800       | 12        | 35   | 10          | 10  |
| QUERO            | TUNGURAHUA | -1.38       | -78.59 | 2959       | 7         | 34   | 309         | 10  |
| MOCHA            | TUNGURAHUA | -1.42       | -78.67 | 3260       | 13        | 36   | 355         | 10  |
| LA CALERA        | CHIMBORAZO | -1.52       | -78.92 | 4000       | 47        | 54   | 256         | 9   |
| COLUMBE          | CHIMBORAZO | -1.88       | -78.72 | 3160       | 53        | 63   | 201         | 9   |
| GUAMOTE          | CHIMBORAZO | -1.93       | -78.72 | 3020       | 56        | 67   | 199         | 9   |
| LATACUNGA        | COTOPAXI   | -0.93       | -78.61 | 2740       | 56        | 65   | 276         | 9   |
| MULALO           | COTOPAXI   | -0.78       | -78.58 | 3020       | 72        | 79   | 273         | 9   |

**Tabla 3.** Intensidades del terremoto de Riobamba.

**Fuente:** (Egred, 2000)

Para calcular las aceleraciones por medio de la ley de atenuación de Aguiar es usando la Ecuación 1:  $\log(A_{MAX}) = 0,3629 + 0,2355 * I_{MM}$  tomando en consideración el reporte de Egred de la Tabla 1 de Intensidades máximas del terremoto de Riobamba observadas en el sitio.

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | MSNM=                    | 2300                     | MAGNITUD=                 | 8,3 | Leyes de Atenuación de Aceleraciones e Intensidades de Aguiar |  |
|------------------|------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|-----|---------------------------------------------------------------|--|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | INTENSIDAD (Según Egred) | DISTANCIA                |                           | D   | Aguiar Sismos Corticales                                      |  |
|                  |            |                          | EPICENTRAL (Según Egred) | HIPOCENTRAL (Según Egred) |     | AH = $10^{(0,2355 I + 0,3629)}$                               |  |
| RIOBAMBA ANTIGUO | XI         | 11                       | 38                       | 50                        | 50  | 898,26                                                        |  |
| AMBATO           | X          | 10                       | 56                       | 65                        | 65  | 522,28                                                        |  |
| LATACUNGA        | IX         | 9                        | 56                       | 65                        | 65  | 303,67                                                        |  |
| GUARANDA         | VIII       | 8                        | 53                       | 62                        | 62  | 176,56                                                        |  |
| QUITO            | VII        | 7                        | 134                      | 139                       | 139 | 102,66                                                        |  |
| CUENCA           | VI         | 6                        | 171                      | 174                       | 174 | 59,69                                                         |  |
| IBARRA           | IV         | 4                        | 200                      | 203                       | 203 | 20,18                                                         |  |
| GUAYAQUIL        | IV         | 4                        | 168                      | 171                       | 171 | 20,18                                                         |  |
| MACHALA          | III        | 3                        | 209                      | 211                       | 211 | 11,73                                                         |  |
| LOJA             | III        | 3                        | 294                      | 296                       | 296 | 11,73                                                         |  |
| PORTOVIEJO       | III        | 3                        | 215                      | 218                       | 218 | 11,73                                                         |  |
| TENA             | III        | 3                        | 96                       | 101                       | 101 | 11,73                                                         |  |

**Tabla 4.** Cálculo de la Ley de Atenuación de aceleraciones de Aguiar de Sismos asociados al fallamiento Cortical, Ecuación 1.

**Fuente:** Autores.



c) Tipo de suelo

**RIOBAMBA ANTIGUO**

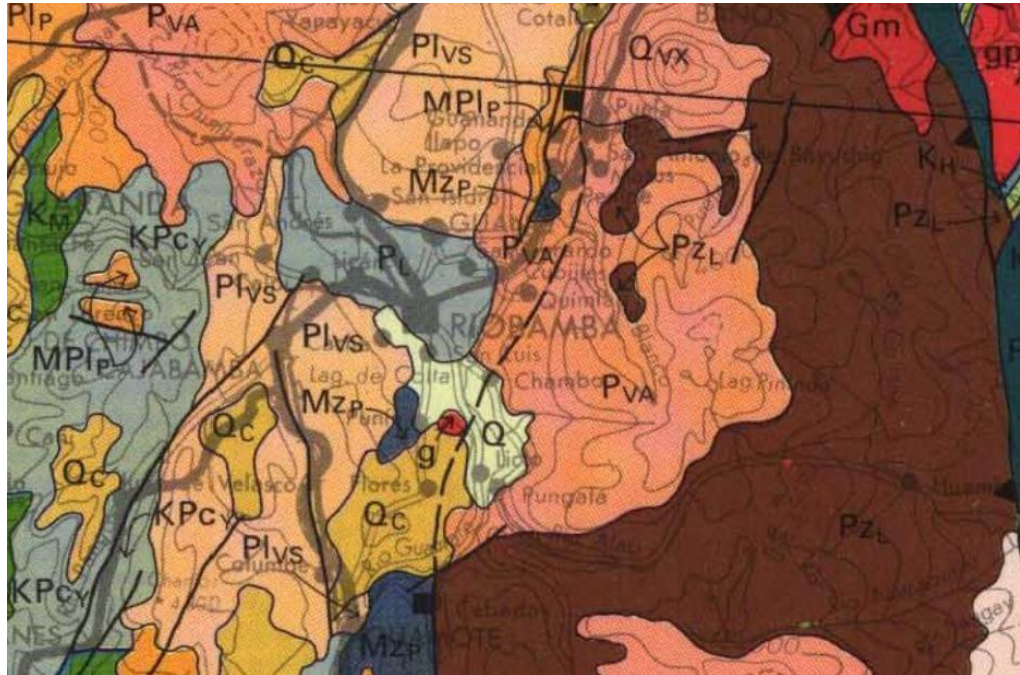


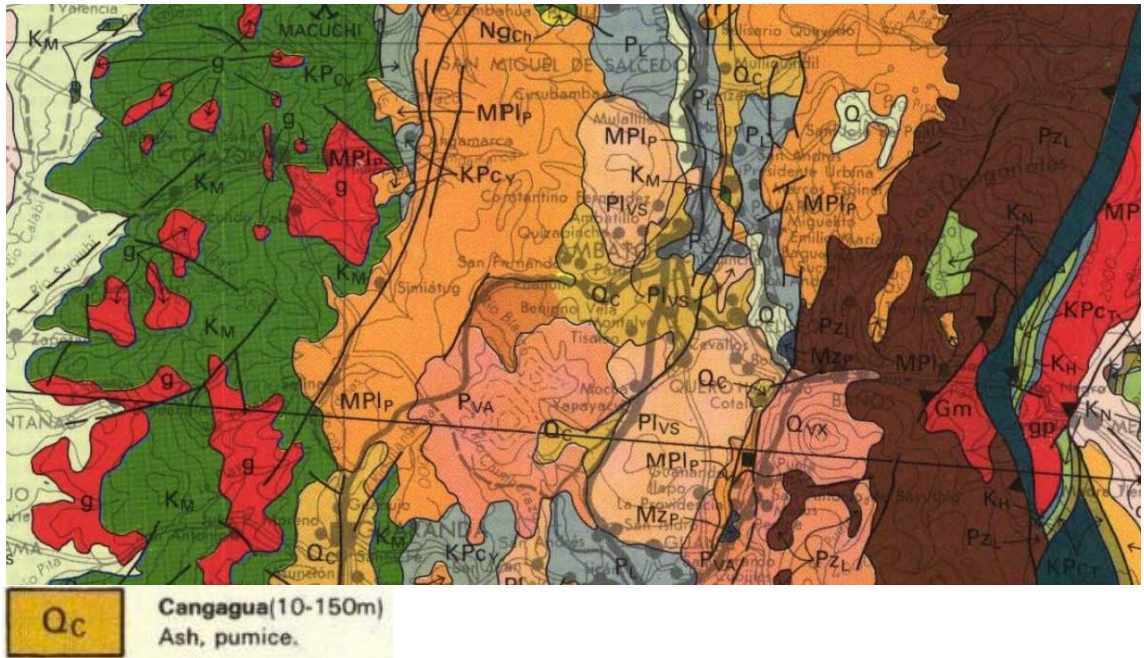
Figura 1. Mapa geológico de Ecuador, RIOBAMBA.

*Fuente: (Freile et al., 1982)*

Tipo de suelo: **D**

|   |                                                                                               |                                                                   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$                      |
|   | Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones                      | $50 > N \geq 15.0$<br>$100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$ |

**AMBATO:**



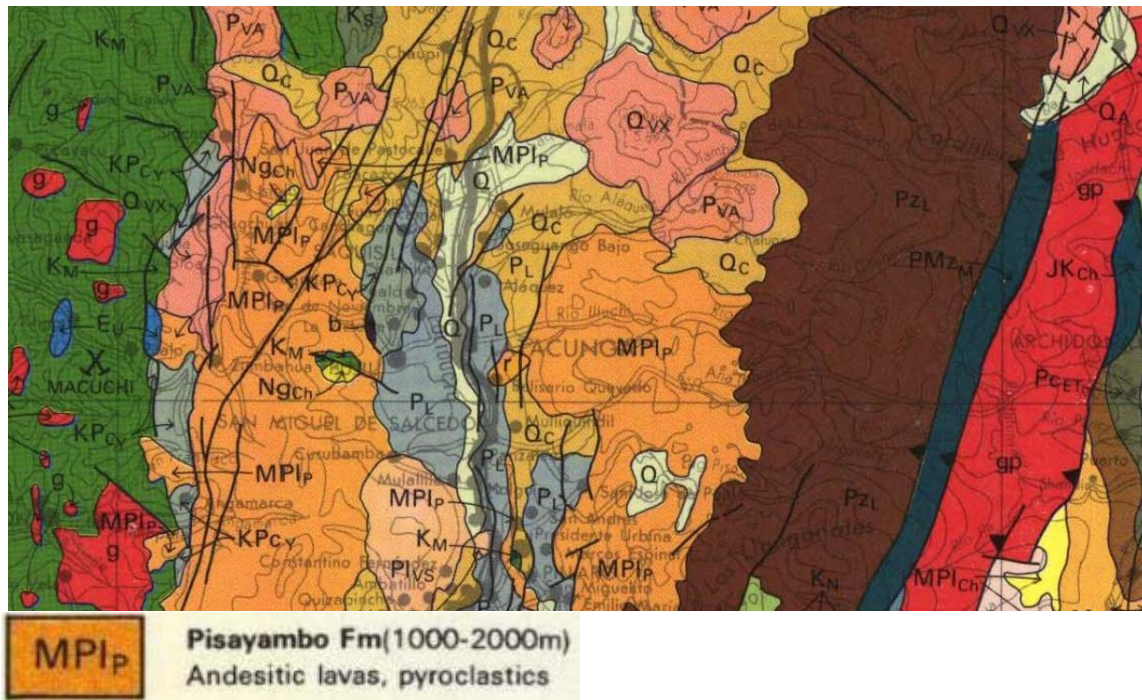
*Figura 2. Mapa geológico de Ecuador, Ambato.  
Fuente: (Freile et al., 1982)*

La geología de **Ambato** está estructurada por diferentes tipos de rocas tales como, piedra pómez la cual es una roca magmática volcánica y ceniza. Según el libro de microzonificación sísmica de Ambato, el suelo donde se encuentra ubicada la “basílica catedral nuestra señora de la elevación” que fue la que tuvo más daños en el terremoto de Riobamba, es un suelo tipo C debido a la presencia de material poroso con una velocidad de corte menor a 800m/s. (Roberto Aguiar Falconi, 2018)

Tipo de suelo: **C**

|   |                                                                                                                 |                                              |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|

**LATACUNGA:**



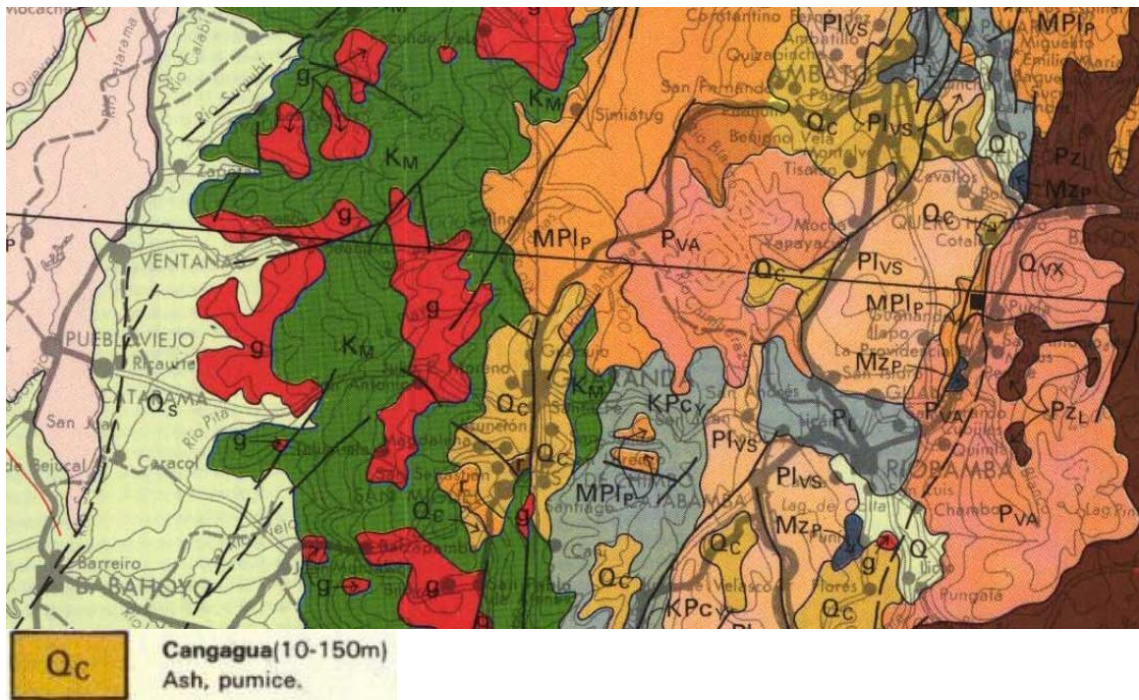
*Figura 3 . Mapa geológico de Ecuador, Latacunga  
Fuente: (Freile et al., 1982)*

La geología de **Latacunga** está conformada por lavas Andesíticas que son rocas ígneas volcánicas la cual son rocas duras, y también tiene Piroclásticos que son parecidas a las rocas sedimentarias.

**Tipo de suelo: C**

|   |                                                                                                                 |                                              |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ |
|   | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios                    | $N \geq 50.0$<br>$S_u \geq 100 \text{ KPa}$  |

**GUARANDA:**



*Figura 4. Mapa geológico de Ecuador, Guaranda.*

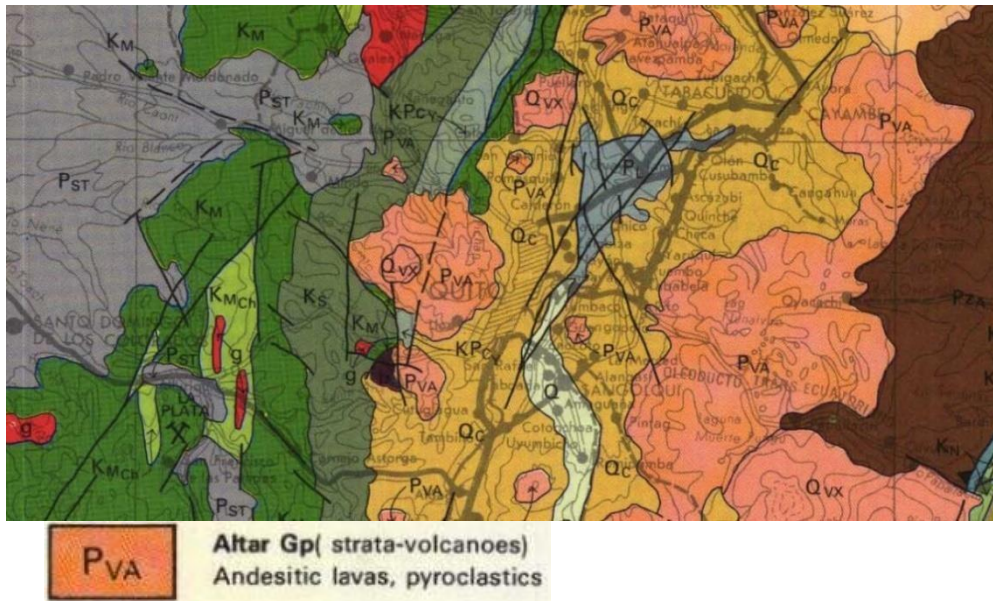
*Fuente: (Freile et al., 1982)*

La geología de **Guaranda** está estructurada por diferentes tipos de rocas tales como, piedra pómez la cual es una roca magmática volcánica y ceniza. Para la obtención del tipo de suelo de Guaranda se relacionó la información del centro de Guaranda que es donde se produjo la mayor intensidad, en la cual se observa una  $V_s$  menor a 360m/s (Erazo, 2013)

**Tipo de suelo: D**

|   |                                                                                               |                                                                   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$                      |
|   | Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones                      | $50 > N \geq 15.0$<br>$100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$ |

**QUITO:**



*Figura 5. Mapa geológico de Ecuador, Quito.  
Fuente: (Freile et al., 1982)*

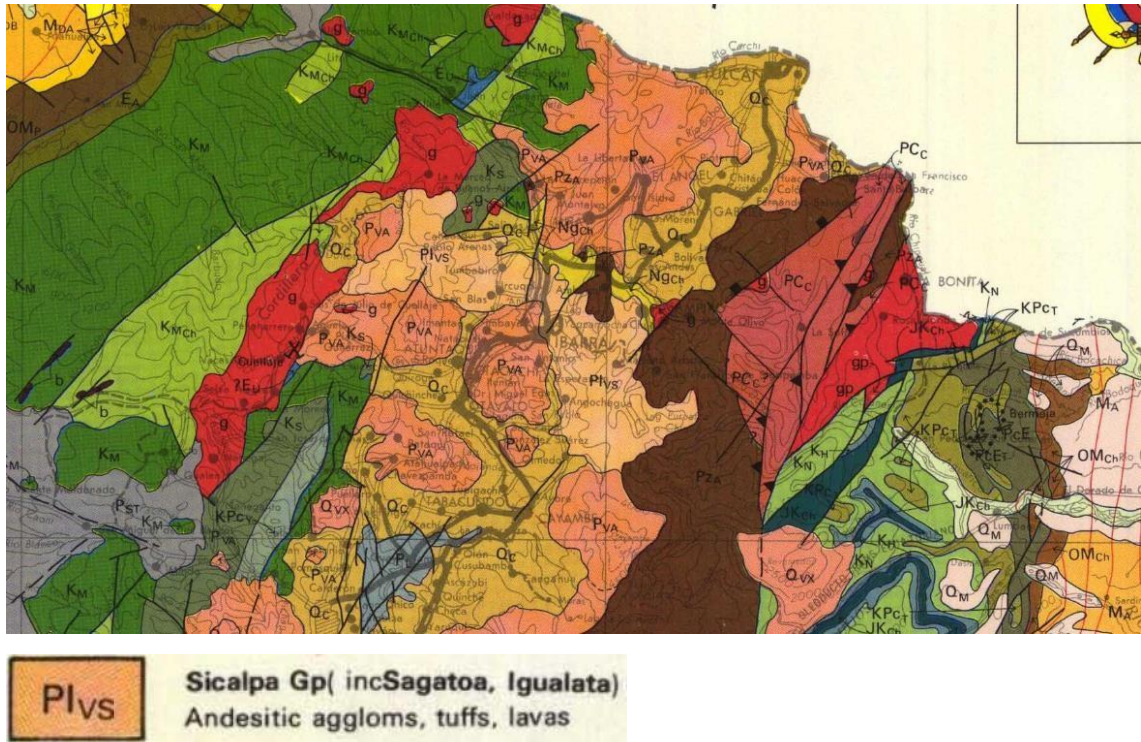
Conformado por **Lavas Andesíticas** que es roca ígnea volcánica, eruptiva de tonalidades grisasea oscura o negra, en buen estado suele utilizarse en mampostería y **Piroclásticos** que son parecidos a las rocas sedimentaria.

Para la parte de la plaza cívica que fue donde se sufrieron mayores daños, el centro de quito antiguo, se encontró suelo suave debajo del suelo duro de la superficie, según ensayos spt. (Sánchez, 2018)

Tipo de suelo: D

|   |                                                                                               |                                                                   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$                      |
|   | Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones                      | $50 > N \geq 15.0$<br>$100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$ |

**CUENCA:**



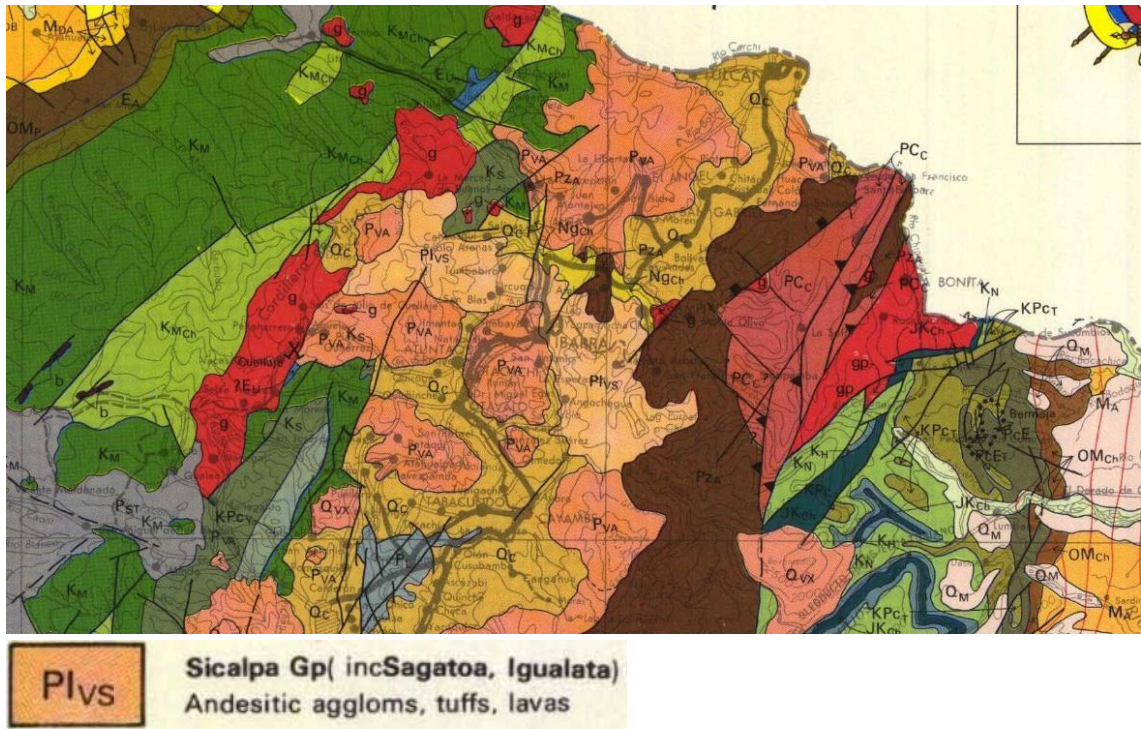
**Figura 6.** Mapa geológico de Ecuador, Ibarra.  
**Fuente:** (Freile et al., 1982)

La geología local está compuesta por andesíticos y aglomerados los cuales son provenientes de rocas ígneas volcánicas, además tiene lavas y pequeñas cantidades de tobas que son muy porosas y ligeras.

**Tipo de suelo: B**

|   |                                 |                                               |
|---|---------------------------------|-----------------------------------------------|
| B | Perfil de roca de rigidez media | $1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$ |
|---|---------------------------------|-----------------------------------------------|

**IBARRA**



**Figura 7.** Mapa geológico de Ecuador, Ibarra.

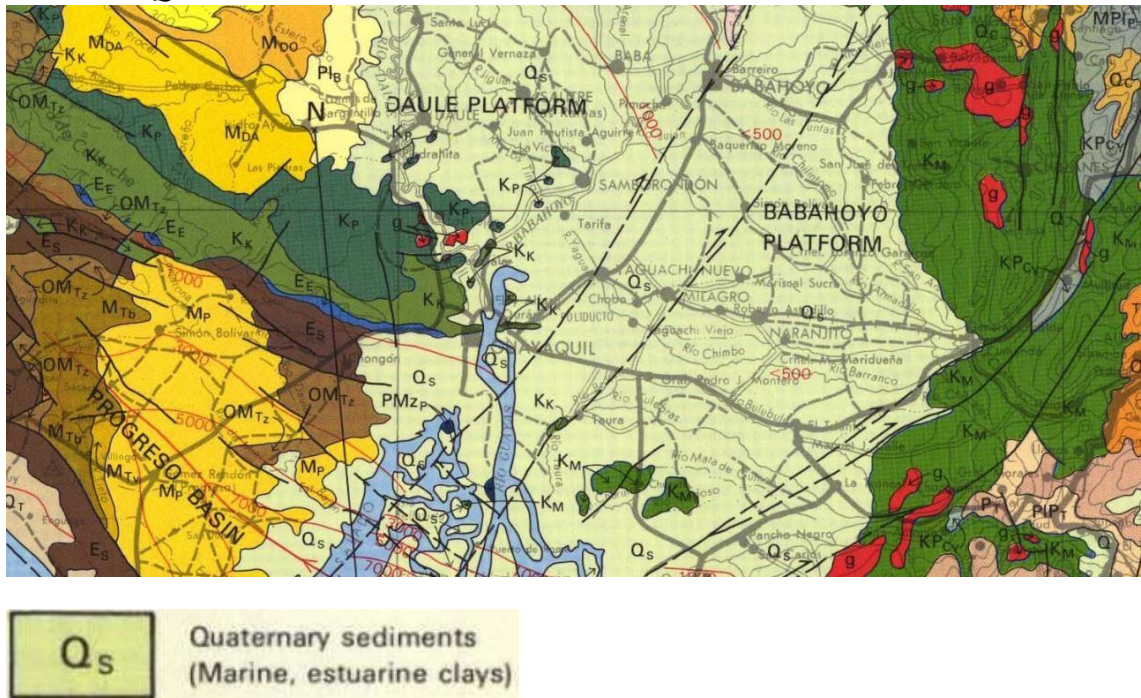
**Fuente:**(Freile et al., 1982)

La geología local está compuesta por andesíticos y aglomerados los cuales son provenientes de rocas ígneas volcánicas, además tiene lavas y pequeñas cantidades de tobas que son muy porosas y ligeras.

Tipo de suelo: **C**

|   |                                                                                                                 |                                              |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ |
|   | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios                    | $N \geq 50.0$<br>$S_u \geq 100 \text{ KPa}$  |

**GUAYAQUIL:**



*Figura 8. Mapa geológico de Ecuador, Guayaquil.*

*Fuente: (Freile et al., 1982)*

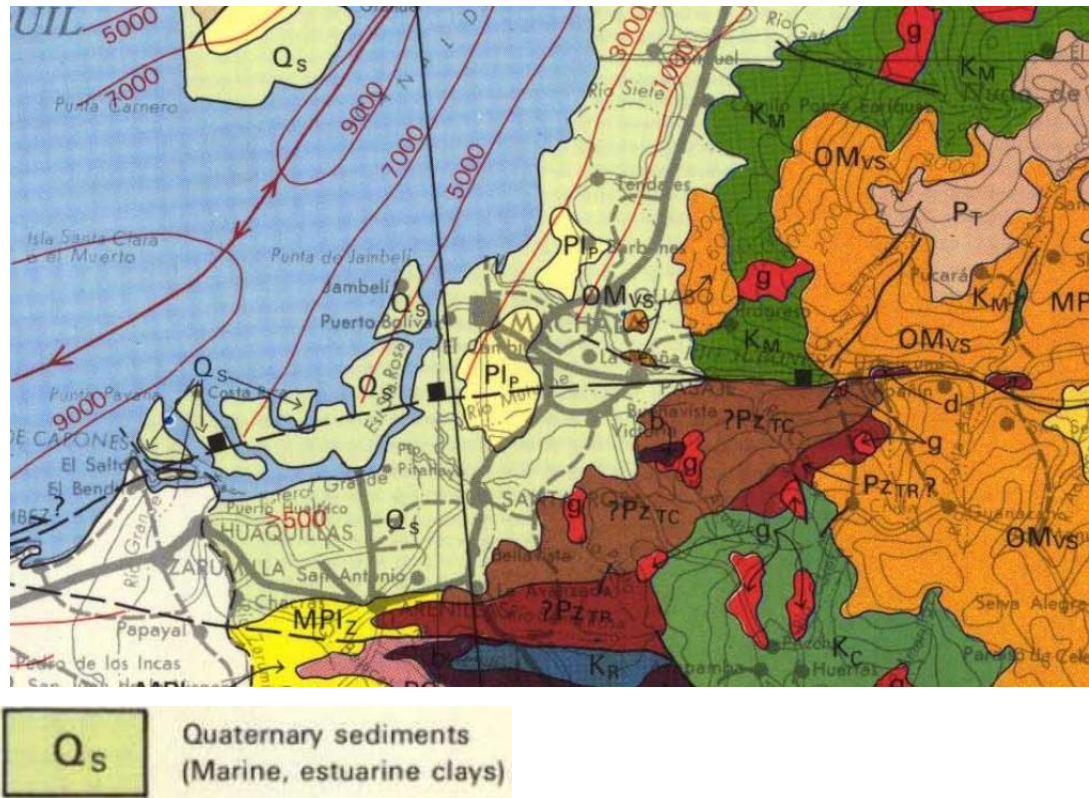
Debido a que la ciudad se encuentra en suelo fangoso, en la parte del centro es donde se sintieron las mayores aceleraciones, donse se presenta suelo con material organica y depositos de sedimentos. (eddie Tandazo Ortega, 2006)

**Tipo de suelo: E**

|   |                                                                         |                                                      |
|---|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o    | $V_s < 180 \text{ m/s}$                              |
|   | Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas | $IP > 20$<br>$w \geq 40\%$<br>$S_u < 50 \text{ kPa}$ |



**MACHALA:**



**Figura 9.** Mapa geológico de Ecuador, Machala.

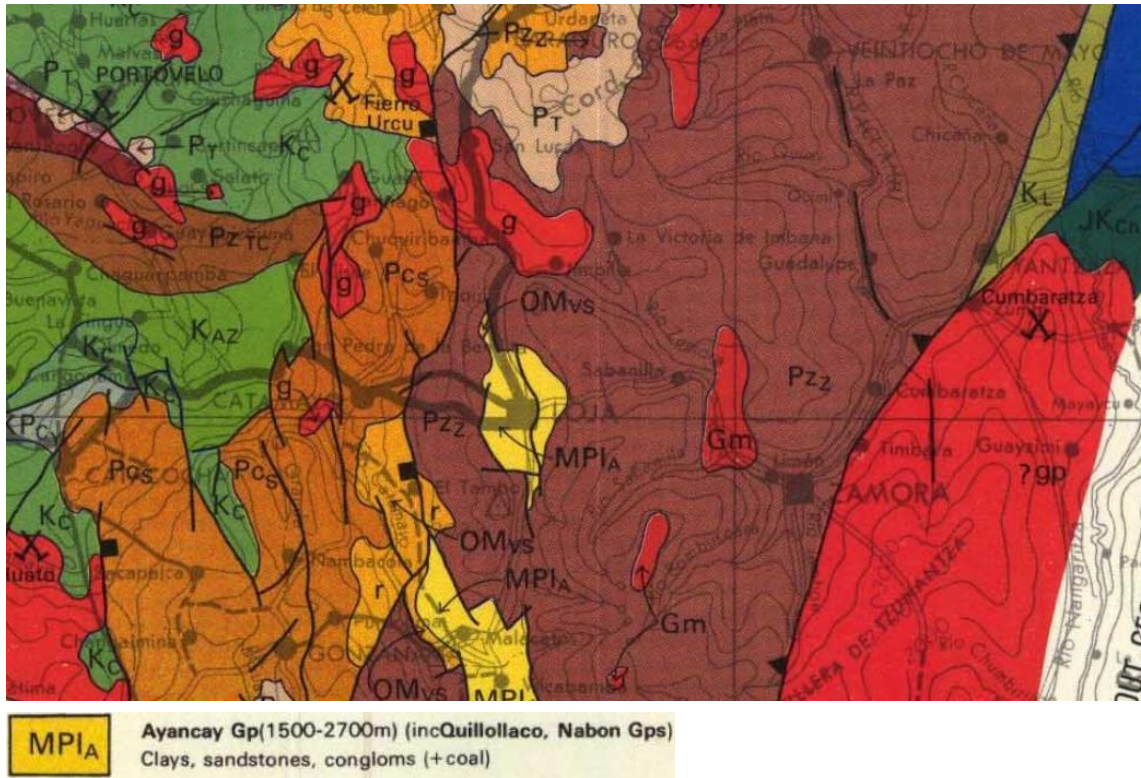
**Fuente:** (Freile et al., 1982)

La Ciudad de Machala cuenta con perfiles estratigráficos, cuyos niveles freáticos son altos por lo que son suelos altamente saturados, la tipología y textura varía desde arenosa a arcillosa con predominio de los suelos arcilloso – limosos lo que hace que las velocidades de ondas de corte y los periodos de vibración del suelo ante un evento sísmico adquieran mayor magnitud. (\*Pedro Pablo Guaraca Tenesaca, 2017)

**Tipo de suelo: C**

|   |                                                                                                                 |                                              |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ |
|   | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios                    | $N \geq 50.0$<br>$S_u \geq 100 \text{ KPa}$  |

**LOJA:**



*Figura 10. Mapa geológico de Ecuador,*

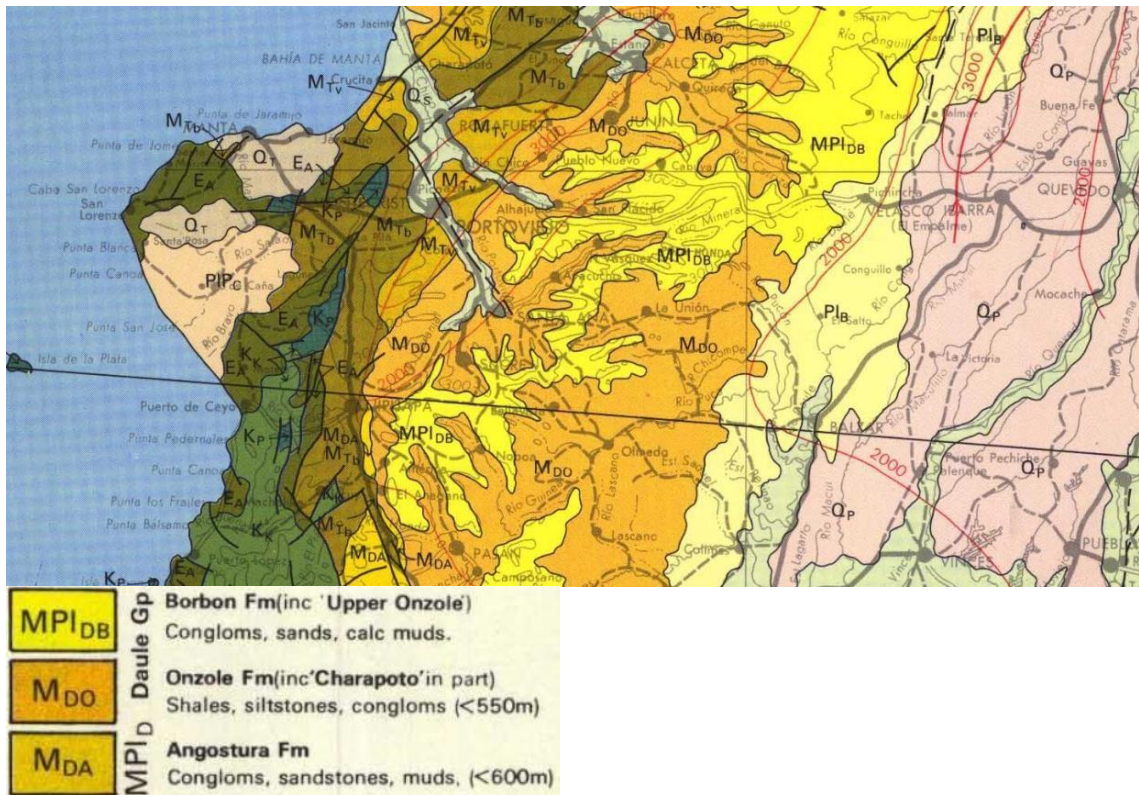
*Fuente: (Freile et al., 1982)*

Está compuesto por **Arcillas** que es una roca sedimentaria descompuesta, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados y **Areniscas** que es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena.

**Tipo de suelo: C**

|   |                                                                                                                 |                                              |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ |
|   | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios                    | $N \geq 50.0$<br>$S_u \geq 100 \text{ KPa}$  |

**PORTOVIEJO:**



*Figura 11. Mapa geológico de Ecuador, Portoviejo*

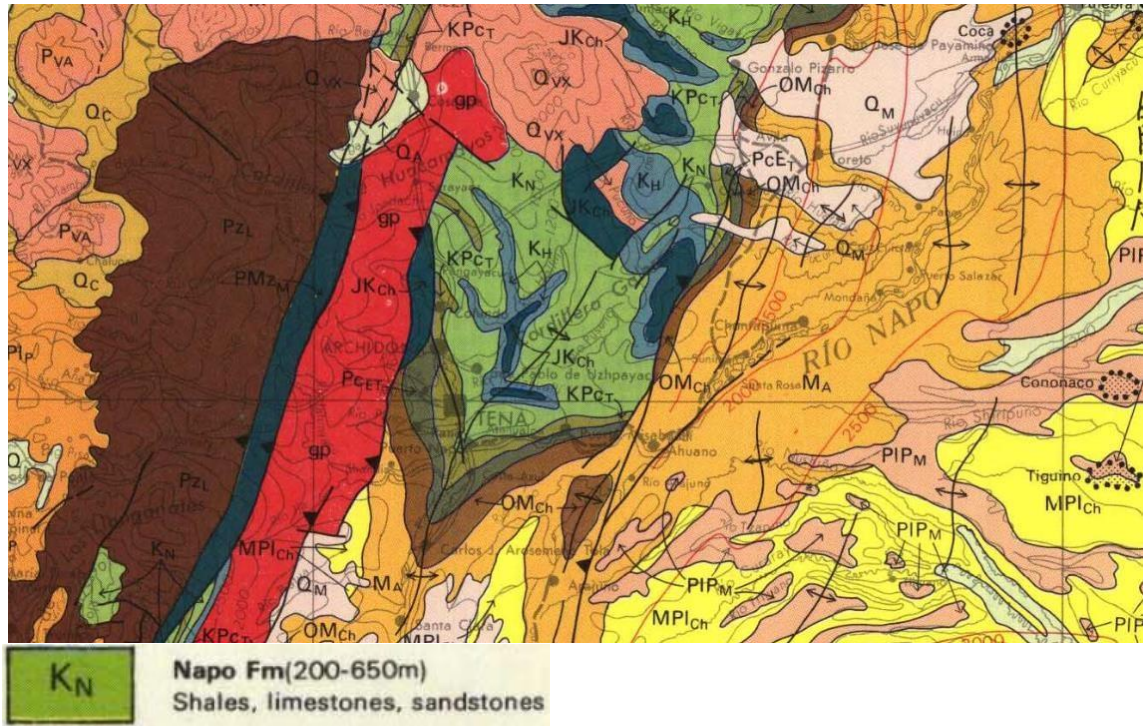
*Fuente: (Freile et al., 1982)*

La geología local está compuesta por lutita y limolitas que son rocas sedimentarias, este tipo de suelo tiene granulometría muy fina.

Tipo de suelo: **D**

|   |                                                                                               |                                                                   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$                      |
|   | Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones                      | $50 > N \geq 15.0$<br>$100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$ |

**TENA:**



*Figura 12. Mapa geológico de Ecuador, Tena.*

*Fuente: (Freile et al., 1982)*

**Lutita:** Es una roca sedimentaria detrítica o clástica de textura pelítica, variopinta; es decir, integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de los tamaños de la arcilla y del limo. **Caliza:** Roca sedimentaria compuesta, en forma predominante, por minerales de carbonato, principalmente carbonatos de calcio y de magnesio. Los minerales más importantes de las calizas son la calcita y la aragonita, y, en las calizas dolomíticas, la dolomita. **Areniscas:** Es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena.

**Tipo de suelo: D**

|   |                                                                                               |                                                                   |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$                      |
|   | Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones                      | $50 > N \geq 15.0$<br>$100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$ |

**d) Aceleración horizontal en superficie AH(g)**

Para el cálculo de la aceleración de superficie se obtiene con la relación de Aguiar expresado como fracción de la aceleración de la gravedad que es  $981 \text{ cm/sg}^2$  obteniendo como resultado nuestro AH(g)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Leyes de Atenuación de Aceleraciones e Intensidades de Aguiar | Aceleracion en superficie                   |
|------------------|------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Aguiar Sismos Corticales                                      | Aceleración horizontal en superficie AH (g) |
|                  |            | $AH = 10^{(0,2355 I + 0,3629)}$                               |                                             |
| RIOBAMBA ANTIGUO | XI         | 898,26                                                        | 0,92                                        |
| AMBATO           | X          | 522,28                                                        | 0,53                                        |
| LATACUNGA        | IX         | 303,67                                                        | 0,31                                        |
| GUARANDA         | VIII       | 176,56                                                        | 0,18                                        |
| QUITO            | VII        | 102,66                                                        | 0,10                                        |
| CUENCA           | VI         | 59,69                                                         | 0,06                                        |
| IBARRA           | IV         | 20,18                                                         | 0,02                                        |
| GUAYAQUIL        | IV         | 20,18                                                         | 0,02                                        |
| MACHALA          | III        | 11,73                                                         | 0,01                                        |
| LOJA             | III        | 11,73                                                         | 0,01                                        |
| PORTOVIEJO       | III        | 11,73                                                         | 0,01                                        |
| TENA             | III        | 11,73                                                         | 0,01                                        |

**Tabla 5.** Tipo de suelo y aceleración horizontal en superficie AH (g).

**Fuente:** Autores.

e) *Coficiente de perfil del suelo Fa: el Coficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.*

En la Tabla 3 de la NEC-2015 se presentan los valores del coeficiente Fa que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta la Zona Sísmica y el tipo de perfil del suelo.

El tipo de perfil de subsuelo se determinó en el literal c y el valor AH(g) en el literal d. A continuación, se determinará el Fa de las zonas afectadas en el terremoto de 1797. Por ejemplo, para buscar el Fa de Riobamba antiguo se usa la NEC-2015 donde se encuentra la Tabla 3: Tipo de suelo y factores de sitio Fa; se elige en la primer columna el tipo de suelo que en este caso es D y en la primera fila se selecciona el factor  $Z = A_H (g)$  que es 0,92 coincidiendo con **1,12** que es el factor Fa.

Se muestra el cálculo de Fa en la **Tabla 7**.

**RIOBAMBA ANTIGUO:**

| Tipo de perfil del subsuelo | Zona sísmica y factor Z                                                                                    |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
|                             | I                                                                                                          | II   | III  | IV   | V    | VI   |
|                             | 0.15                                                                                                       | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 | ≥0.5 |
| A                           | 0.9                                                                                                        | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  | 0.9  |
| B                           | 1                                                                                                          | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |
| C                           | 1.4                                                                                                        | 1.3  | 1.25 | 1.23 | 1.2  | 1.18 |
| D                           | 1.6                                                                                                        | 1.4  | 1.3  | 1.25 | 1.2  | 1.12 |
| E                           | 1.8                                                                                                        | 1.4  | 1.25 | 1.1  | 1.0  | 0.85 |
| F                           | Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a> |      |      |      |      |      |

Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_a$

**Tabla 6.** Factores de sitio Fa, Riobamba Antiguo.  
**Fuente:**(NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-1.pdf, s. f.)

En la siguiente tabla se muestran de forma resumida los valores del Fa de los 12 lugares más afectados por el terremoto de Riobamba de 1797, cabe recalcar que el Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto (Fa).

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         |               | Aceleración en superficie                   | Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. |
|------------------|------------|---------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | TIPO DE SUELO | Aceleración horizontal en superficie AH (g) | Fa                                                                 |
| RIOBAMBA ANTIGUO | XI         | D             | 0,92                                        | 1,12                                                               |
| AMBATO           | X          | C             | 0,53                                        | 1,18                                                               |
| LATACUNGA        | IX         | C             | 0,31                                        | 1,25                                                               |
| GUARANDA         | VIII       | D             | 0,18                                        | 1,60                                                               |
| QUITO            | VII        | D             | 0,10                                        | 1,60                                                               |
| CUENCA           | VI         | C             | 0,06                                        | 1,40                                                               |
| IBARRA           | IV         | C             | 0,02                                        | 1,40                                                               |
| GUAYAQUIL        | IV         | E             | 0,02                                        | 1,80                                                               |
| MACHALA          | III        | C             | 0,01                                        | 1,40                                                               |
| LOJA             | III        | D             | 0,01                                        | 1,60                                                               |
| PORTOVIEJO       | III        | D             | 0,01                                        | 1,60                                                               |
| TENA             | III        | C             | 0,01                                        | 1,40                                                               |

**Tabla 7.** Resumen de los valores de Fa

**Fuente:** Autores.

*f) Aceleración en roca*

Se refiere a la aceleración en roca máximo esperada amplificado por el  $F_a$ , lo que se expresa en  $Z = AH/F_a$ .

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | TIPO DE SUELO | Aceleración en superficie                   | Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. | Aceleración en roca |
|------------------|------------|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD |               | Aceleración horizontal en superficie AH (g) | Fa                                                                  | Z                   |
| RIOBAMBA ANTIGUO | XI         | D             | 0,92                                        | 1,12                                                                | 0,82                |
| AMBATO           | X          | C             | 0,53                                        | 1,18                                                                | 0,45                |
| LATACUNGA        | IX         | C             | 0,31                                        | 1,25                                                                | 0,25                |
| GUARANDA         | VIII       | D             | 0,18                                        | 1,60                                                                | 0,11                |
| QUITO            | VII        | D             | 0,10                                        | 1,60                                                                | 0,07                |
| CUENCA           | VI         | C             | 0,06                                        | 1,40                                                                | 0,04                |
| IBARRA           | IV         | C             | 0,02                                        | 1,40                                                                | 0,01                |
| GUAYAQUIL        | IV         | E             | 0,02                                        | 1,80                                                                | 0,01                |
| MACHALA          | III        | C             | 0,01                                        | 1,40                                                                | 0,01                |
| LOJA             | III        | D             | 0,01                                        | 1,60                                                                | 0,01                |
| PORTOVIEJO       | III        | D             | 0,01                                        | 1,60                                                                | 0,01                |
| TENA             | III        | C             | 0,01                                        | 1,40                                                                | 0,01                |

**Tabla 8.** Resumen de los valores de aceleración en roca (Z).

**Fuente:** Autores.



***g) Período de retorno***

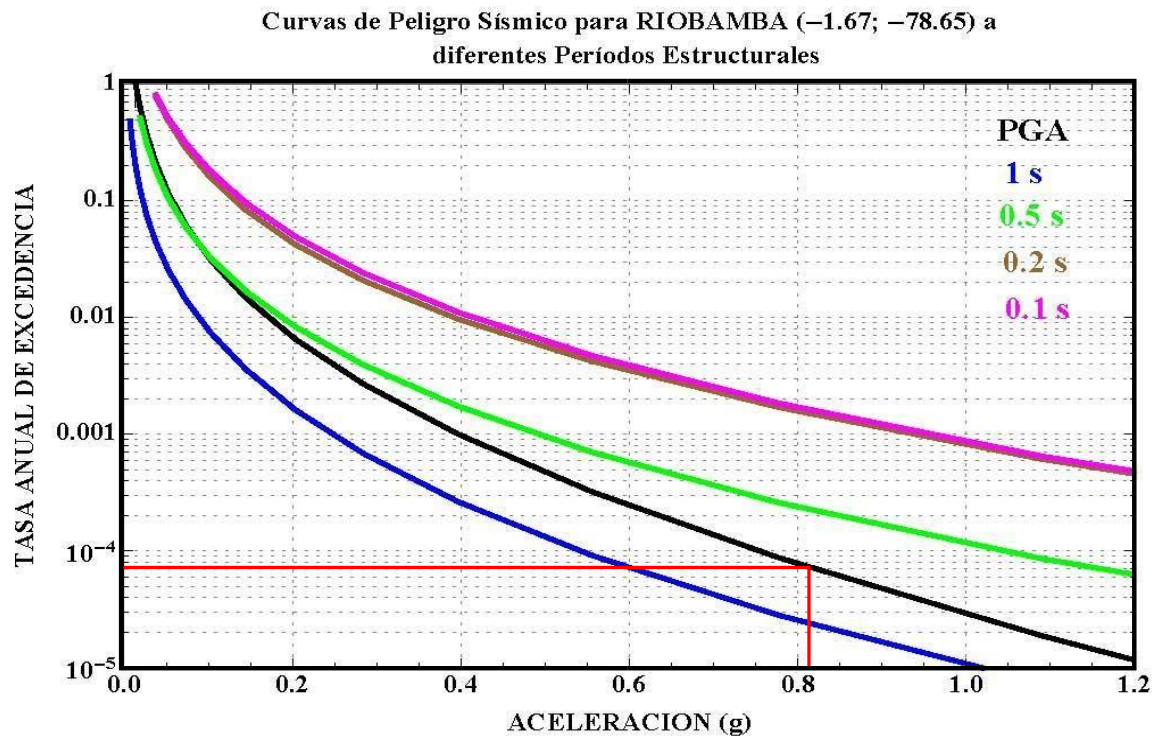
Para el cálculo del periodo de retorno se ingresa a la curva negra de peligro sísmico con el valor de aceleración en roca (Z) obtenidos en el ***literal f de la tabla 6***, dándonos como valor la tasa anual de excedencia, que es el valor que se usa para el cálculo del período de retorno, esta se expresa como;

$$\text{Período de retorno} = \frac{1}{\text{Tasa de excedencia}}$$

Obtenido el valor de la tasa de excedencia se tendrá como resultado el periodo de retorno en años, y de acuerdo a eso los tipos de amenazas sísmicas si es Frecuente, Ocasional, Raro o Muy Raro.

EJEMPLO: Para determinar la tasa de excedencia en Riobamba ingresamos al eje x de ACELERACIÓN (g) en la curva de peligro sísmico de la ***Figura 13***, trazamos una línea vertical hasta que coincida con la curva negra y procedemos a realizar una línea horizontal, el valor que resulta es de la TASA ANUAL DE EXCEDENCIA de 0.000070 ; una vez determinado este dato se procede a calcular lo siguiente:

$$\text{Período de retorno} = \frac{1}{\text{Tasa de excedencia}} = \frac{1}{0.000070} = 14286$$



**Figura 13.** Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca | Tasa de Excedencia | Periodo de retorno      | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   |                    | Tr=1/Tasa de excedencia |                           |
| RIOBAMBA ANTIGUO | XI         | 0,82                | 0,000070           | 14286                   | MUY RARO                  |

**Tabla 9.** Valores de periodo de Retorno, Riobamba.

**Fuente:** Autores.

Curvas de Peligro Sísmico para AMBATO (-1.25; -78.63) a diferentes Periodos Estructurales

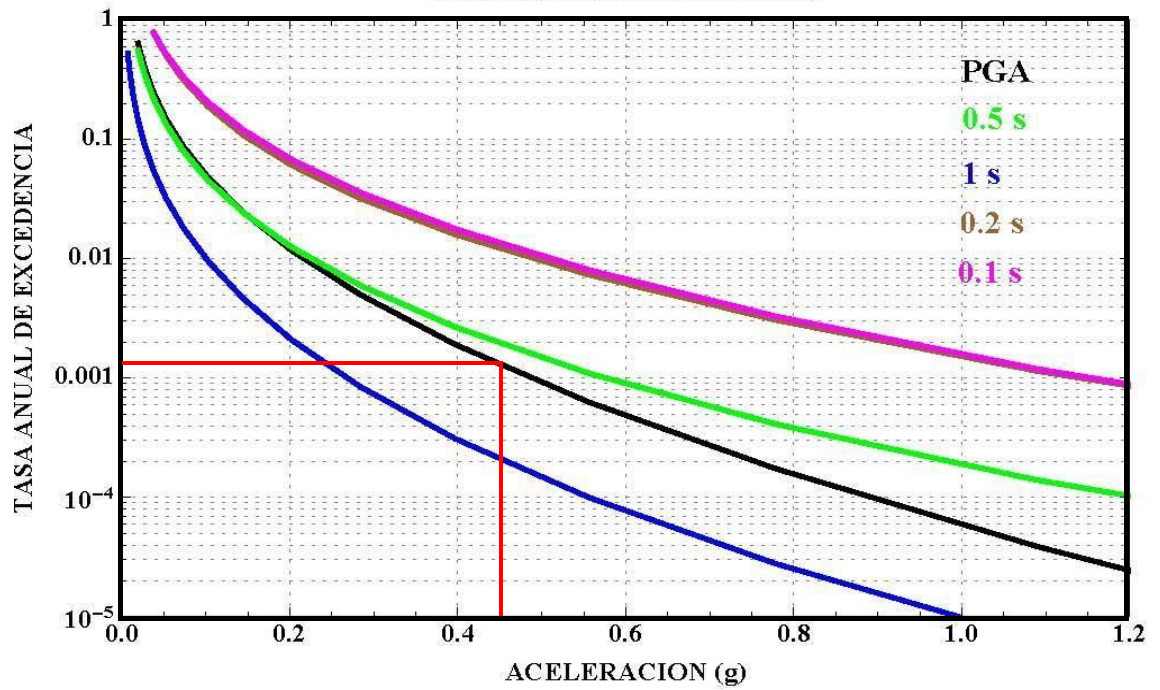


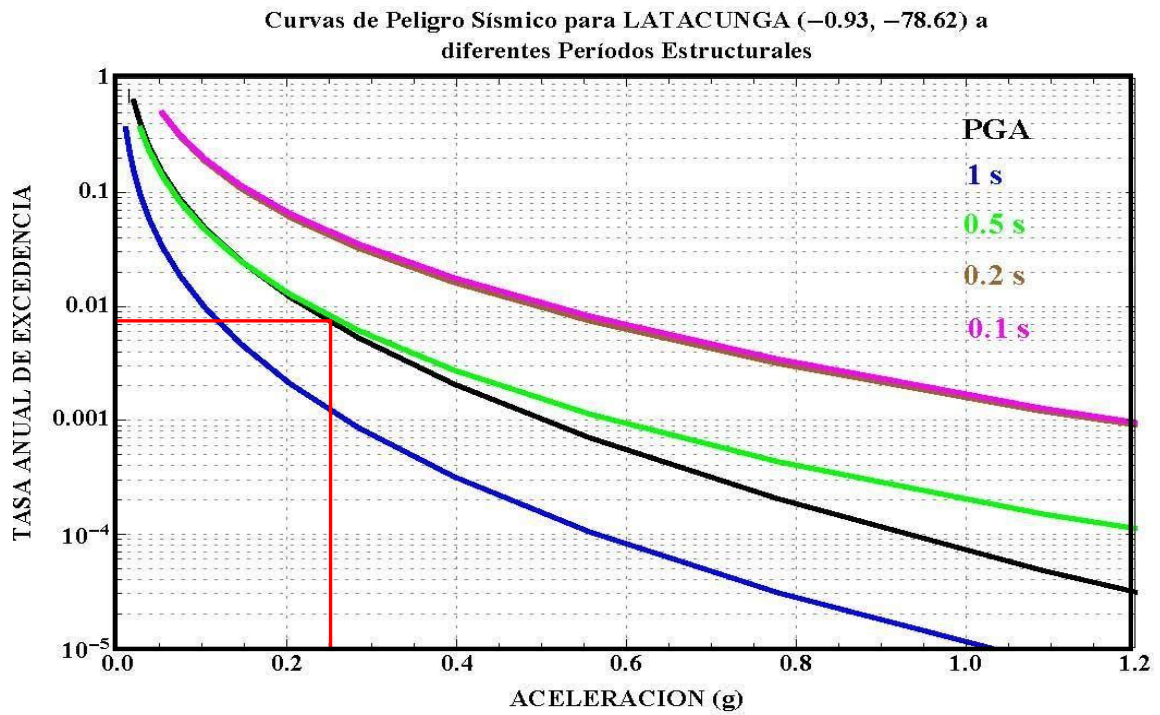
Figura 14. Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca |                    | Periodo de retorno      |                           |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   | Tasa de Excedencia | Tr=1/Tasa de excedencia | Tipos de Amenazas sísmica |
| AMBATO           | X          | 0,45                | 0,001200           | 833                     |                           |

Tabla 10. Valores de periodo de Retorno, Ambato.

Fuente: Autores.



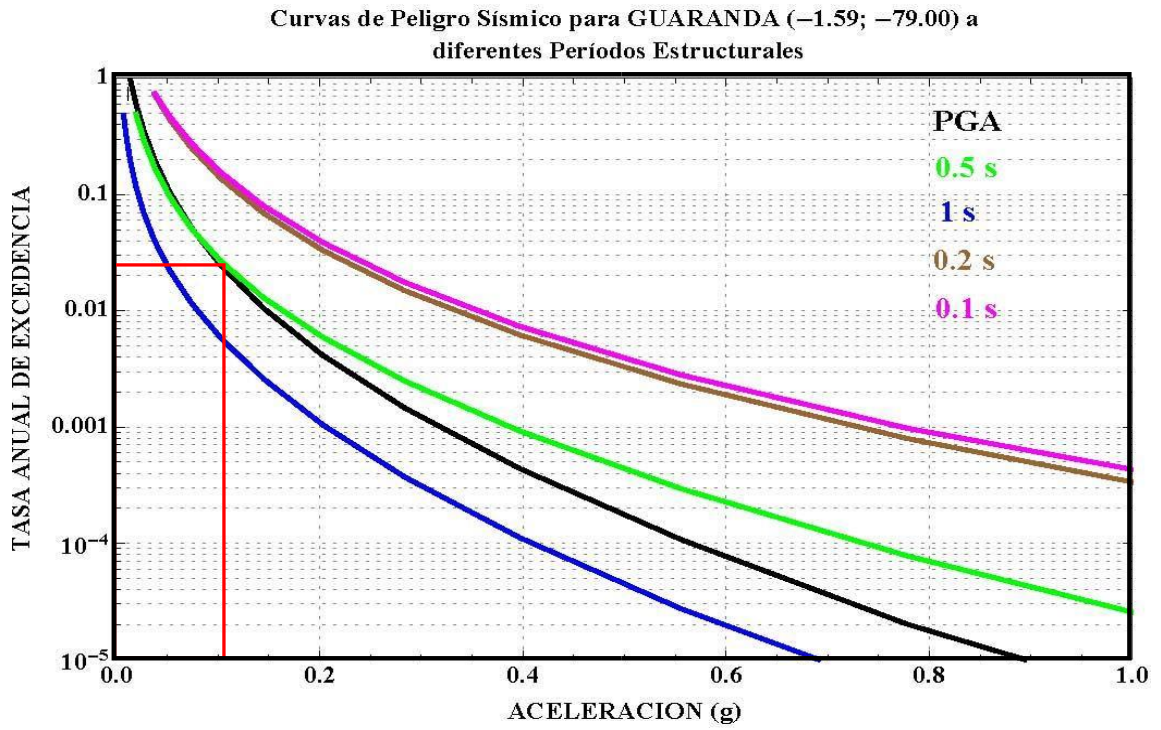
**Figura 15.** Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca |          | Periodo de retorno      |                | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|----------|-------------------------|----------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   |          | Tr=1/Tasa de excedencia |                |                           |
| LATACUNGA        | IX         | 0,25                | 0,007300 | 137                     | OCASIONAL-RARO |                           |

**Tabla 11.** Valores de periodo de Retorno, Latacunga.

**Fuente:** Autores.



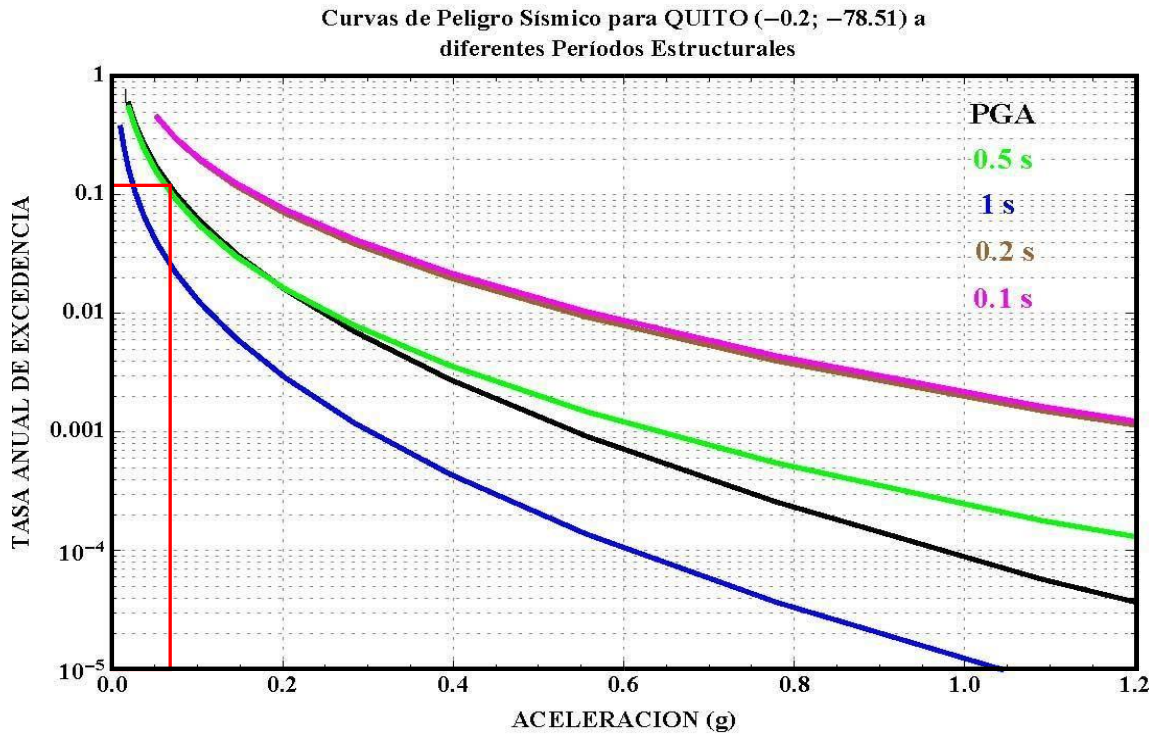
**Figura 16.** Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca |                    | Periodo de retorno      |           | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   | Tasa de Excedencia | Tr=1/Tasa de excedencia |           |                           |
| GUARANDA         | VIII       | 0,11                | 0,022000           | 45                      | FRECUENTE |                           |

**Tabla 12.** Valores de periodo de Retorno, Guaranda.

**Fuente:** Autores.



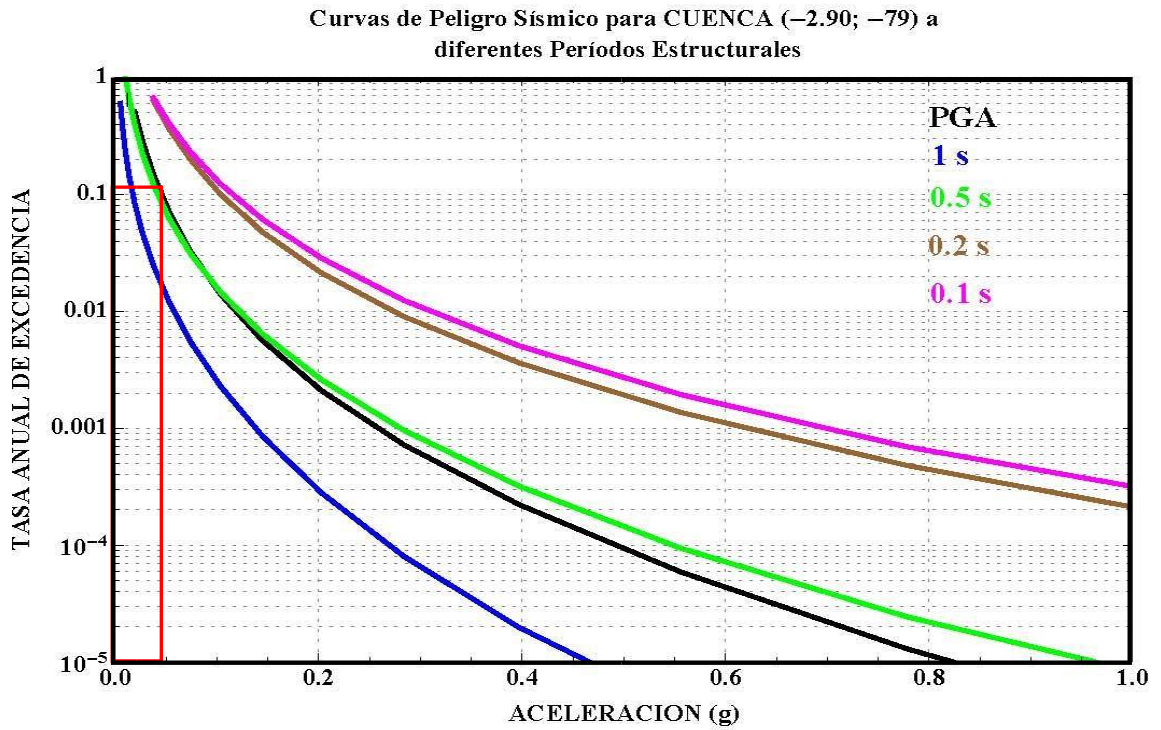
*Figura 17. Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)*

*Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)*

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca |          | Periodo de retorno      |           |
|------------------|------------|---------------------|----------|-------------------------|-----------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   |          | Tr=1/Tasa de excedencia |           |
| QUITO            | VII        | 0,07                | 0,110000 | 9                       | FRECIENTE |

*Tabla 13. Valores de periodo de Retorno, Quito .*

*Fuente: Autores.*



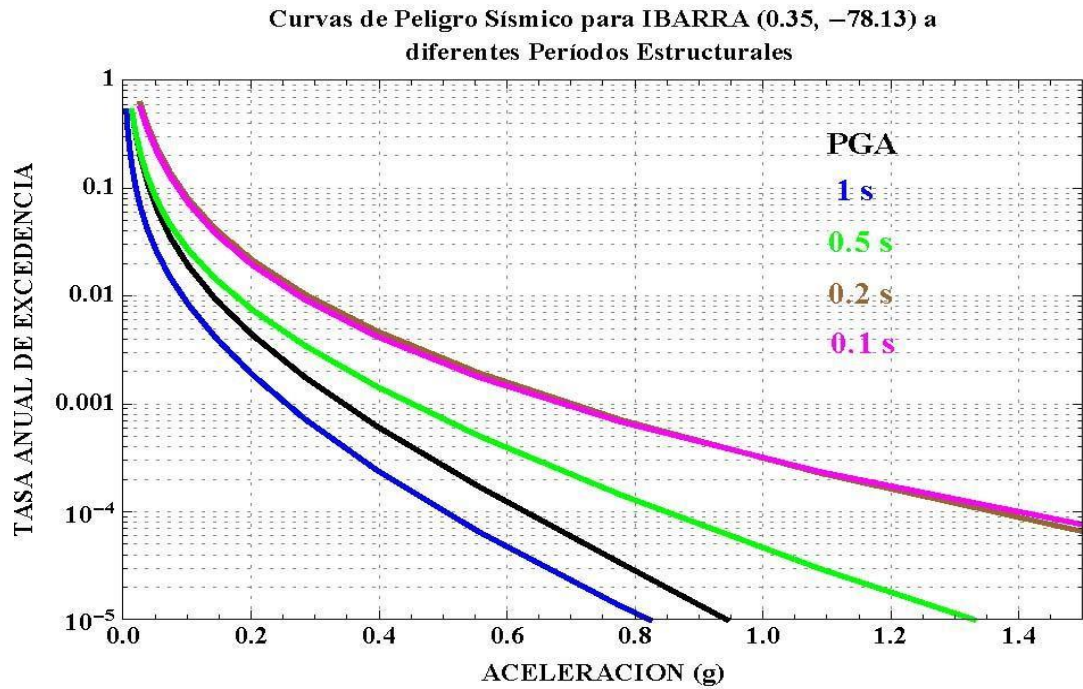
*Figura 18. Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)*

*Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)*

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca | Tasa de Excedencia | Periodo de retorno      | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   |                    | Tr=1/Tasa de excedencia |                           |
| CUENCA           | VI         | 0,04                | 0,109000           | 9                       | FRECUENTE                 |

*Tabla 14. Valores de periodo de Retorno, Cuenca.*

*Fuente: Autores.*



**Figura 19.** Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

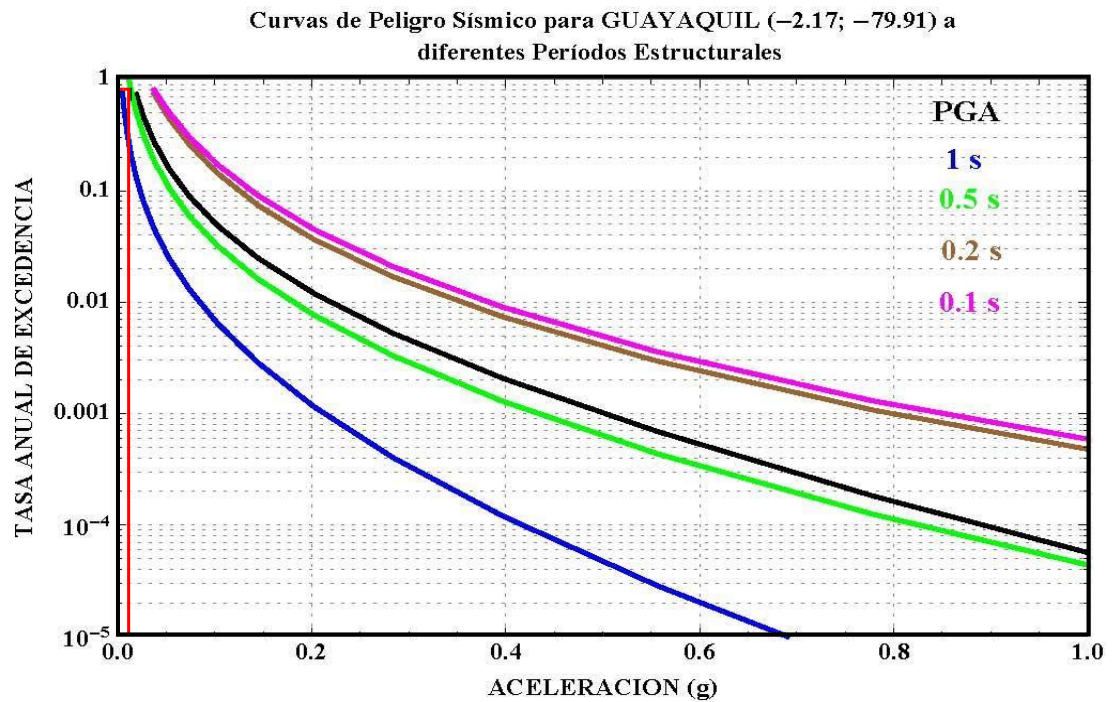
*Fuente:* (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca | Tasa de Excedencia      | Periodo de retorno | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   | Tr=1/Tasa de excedencia |                    |                           |
| IBARRA           | IV         | 0,01                | 0,510000                | 2                  | FRECUENTE                 |

**Tabla 15.** Valores de periodo de Retorno, Ibarra.

*Fuente:* Autores.





**Figura 20.** Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca |                    | Periodo de retorno      |                           |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   | Tasa de Excedencia | Tr=1/Tasa de excedencia | Tipos de Amenazas sísmica |
| GUAYAQUIL        | IV         | 0,01                | 0,800000           | 1                       | FRECUENTE                 |

**Tabla 16.** Valores de periodo de Retorno, Guayaquil.

**Fuente:** Autores.

Curvas de Peligro Sismico para MACHALA (-3.26; -79.96) a diferentes Periodos Estructurales

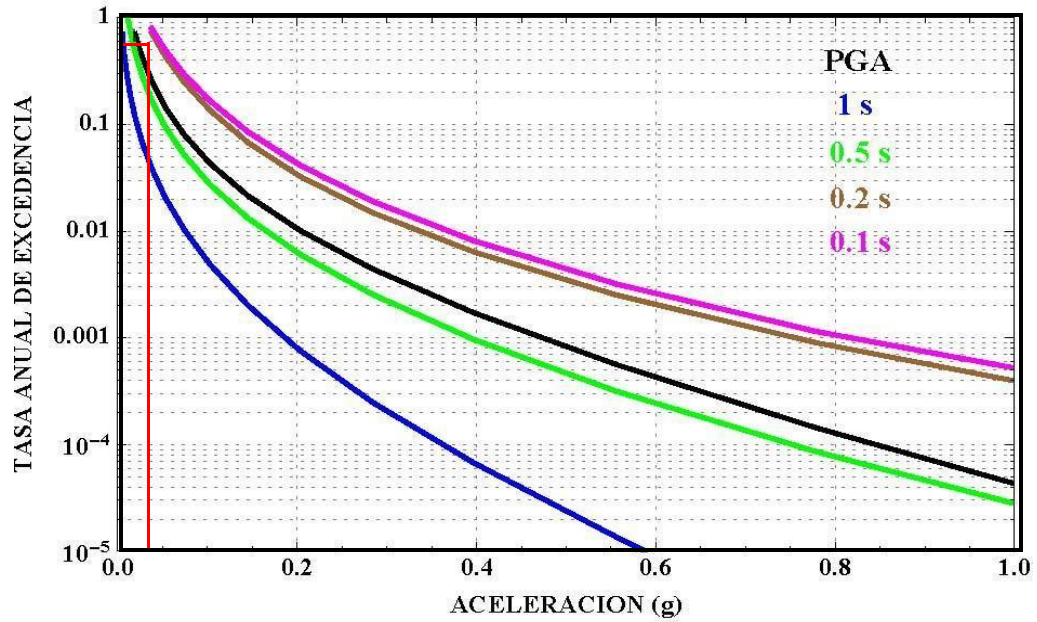


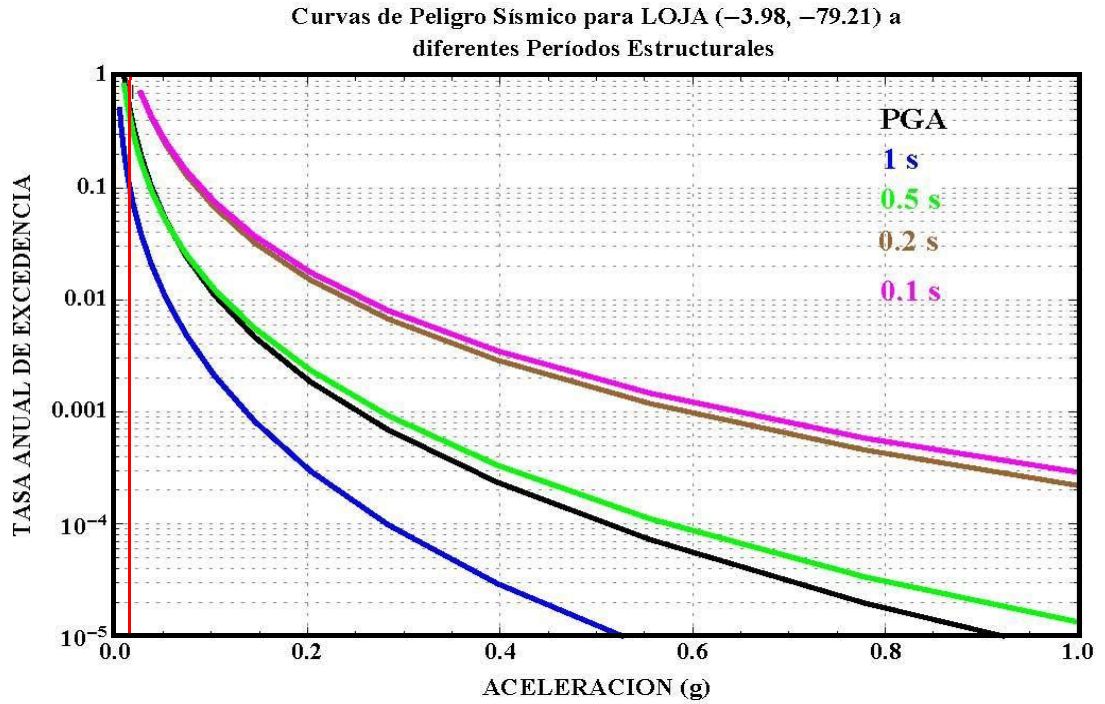
Figura 21. Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca | Tasa de Excedencia | Periodo de retorno      | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   |                    | Tr=1/Tasa de excedencia |                           |
| MACHALA          | III        | 0,01                | 0,600000           | 2                       | FRECUENTE                 |

Tabla 17. Valores de periodo de Retorno, Machala.

Fuente: Autores.



*Fuente: Rommel Morán y César Chica*

**Figura 22.** Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

*Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)*

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca | Tasa de Excedencia | Periodo de retorno      | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   |                    | Tr=1/Tasa de excedencia |                           |
| LOJA             | III        | 0,01                | 0,800000           | 1                       | FRECUENTE                 |

**Tabla 18.** Valores de periodo de Retorno, Loja.

*Fuente: Autores.*

Curvas de Peligro Sísmico para PORTOVIEJO (-1.06; -80.46) a diferentes Periodos Estructurales

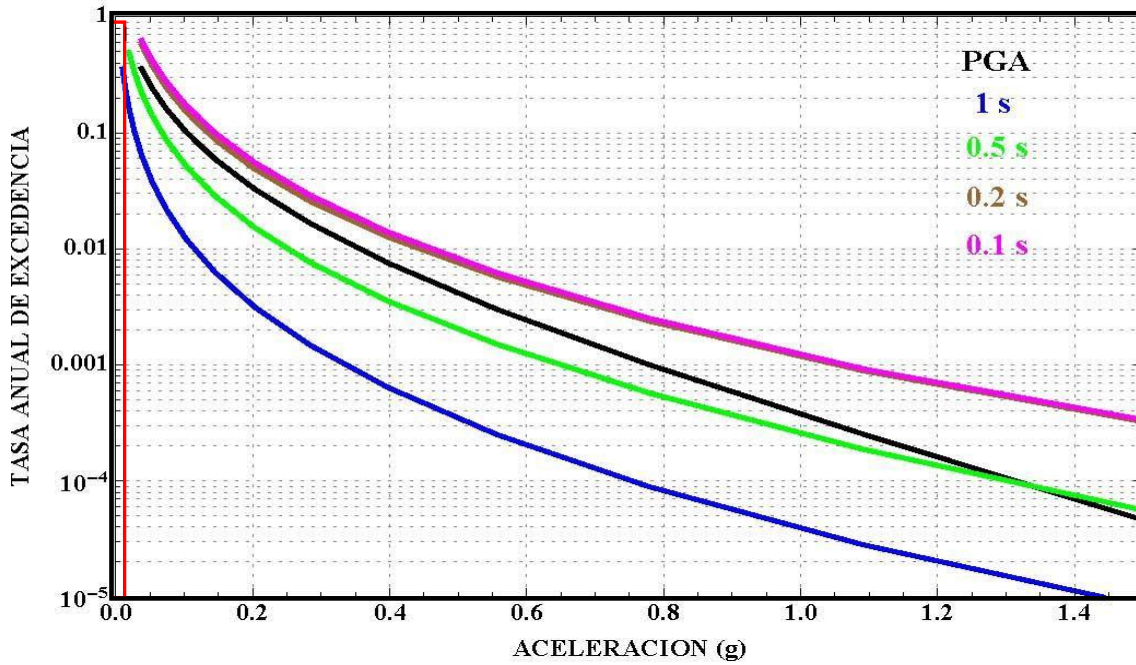


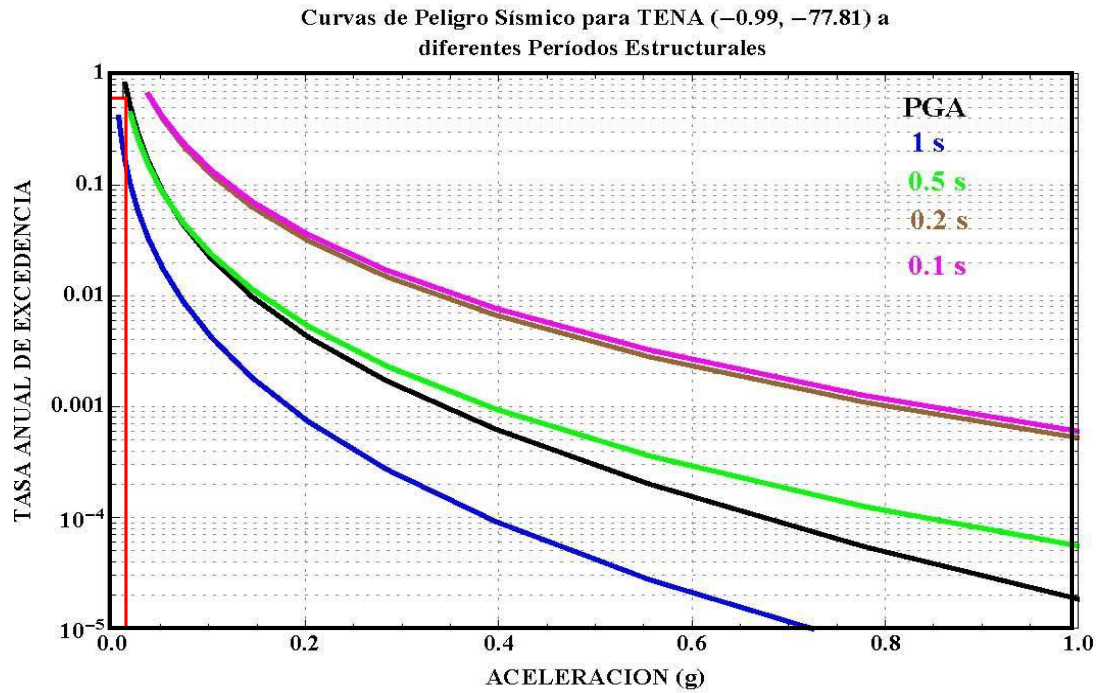
Figura 23. Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca |                    | Periodo de retorno      |           | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|-----------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   | Tasa de Excedencia | Tr=1/Tasa de excedencia |           |                           |
| PORTOVIEJO       | III        | 0,01                | 0,900000           | 1                       | FRECUENTE |                           |

Tabla 19. Valores de periodo de Retorno, Portoviejo.

Fuente: Autores.



**Figura 24.** Determinación de la tasa de excedencia a partir de la aceleración de superficie (Z)

*Fuente:* (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| PROFUNDIDAD(KM)= | 31         | Aceleración en roca | Tasa de Excedencia | Periodo de retorno      | Tipos de Amenazas sísmica |
|------------------|------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| CIUDAD           | INTENSIDAD | Z                   |                    | Tr=1/Tasa de excedencia |                           |
| TENA             | III        | 0,01                | 0,600000           | 2                       | FRECUENTE                 |

**Tabla 20.** Valores de periodo de Retorno, Tena.

*Fuente:* Autores.

A continuación, se muestra en la tabla el resumen de los resultados del cálculo del periodo de retorno y amenaza sísmica dependiendo de cada ciudad:

| TERREMOTO RIOBAMBA 1797. Mg 8,3 |            |                                             |                                                                     |                     |                    |                         |                           |
|---------------------------------|------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------|
| PROFUNDIDAD(KM)=                | 31         | Aceleración en superficie                   | Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. | Aceleración en roca | Tasa de Excedencia | Periodo de retorno      | Tipos de Amenazas sísmica |
| CIUDAD                          | INTENSIDAD | Aceleración horizontal en superficie AH (g) | Fa                                                                  | Z                   |                    | Tr=1/Tasa de excedencia |                           |
| RIOBAMBA ANTIGUO                | XI         | 0,92                                        | 1,12                                                                | 0,82                | 0,000070           | 14286                   | MUY RARO                  |
| AMBATO                          | X          | 0,53                                        | 1,18                                                                | 0,45                | 0,001200           | 833                     | RARO-MUYRARO              |
| LATACUNGA                       | IX         | 0,31                                        | 1,25                                                                | 0,25                | 0,007300           | 137                     | OCASIONAL-RARO            |
| GUARANDA                        | VIII       | 0,18                                        | 1,60                                                                | 0,11                | 0,022000           | 45                      | FRECUENTE                 |
| QUITO                           | VII        | 0,10                                        | 1,60                                                                | 0,07                | 0,110000           | 9                       | FRECUENTE                 |
| CUENCA                          | VI         | 0,06                                        | 1,40                                                                | 0,04                | 0,109000           | 9                       | FRECUENTE                 |
| IBARRA                          | IV         | 0,02                                        | 1,40                                                                | 0,01                | 0,510000           | 2                       | FRECUENTE                 |
| GUAYAQUIL                       | IV         | 0,02                                        | 1,80                                                                | 0,01                | 0,800000           | 1                       | FRECUENTE                 |
| MACHALA                         | III        | 0,01                                        | 1,40                                                                | 0,01                | 0,600000           | 2                       | FRECUENTE                 |
| LOJA                            | III        | 0,01                                        | 1,60                                                                | 0,01                | 0,800000           | 1                       | FRECUENTE                 |
| PORTOVIEJO                      | III        | 0,01                                        | 1,60                                                                | 0,01                | 0,900000           | 1                       | FRECUENTE                 |
| TENA                            | III        | 0,01                                        | 1,40                                                                | 0,01                | 0,600000           | 2                       | FRECUENTE                 |

**Tabla 21.** Resumen de los valores de Periodo de retorno y tipos de amenazas sísmica.

**Fuente:** Autores.

## **CAPÍTULO 3**

### **3. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **3.1 Sismos históricos por capitales del Ecuador.**

A continuación, se muestran tablas de orden cronológico que se realizaron usando como base los datos de José Egred, el cual considera solo terremotos con intensidades mayores o iguales a VIII en la escala de Mercalli modificada. El procedimiento utilizado para cada tipo de terremoto es el mismo que se usó para el primer ejemplo del terremoto de Riobamba en el Capítulo II, utilizando las intensidades de Egred y las leyes de atenuación de Aguiar.

Estos resultados varían de acuerdo a la intensidad, tipo de suelo y el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto ( $F_a$ ), para así obtener nuestros tipos de amenazas sísmicas. La celda sombreada de celeste, es la aceleración dada por los acelerógrafos del Instituto Geofísico Ecuatoriano, el cual se realiza el mismo cálculo, sin necesidad de tener el valor de intensidad máxima.

De acuerdo a los informes realizados por José Egred y los documentos de las curvas de peligro sísmico presentes en la NEC-15 se logra determinar qué tipo de amenaza sísmica representa cada evento histórico ocurrido en la zona central del territorio nacional, donde la actividad sísmica ha sido catalogada de la siguiente forma: 4 terremotos FRECUENTES, 2 que tiene un periodo de retorno entre OCASIONAL-RARO, 2 RARO-MUY RARO y 1 MUY RARO en un trascurso de tiempo de 480 años de registro sísmico que tiene el país, lo que significaría que la aceleración esperada en roca (Z) esta subvalorada para la ciudad de Riobamba.

| RIOBAMBA (CHIMBORAZO) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                      |                            |
|-----------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| FECHA                 | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO           |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                      |                            |
| 15/03/1645            | 7        | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 250                  | OCASIONAL-RARO             |
| 29/08/1674            | 6,4      | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 250                  | OCASIONAL-RARO             |
| 20/06/1698            | 7,3      | 10                | 522,28             | D             | 0,53                                 | 1,12                                                              | 0,48                | 1818                 | RARO-MUY RARO              |
| 10/05/1786            | 5,8      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 33                   | FRECUENTE                  |
| 04/02/1797            | 8,3      | 11                | 898,26             | D             | 0,92                                 | 1,12                                                              | 0,82                | 14286                | MUY RARO                   |
| 23/09/1911            | 6,2      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 33                   | FRECUENTE                  |
| 05/08/1949            | 6,8      | 10                | 522,28             | D             | 0,53                                 | 1,12                                                              | 0,48                | 1818                 | RARO-MUY RARO              |
| 08/04/1961            | 6,3      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 33                   | FRECUENTE                  |
| 16/3/2016             | 7,8      | -                 | 24,27              | D             | 0,02                                 | 1,6                                                               | 0,02                | 3                    | FRECUENTE                  |

**Tabla 22.** Efecto en Riobamba de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.



Para la capital de Tungurahua se obtuvieron periodos de retorno variables siendo dos terremotos OCASIONALES-RARO los cuales son el de 1645 y el de 1757, dos terremotos FRECUENTES, el de 1687 y el de 2016 y 3 terremotos que superan el periodo de retorno del periodo RARO-MUY RARO que corresponden a las fechas de 1696, de 1797, y de 1949, que tienen intensidades mayores a 10 en la escala de Mercalli modificada. De igual manera posee un trascurso de tiempo de 480 años de registro sísmico, lo que significaría que la aceleración esperada en roca (Z) esta subvalorada para la ciudad de Ambato.

| AMBATO (TUNGURAGUA) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|---------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA               | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO         |          | (SEGÚN EGRED)     | ACELERACIÓN        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 15/03/1645          | 7        | 9                 | 303,67             | C             | 0,31                                 | 1,25                                                              | 0,25                | 143                         | OCASIONAL-RARO             |
| 22/11/1687          | 6,3      | 8                 | 176,56             | C             | 0,18                                 | 1,4                                                               | 0,13                | 33                          | FRECUENTE                  |
| 20/06/1698          | 7,3      | 10                | 522,28             | C             | 0,53                                 | 1,18                                                              | 0,45                | 714                         | RARO-MUY RARO              |
| 22/02/1757          | 7        | 9                 | 303,67             | C             | 0,31                                 | 1,25                                                              | 0,25                | 143                         | OCASIONAL-RARO             |
| 04/02/1797          | 8,3      | 10                | 522,28             | C             | 0,53                                 | 1,18                                                              | 0,45                | 714                         | RARO-MUY RARO              |
| 05/08/1949          | 7,1      | 10                | 522,28             | C             | 0,53                                 | 1,18                                                              | 0,45                | 714                         | RARO-MUY RARO              |
| 16/3/2016           | 7,8      | -                 | 34,65              | C             | 0,04                                 | 1,4                                                               | 0,03                | 4                           | FRECUENTE                  |

**Tabla 23.** Efecto en Ambato de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

En la ciudad de Guayaquil se tienen periodos de retorno FRECUENTE para terremotos con magnitudes parecidas, según Egred, la intensidad en el terremoto de Chone de 1942 es de 8 en la ciudad de Guayaquil donde el suelo es catalogado como tipo D y para el terremoto del año 2016 se obtuvo periodo de retorno FRECUENTE utilizando las aceleraciones del sismógrafo del Instituto Geofísico De La Escuela Politécnica Nacional ubicado en la ciudad de Guayaquil.

| GUAYAQUIL (GUAYAS) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|--------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA              | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO        |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 14/5/1942          | 7,8      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 10                          | FRECUENTE                  |
| 16/3/2016          | 7,8      | 6                 | 23,04              | C             | 0,02                                 | 1,4                                                               | 0,02                | 2                           | FRECUENTE                  |

**Tabla 24.** Efecto en Guayaquil de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

Para la capital de Manabí, Portoviejo, se obtuvieron dos terremotos que están entre OCASIONAL-RARO con un periodo de retorno de 250 años, estos resultados no se encuentran tan dispersos a la realidad respecto a los registros que se tiene en la ciudad de Portoviejo debido a que son 480 años de historia sísmica. Por último, el terremoto del 16 de abril del 2016 del cual se tomó directamente la aceleración tomada por el acelerógrafo ubicado en el jardín botánico que tiene un suelo parecido a la zona cero de la ciudad con suelo tipo D tiene un periodo de retorno frecuente para esta ciudad, lo que supondría que las aceleraciones de los terremotos con un periodo de retorno de 250 años podrían haber sido mas alta que los resultados, debido a la intensidad observada en sitio.

| PORTOVIEJO (MANABI) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|---------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA               | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO         |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 03/05/1896          | -        | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 250                         | OCASIONAL-RARO             |
| 14/5/1942           | 7,8      | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 250                         | OCASIONAL-RARO             |
| 19/5/1964           | -        | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 10                          | FRECUENTE                  |
| 4/8/1998            | 7,2      | 7                 | 102,66             | D             | 0,10                                 | 1,6                                                               | 0,07                | 6                           | FRECUENTE                  |
| 16/3/2016           | 7,8      | 8                 | 343,03             | D             | 0,35                                 | 1,25                                                              | 0,28                | 63                          | FRECUENTE-OCASIONAL        |

**Tabla 25.** Efecto en Portoviejo de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

Para la ciudad de Esmeraldas se obtuvieron resultados interesantes ya que el terremoto de 1906 que es actualmente el quinto en escala de magnitud a nivel mundial con una magnitud de grado 8.8, tiene un periodo de retorno de OCASIONAL. Para los terremotos de 1958 y del año 2016 se obtuvo un periodo de retorno FRECUENTE, aunque con intensidades diferentes entre sí. Cabe recalcar que la intensidad resaltada con color celeste corresponde a una aceleración obtenida del acelerógrafo del IGEPN.

| ESMERALDAS (ESMERALDAS) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|-------------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA                   | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO             |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 23/9/1906               | 8,8      | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 77                          | OCASIONAL                  |
| 19/1/1958               | 7,8      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 11                          | FRECUENTE                  |
| 16/3/2016               | 7,8      | 6                 | 151,20             | D             | 0,15                                 | 1,6                                                               | 0,10                | 10                          | FRECUENTE                  |

**Tabla 26.** Efecto en Esmeraldas de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

En la ciudad de Guaranda que se encuentra en la zona central del territorio nacional, se observó que los periodos de retorno son los siguientes: OCASIONALES-RAROS, obteniendo dos periodos de retorno de 250 años, para los terremotos de Chimbo 1674, y de Manabí de 1942, para el terremoto de Chimborazo de 1911, se obtiene un periodo de retorno OCASIONAL, mientras que para el terremoto de Riobamba de 1797 de magnitud 8,3 se obtiene un periodo de retorno de MUY RARO. De lo antes descrito se aprecia 3 terremotos con altos periodos de retornos, en un periodo de tiempo bajo (480 años), aun así, no es de esperar que el periodo de tiempo de 1797 se repita próximamente en ese sitio

| GUARANDA (BOLIVAR) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|--------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA              | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO        |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 29/08/1674         | 7        | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 250                         | OCASIONAL-RARO             |
| 04/02/1797         | 8,3      | 11                | 898,26             | D             | 0,92                                 | 1,12                                                              | 0,82                | 14286                       | MUY RARO                   |
| 23/09/1911         | 8        | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 77                          | OCASIONAL                  |
| 14/5/1942          | 8,2      | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 250                         | OCASIONAL-RARO             |

**Tabla 27.** Efecto en Guaranda de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

En Quito han ocurrido varios acontecimientos sísmicos que han afectado esta ciudad, se observó que en la mayoría han tenido una probabilidad de ocurrencia alta ya que se obtuvo resultados de amenazas sísmica de tipo FRECUENTE en el año de 1736, 1859, 1929, 1955 y 2016, OCASIONALES-RARO en el año de 1587, 1755 y 1923 y RARO-MUY RARO en el año 1914 y 1938. Lo que significaría que como hay dos sismos raros dentro de este periodo de tiempo se supondría que la aceleración esperada en roca (Z) esta subvalorada para la ciudad de Quito. En la celda sombreada de celeste, es la aceleración dada por los acelerógrafos del Instituto Geofísico Ecuatoriano, el cual se realiza el mismo cálculo, sin necesidad de tener el valor de intensidad máxima.

| QUITO (PICHINCHA) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|-------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA             | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO       |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 31/08/1587        | 6,3      | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 91                          | OCASIONAL                  |
| 06/12/1736        | 6,3      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 33                          | FRECUENTE                  |
| 28/04/1755        | 6,3      | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 91                          | OCASIONAL                  |
| 22/03/1859        | 6,3      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 33                          | FRECUENTE                  |
| 31/5/1914         | 7        | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 588                         | RARO-MUY RARO              |
| 5/2/1923          | 6,3      | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 100                         | OCASIONAL-RARO             |
| 25/7/1929         | 6,3      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 33                          | FRECUENTE                  |
| 10/8/1938         | 6,3      | 10                | 522,28             | D             | 0,53                                 | 1,12                                                              | 0,48                | 588                         | RARO-MUY RARO              |
| 20/7/1955         | -        | 7                 | 102,66             | D             | 0,10                                 | 1,6                                                               | 0,07                | 10                          | FRECUENTE                  |
| 16/3/2016         | 7,8      | -                 | 24,58              | C             | 0,03                                 | 1,4                                                               | 0,02                | 2                           | FRECUENTE                  |

**Tabla 28.** Efecto en Quito de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

De acuerdo a las investigaciones la geología del suelo en la ciudad de Latacunga fue catalogada tipo C que no es un suelo malo, ya que contiene rocas con presencia de arcillas, pero en poca cantidad; en el estudio se observó que en la mayoría de sismos se ha tenido una probabilidad de ocurrencia baja ya que se obtuvo resultados de amenazas sísmica de tipo RARO-MUY RARO y MUY RARO en el año de 1914,1949,1757 y 1797 y FRECUENTE en el año de 1736,1859 y 2016. Como en Latacunga se obtuvieron estos resultados se está subvalorando la aceleración esperada en roca (Z) en esta ciudad con dos sismos que arrojan como resultado un periodo de retorno MUY RARO a lo largo del registro histórico que se tiene.

| LATACUNGA (COTOPAXI) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|----------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA                | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO          |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 06/12/1736           | 6,3      | 8                 | 176,56             | C             | 0,18                                 | 1,4                                                               | 0,13                | 32                          | FRECUENTE                  |
| 22/02/1757           | 7        | 9                 | 303,67             | C             | 0,31                                 | 1,25                                                              | 0,25                | 5000                        | MUY RARO                   |
| 04/02/1797           | 8,3      | 9                 | 303,67             | C             | 0,31                                 | 1,25                                                              | 0,25                | 5000                        | MUY RARO                   |
| 22/03/1859           | 6,3      | 8                 | 176,56             | C             | 0,18                                 | 1,4                                                               | 0,13                | 32                          | FRECUENTE                  |
| 31/5/1914            | 7        | 10                | 522,28             | C             | 0,53                                 | 1,18                                                              | 0,45                | 625                         | RARO-MUY RARO              |
| 05/08/1949           | 7,1      | 10                | 522,28             | C             | 0,53                                 | 1,18                                                              | 0,45                | 625                         | RARO-MUY RARO              |
| 16/3/2016            | 7,8      | -                 | 31,00              | C             | 0,03                                 | 1,4                                                               | 0,02                | 2                           | FRECUENTE                  |

**Tabla 29.** Efecto en Latacunga de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

Dentro de los 480 años que tiene la historia sísmica de Ibarra, se han catalogado 2 terremotos que tiene un periodo de retorno entre OCACIONAL-RARO y 2 mas entre RARO-MUY RARO, lo que significa que la aceleración esperada en roca esta subvalorada en esta ciudad o por lo menos en el sitio donde se registraron estas intensidades.

| <b>IBARRA (IMBABURA)</b> |                 |                          |                           |                      |                                             |                                                                          |                            |                                    |                                   |
|--------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| <b>FECHA</b>             | <b>MAGNITUD</b> | <b>INTENSIDAD MÁXIMA</b> | <b>RELACIÓN DE AGUIAR</b> | <b>TIPO DE SUELO</b> | <b>ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE</b> | <b>COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO</b> | <b>ACELERACIÓN EN ROCA</b> | <b>PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS)</b> | <b>TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS</b> |
| <b>DIA/MES/AÑO</b>       |                 |                          | <b>ACELERACION</b>        |                      | <b>AH (g)</b>                               | <b>Fa</b>                                                                | <b>Z</b>                   |                                    |                                   |
| 22/03/1859               | 6,3             | 8                        | 176,56                    | B                    | 0,18                                        | 1                                                                        | 0,18                       | 100                                | OCACIONAL-RARO                    |
| 16/08/1868               | 7               | 9                        | 303,67                    | B                    | 0,31                                        | 1                                                                        | 0,31                       | 714                                | RARO-MUY RARO                     |
| 20/7/1955                | -               | 8                        | 176,56                    | B                    | 0,18                                        | 1                                                                        | 0,18                       | 100                                | OCACIONAL-RARO                    |
| 6/3/1987                 | 7,2             | 9                        | 303,67                    | B                    | 0,31                                        | 1                                                                        | 0,31                       | 714                                | RARO-MUY RARO                     |

**Tabla 30.** Efecto en Ibarra de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.



En Tulcán han ocurrido 5 acontecimientos sísmicos que han afectado esta ciudad, se observó que en la mayoría han tenido una probabilidad de ocurrencia baja ya que se obtuvo resultados de amenazas sísmica de tipo OCASIONAL- RARO en el año de 1868-1923 y 1926, y MUY RARO en el año 1834-1868. Al ver los años de los sismos, se observan que tiene periodo de retornos cortos por que se obtuvo resultados de amenazas sísmica de tipo FRECUENTE por lo tanto habrá que realizar estudios para valorar el peligro sísmico de Tulcán establecido por la Norma NEC-15. Como en Tulcán se obtuvieron dos sismos de periodos de retorno MUY RARO, se están subvalorando la aceleración esperada en roca (Z) en esta ciudad a lo largo del registro histórico que se tiene que son los 480 años.

| TULCAN (CARCHI) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|-----------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA           | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO     |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 20/01/1834      | 8        | 9                 | 303,67             | B             | 0,31                                 | 1                                                                 | 0,31                | 8333                        | MUY RARO                   |
| 15/08/1868      | 6,3      | 8                 | 176,56             | B             | 0,18                                 | 1                                                                 | 0,18                | 200                         | OCASIONAL-RARO             |
| 16/08/1868      | -        | 9                 | 303,67             | B             | 0,31                                 | 1                                                                 | 0,31                | 8333                        | MUY RARO                   |
| 16/12/1923      | -        | 8                 | 176,56             | B             | 0,18                                 | 1                                                                 | 0,18                | 200                         | OCASIONAL-RARO             |
| 18/12/1926      | -        | 8                 | 176,56             | B             | 0,18                                 | 1                                                                 | 0,18                | 200                         | OCASIONAL-RARO             |

**Tabla 31.** Efecto en Tulcán de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020)..

**Fuente:** Autores.

En la ciudad de Santo Domingo en el año 2016 hubo un sismo de magnitud 7.8 y una aceleración de superficie de 0.21 que es registrado por el Instituto Geofísico Ecuatoriano el cual nos dio un tipo de amenaza sísmica OCASIONAL por lo que la probabilidad de ocurrencia es muy baja de acuerdo a la curva de peligro sísmico de Santo Domingo.

| SANTO DOMINGO (SANTO DOMINGO) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|-------------------------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA                         | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO                   |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 16/3/2016                     | 7,8      | -                 | 202,23             | C             | 0,21                                 | 1,3                                                               | 0,16                | 72                          | OCASIONAL                  |

**Tabla 32.** Efecto en Santo Domingo de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

En la ciudad de Loja nos dio 3 tipos de amenaza sísmica que tiene un periodo de retorno entre OCASIONAL-RARO y 1 RAROMUY RARO por lo que la probabilidad de ocurrencia es muy baja de acuerdo a la curva de peligro sísmico de Loja. Pero el terremoto de 1913 de acuerdo a la curva de peligro sísmico hay la probabilidad de ocurrencia que pase, en este siglo XXI por el periodo de retorno de 100 años.

| LOJA (LOJA) |          |                   |                    |               |                                      |                                                                   |                     |                             |                            |
|-------------|----------|-------------------|--------------------|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|
| FECHA       | MAGNITUD | INTENSIDAD MÁXIMA | RELACIÓN DE AGUIAR | TIPO DE SUELO | ACELERACIÓN HORIZONTAL EN SUPERFICIE | COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN DE SUELO EN LA ZONA DE PERIODO CORTO | ACELERACIÓN EN ROCA | PERIODOS DE RETORNOS (AÑOS) | TIPOS DE AMENAZAS SÍSMICAS |
| DIA/MES/AÑO |          |                   | ACELERACION        |               | AH (g)                               | Fa                                                                | Z                   |                             |                            |
| 20/01/1749  | -        | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 100                         | OCASIONAL-RARO             |
| 23/3/1913   | -        | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 100                         | OCASIONAL-RARO             |
| 12/12/1953  | 7,3      | 8                 | 176,56             | D             | 0,18                                 | 1,6                                                               | 0,11                | 100                         | OCASIONAL-RARO             |
| 10/12/1970  | 7,2      | 9                 | 303,67             | D             | 0,31                                 | 1,3                                                               | 0,24                | 833                         | RARO-MUY RARO              |

**Tabla 33.** Efecto en Loja de sismos históricos importantes en Ecuador (1541-2020).

**Fuente:** Autores.

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### **Conclusiones**

El Ecuador es un país que tiene una amplia historia sísmica, por lo cual los periodos de retorno en su mayoría se encuentran catalogados entre frecuentes y ocasionales, es curioso observar que, en la zona central del país, en medio de las cordilleras se tenga una amplia historia sísmica que en los últimos años está dormida respecto a lo que se tiene registro.

También es raro observar que para un terremoto como el de esmeraldas de 1906 que tiene una escala de 8,8 y que es el quinto terremoto más potente y con mayor liberación de energía a nivel mundial, se obtenga un periodo de retorno de ocasional, utilizando los procedimientos básicos para este tipo de trabajos, así también el terremoto de Pedernales del año 2016 que tuvo una magnitud de 7,8 y que destruyó casi todo el centro de Portoviejo, tenga un periodo de retorno frecuente para esta ciudad.

Logrando determinar los periodos de retorno para los sismos históricos del Ecuador se ha logrado el objetivo principal de este estudio, con resultados que se basan en lo que dicta la NEC-15, y utilizando leyes de atenuación que rigen para nuestro país.

## **Recomendaciones**

Revisar las aceleraciones esperadas en roca en las ciudades capitales de la Sierra Norte, porque es evidente que allí los sismos definidos como raros (por su aceleración en roca) no tienen un período de retorno de 475 años sino menor. Por tanto, el sismo con período de retorno de 475 años en esas ciudades debe tener una aceleración en roca mayor a la que se obtiene de las curvas de peligro sísmico.

También se recomienda principalmente revisar y comparar los resultados obtenidos con los periodos de retorno observados en sitio ya que esto puede ayudar a conocer realmente el número de años que un evento puede llegar a ocurrir, además de conocer sus características y si es un sismo con periodo de retorno muy raro, y con intensidades altas.

Usar estos criterios con mucho cuidado ya que su estimación es empírica y a partir de registros de intensidades, mas no de registros de frecuencia, y utilizando leyes de atenuación que son las más adecuadas para usarse en el país, pero su exactitud varía de acuerdo a los registros.

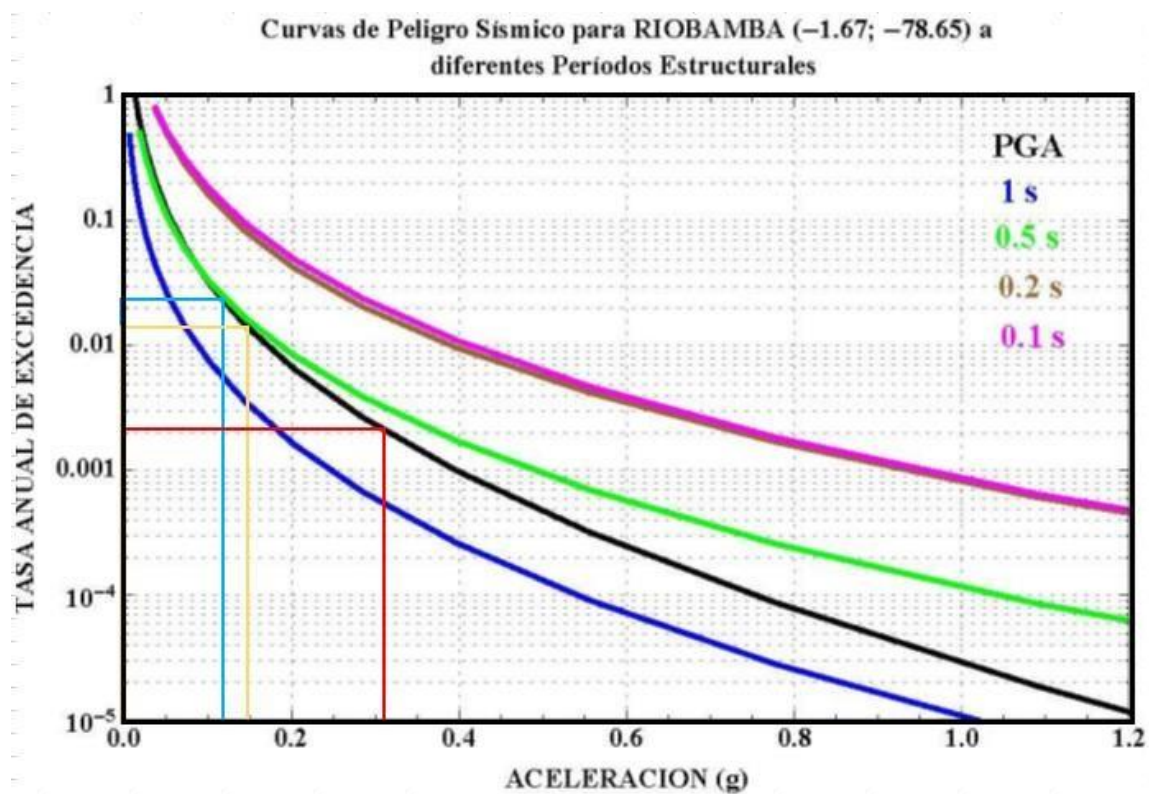
El trabajo de investigación contiene únicamente las intensidades proporcionadas por el señor José Egred, en la escala de Mercalli modificada ya que es la escala que se usa para las leyes de atenuación y el resto de los procedimientos para el cálculo del periodo de retorno de las capitales de las provincias por lo cual, tomar en cuenta para futuras investigaciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Argudo, Dr. J. (2011). *SISMOLOGIA*. <http://jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/05/2011-SISMICA-Cap-2-Parte-2.pdf>
- Egred A., J. (2000). *EL TERREMOTO DE RIOBAMBA*. I. Municipio de Riobamba, AbyaYala.
- Egred, J., & Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2000). *EL TERREMOTO DE RIOBAMBA del 4 de febrero de 1797*. <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-para-la-comunidad/comunidadespanol/23-el-terremoto-de-riobamba-de-1797/file>
- Egred, J., Rivadeneira, F., Yepes, H., & Troncoso, L. (s. f.). *Breves fundamentos sobre los terremotos en el Ecuador*. PDF. <https://www.igepn.edu.ec/publicaciones-parala-comunidad/comunidad-espanol/35-breves-fundamentos-sobre-los-terremotos-en-el-ecuador/file>
- Freile, Ing. P., Longo, Ing. R., & Baldock, Dr. J. (1982). *Mapa geológico nacional de la República del Ecuador* [Map].
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. En NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente. Quito. NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-1.pdf*. (s. f.). Recuperado 21 de agosto de 2020, de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-DS-Peligro-S%C3%ADsmicoparte-1.pdf>

# 1. ANEXOS

## RIOBAMBA:



*Ilustración 25* Curva de peligro sísmico, Riobamba.

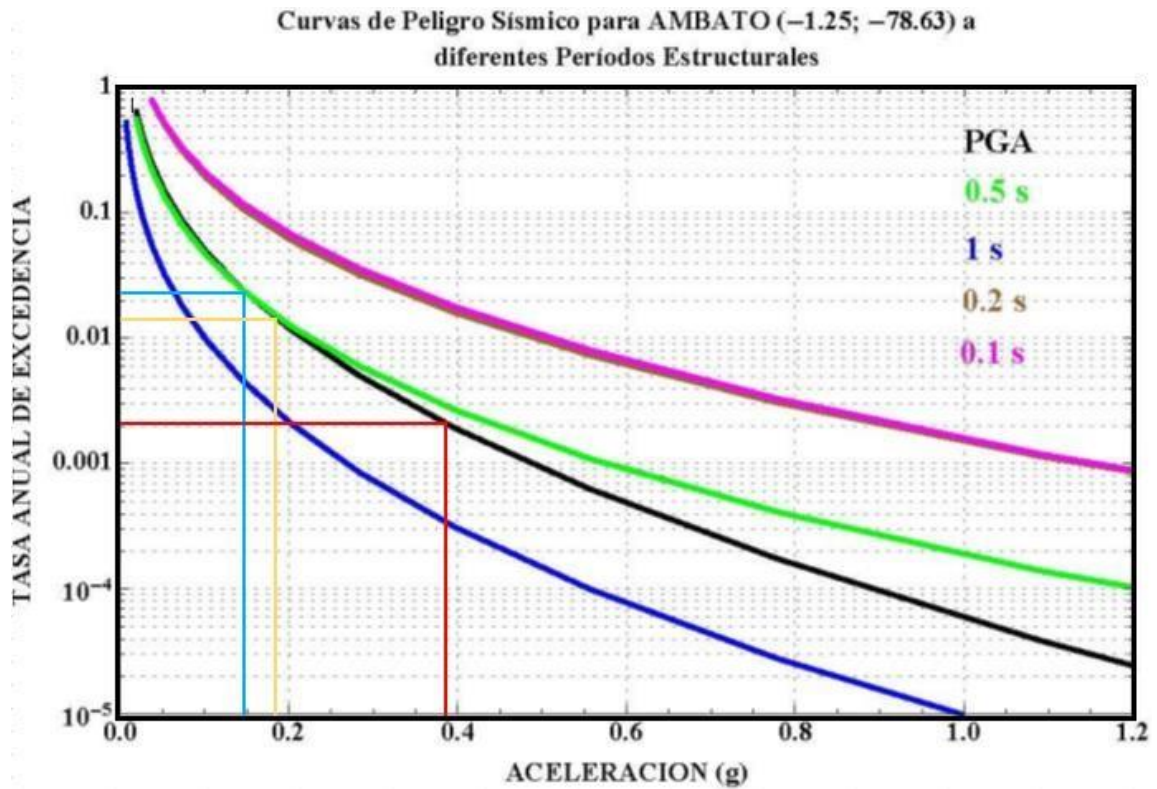
*Fuente:* (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>RIOBAMBA</b>    |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,1280                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1970                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,3180                       |

*Tabla 34.* Aceleración sísmica esperada en roca, Riobamba.

*Fuente:* Rommel Morán y César Chica

**AMBATO:**



*Figura 26 Curva de peligro sísmico, Ambato.*

*Fuente:* (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

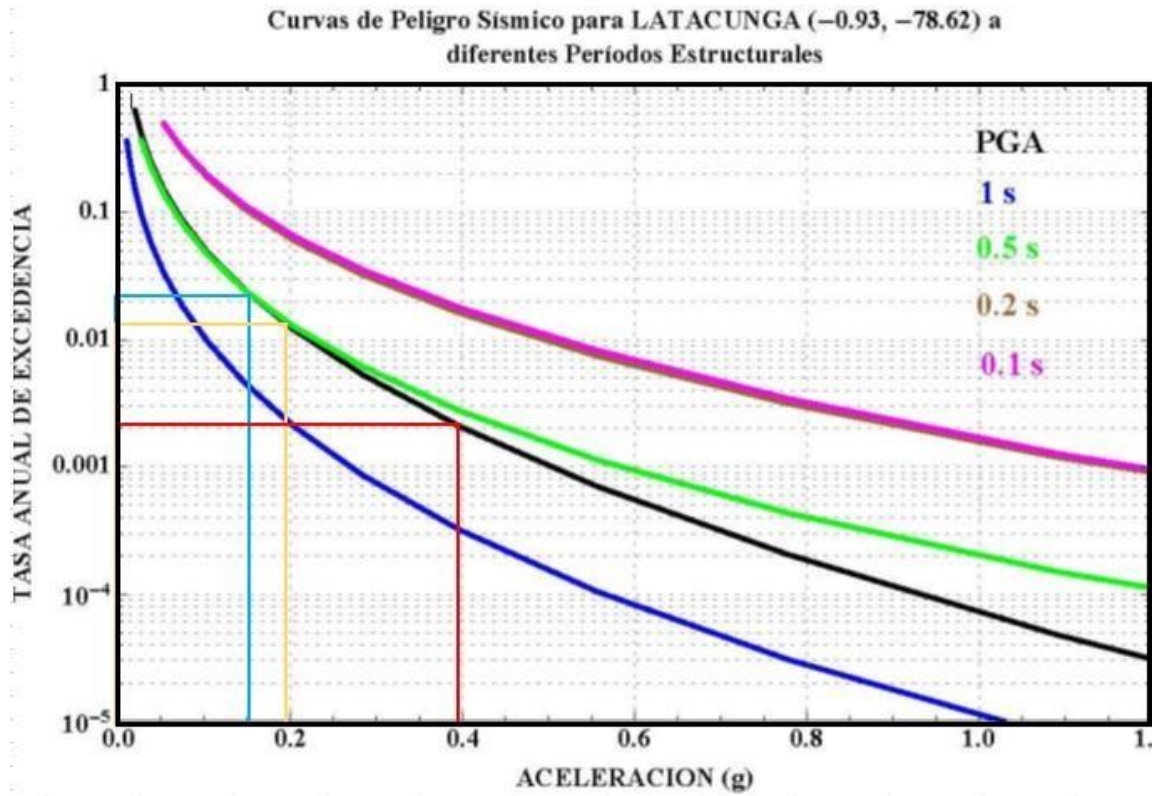
| <b>AMBATO</b>      |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,1480                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1820                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,3830                       |

*Tabla 35. Aceleración sísmica esperada en roca, Ambato.*

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica



**LATACUNGA:**



*Figura 27* Curva de peligro sísmico, Latacunga.

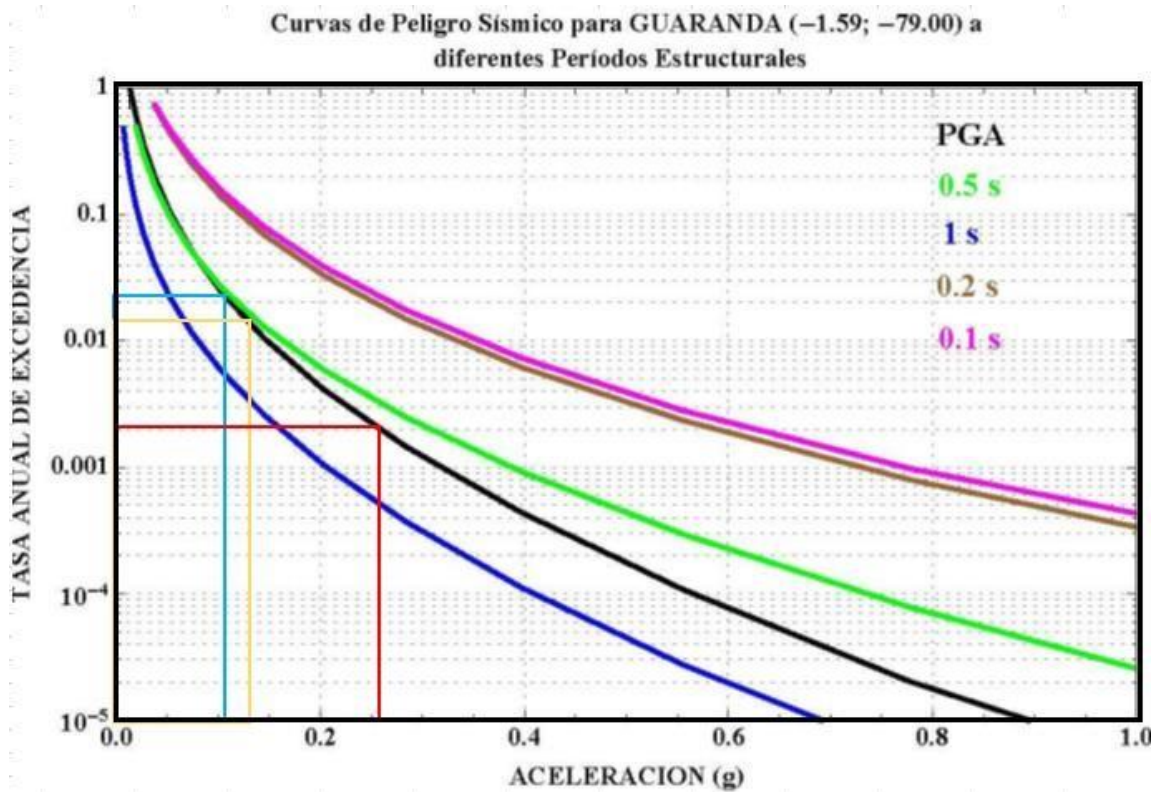
**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>LATACUNGA</b>   |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,1500                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1950                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,3940                       |

*Tabla 36.* Aceleración sísmica esperada en roca, Latacunga.

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica

**GUARANDA:**



*Figura 28* Curva de peligro sísmico, Guaranda.

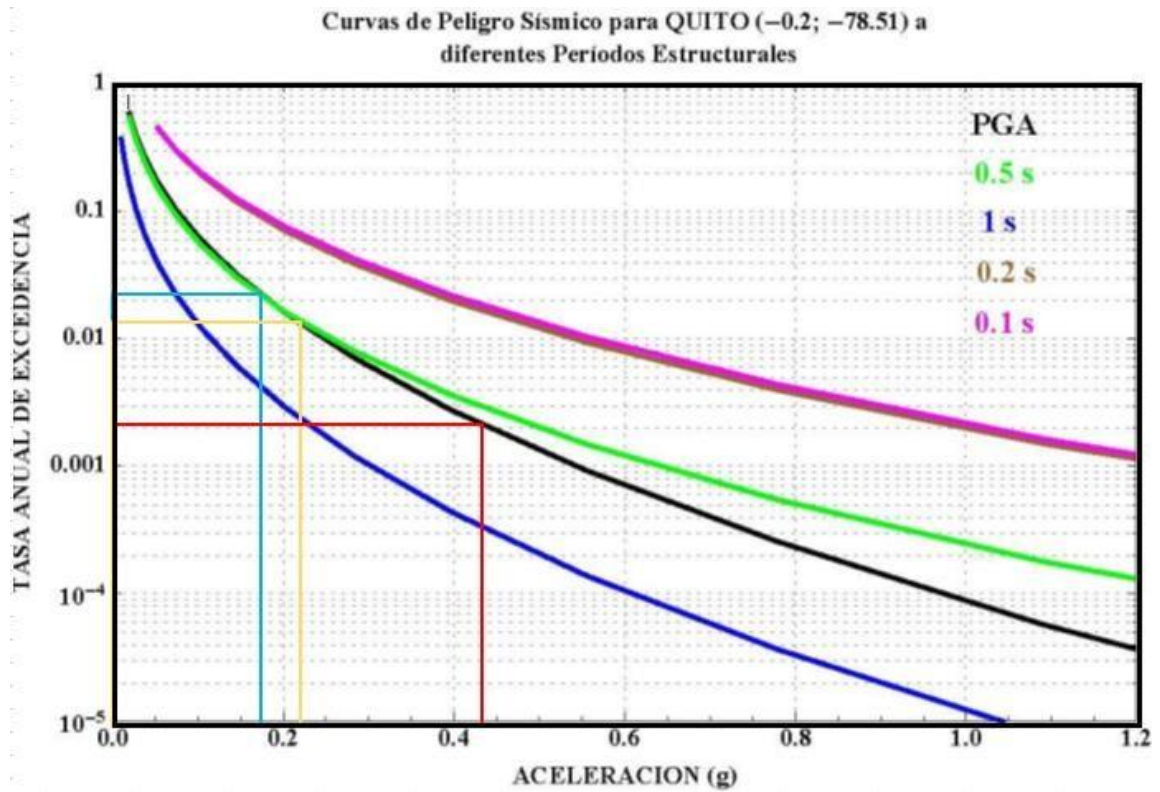
**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>GUARANDA</b>    |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,1150                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1320                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,2610                       |

*Tabla 37.* Aceleración sísmica esperada en roca, Guaranda.

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica

**QUITO:**



*Figura 29* Curva de peligro sísmico, Quito.

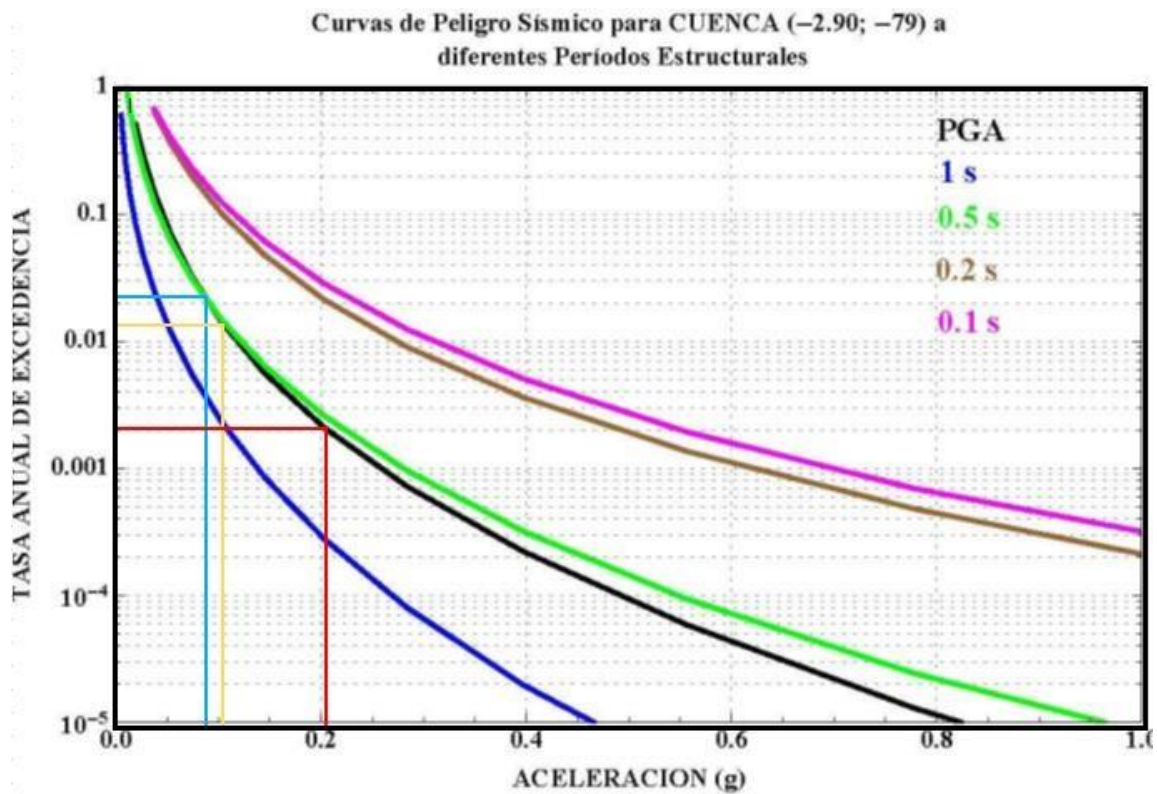
**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| QUITO              |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,1730                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,2200                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,4390                       |

*Tabla 38.* Aceleración sísmica esperada en roca, Quito.

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica

**CUENCA:**



*Ilustración 30* Curva de peligro sísmico, Cuenca.

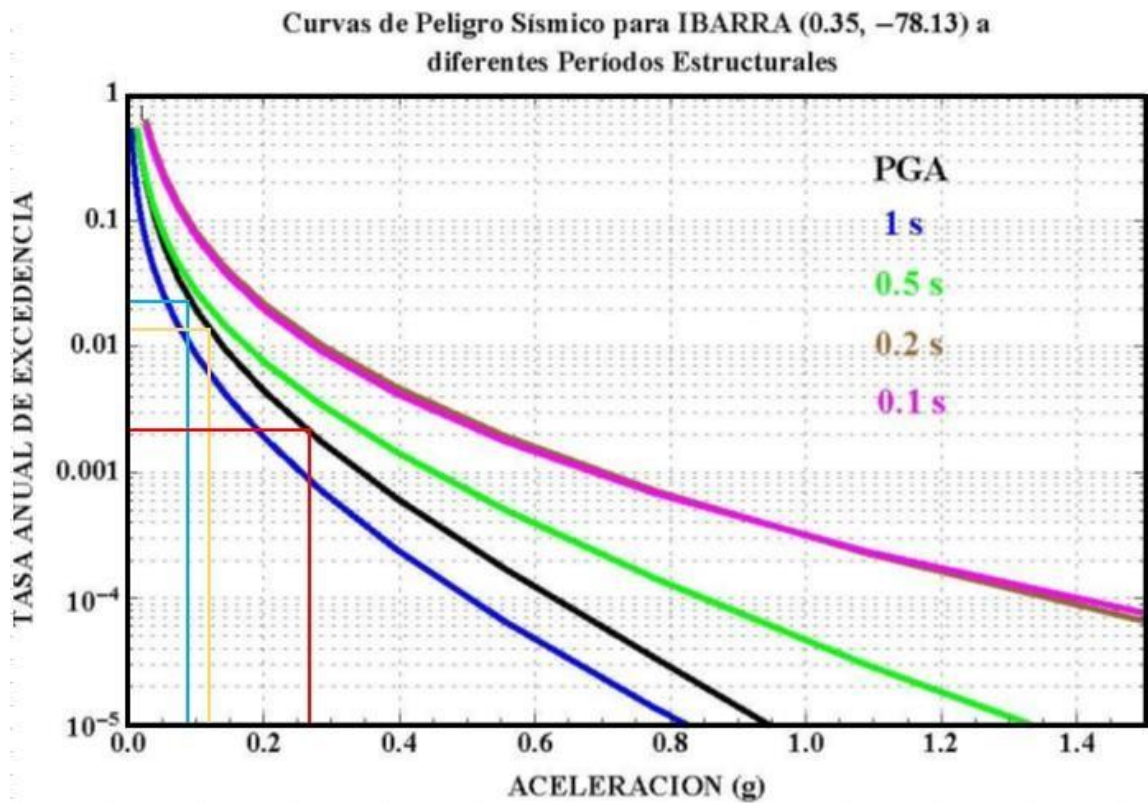
**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>CUENCA</b>      |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,0910                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1090                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,2080                       |

*Tabla 39.* Aceleración sísmica esperada en roca, Cuenca.

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica

**IBARRA:**



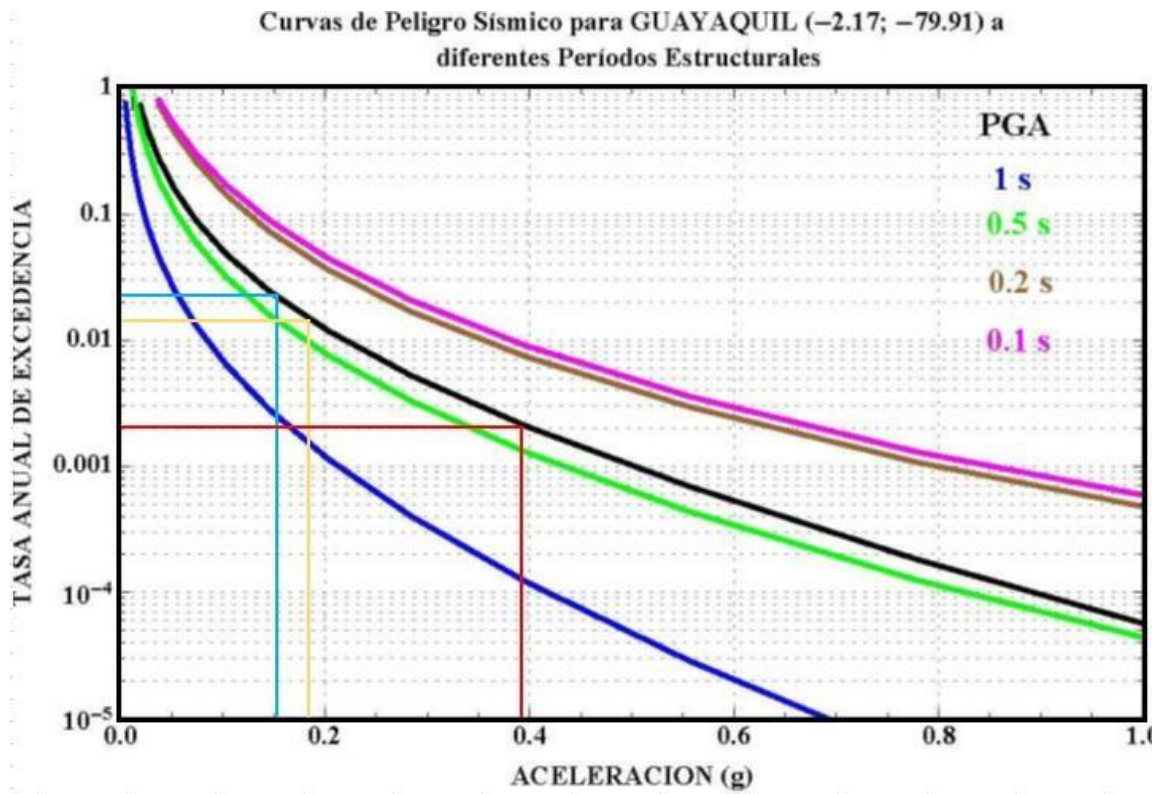
**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>IBARRA</b>      |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,0985                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1230                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,2680                       |

**Tabla 40.** Aceleración sísmica esperada en roca, Ibarra.

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica

**GUAYAQUIL:**



*Figura 32* Curva de peligro sísmico, Guayaquil.

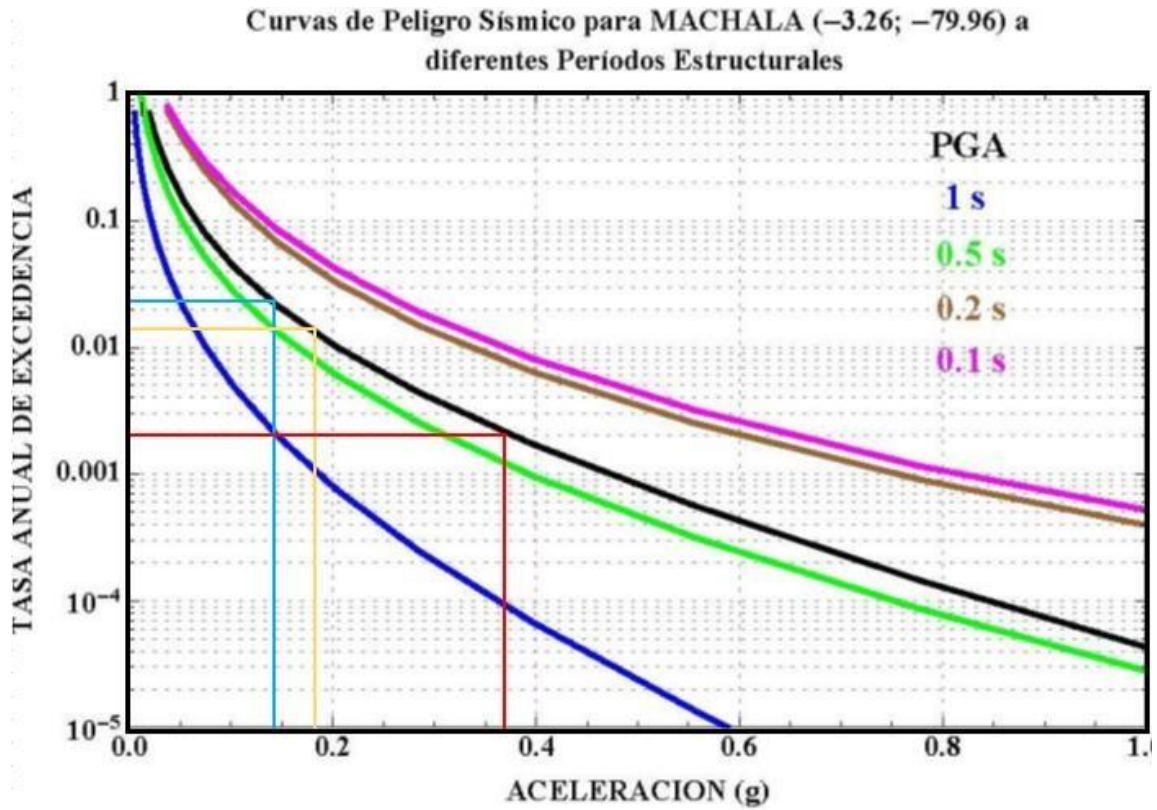
**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>GUAYAQUIL</b>   |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,1500                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1800                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,3900                       |

*Tabla 41.* Aceleración sísmica esperada en roca, Guayaquil.

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica

**MACHALA:**



*Figura 33 Curva de peligro sísmico, Machala.*

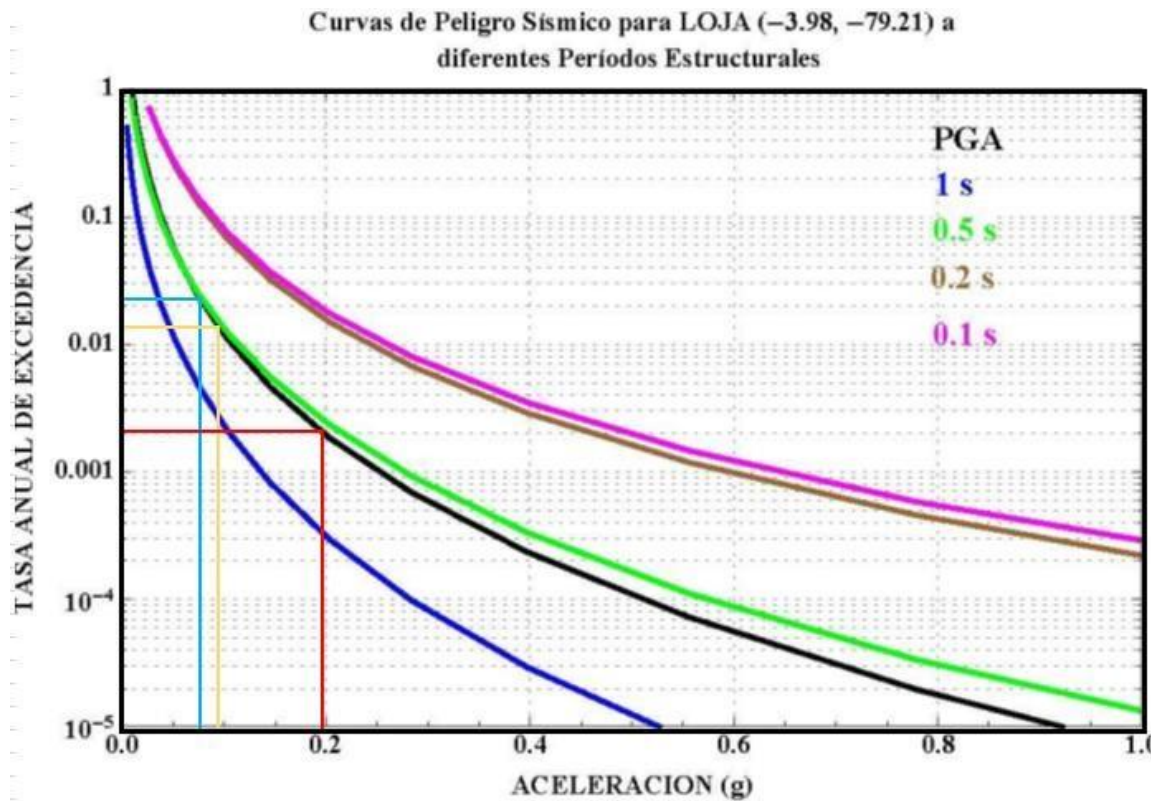
**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>MACHALA</b>     |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,1400                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1800                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,3700                       |

*Tabla 42. Aceleración sísmica esperada en roca, Machala.*

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica

**LOJA:**



*Figura 34* Curva de peligro sísmico, Loja.

**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

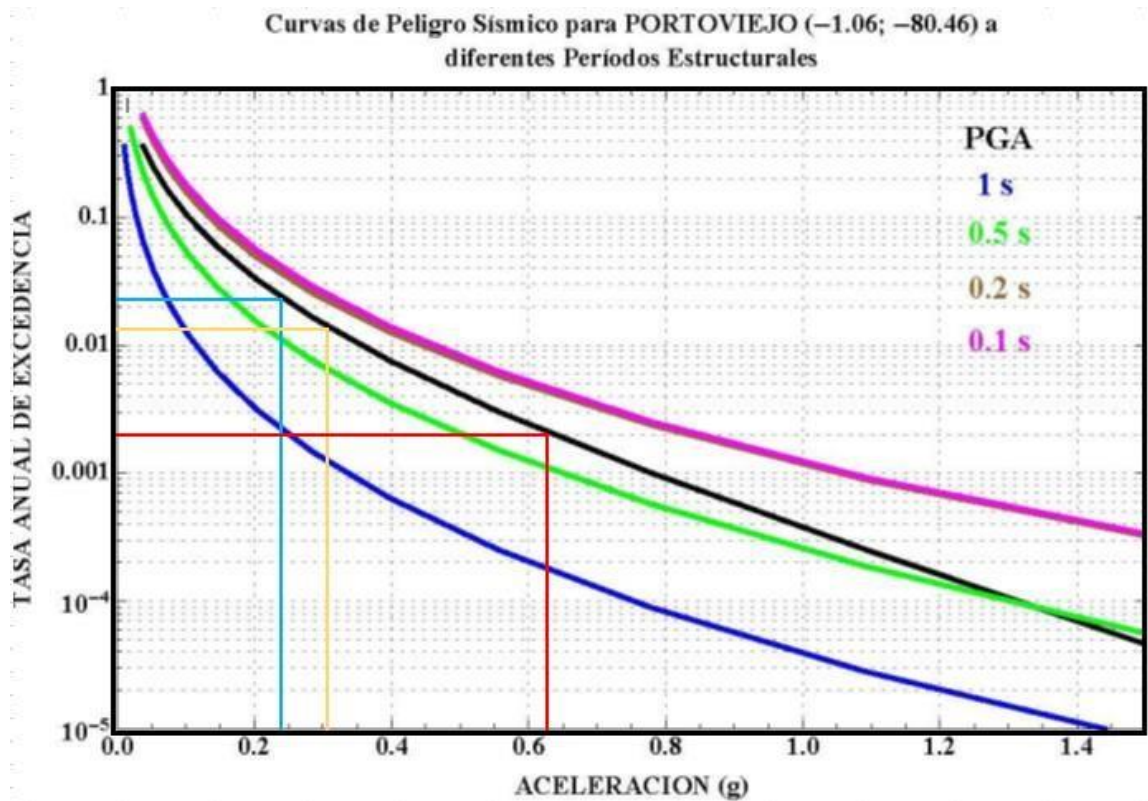
| <b>LOJA</b>        |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,0575                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,0990                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,1940                       |

*Tabla 43.* Aceleración sísmica esperada en roca, Loja.

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica



**PORTOVIEJO:**



*Figura 35* Curva de peligro sísmico, Portoviejo.

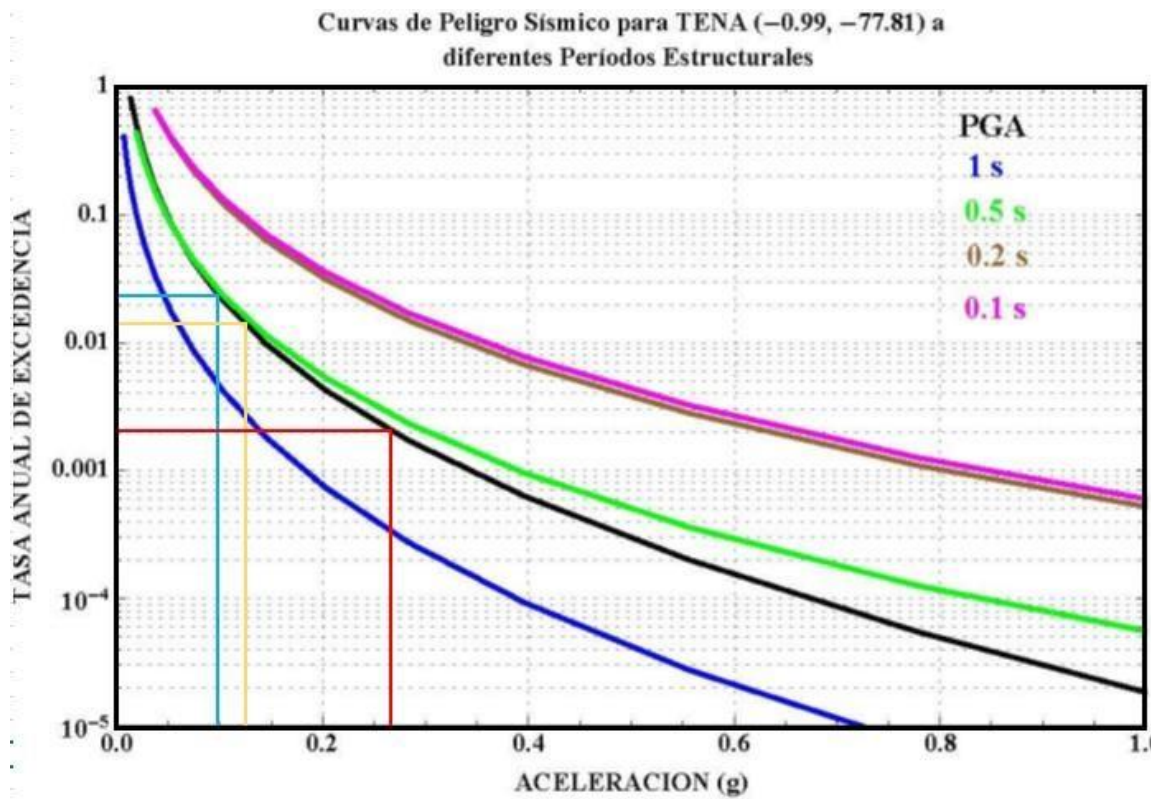
**Fuente:** (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>PORTOVIEJO</b>  |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,2490                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,3160                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,6390                       |

*Tabla 44.* Aceleración sísmica esperada en roca, Portoviejo.

**Fuente:** Rommel Morán y César Chica

TENA:



*Figura 36* Curva de peligro sísmico, Tena.

*Fuente:* (Ministerio de Desarrollo Urbano y Viviendas, 2015)

| <b>TENA</b>        |                    |                    |                              |
|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|
| TIPO DE MOVIMIENTO | PERIODO DE RETORNO | TASA DE EXCEDENCIA | ACELERACION ESPERADA EN ROCA |
| Frecuente          | 43                 | 0,0233             | 0,1000                       |
| Ocasional          | 72                 | 0,0139             | 0,1300                       |
| Raro               | 475                | 0,0021             | 0,2700                       |

*Tabla 45.* Aceleración sísmica esperada en roca, Tena.

*Fuente:* Rommel Morán y César Chica

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Chica Carvajal, Cesar Alejandro** C.C: # 1314436732 y **Morán Parrales, Rommel Jesús**, con C.C: # 1316725835 autores del trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO DE SISMOS HISTÓRICOS EN ECUADOR** previo a la obtención del título de **INGENIERÍA CIVIL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 14 de septiembre de 2020

f. 

Nombre: **Chica Carvajal, Cesar Alejandro**

C.C: **1314436732**

f. 

Nombre: **Morán Parrales, Rommel Jesús**

C.C: **1316725835**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

|                                   |                                                                                |                        |           |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------|
| <b>TEMA Y SUBTEMA:</b>            | <b>DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE RETORNO DE SISMOS HISTÓRICOS EN ECUADOR</b>    |                        |           |
| <b>AUTOR(ES)</b>                  | <b>Chica Carvajal, Cesar Alejandro y Rommel Jesús, Morán Parrales.</b>         |                        |           |
| <b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>      | <b>Ing. Alex Villacrés Sánchez</b>                                             |                        |           |
| <b>INSTITUCIÓN:</b>               | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil                                  |                        |           |
| <b>FACULTAD:</b>                  | <b>Facultad de Ingeniería</b>                                                  |                        |           |
| <b>CARRERA:</b>                   | <b>Ingeniería Civil</b>                                                        |                        |           |
| <b>TÍTULO OBTENIDO:</b>           | <b>Ingeniero Civil</b>                                                         |                        |           |
| <b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>      | <b>14 de septiembre de 2020</b>                                                | <b>No. DE PÁGINAS:</b> | <b>71</b> |
| <b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>           | Ingeniería sísmica, geología, geografía.                                       |                        |           |
| <b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b> | Periodo de Retorno, Amenaza sísmica, Sismo, intensidad, aceleración y magnitud |                        |           |

#### RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

El presente trabajo consiste en determinar el período de retorno de sismos históricos ocurridos en capitales de provincia del Ecuador a partir del año 1541. Se trabajo en base a las investigaciones del geofísico José Egred que dedico la mayor parte de su vida al estudio de terremotos históricos del Ecuador considerando las intensidades mayores o igual a VIII en la escala de Mercalli Modificada, en base a las intensidades máximas se relacionan las ecuaciones de atenuación de aceleraciones de Aguiar, y se la vincula en función con la gravedad para obtener la aceleración en superficie AH(g), es importante conocer la caracterización del tipo del suelo donde ocurrió el sismo para determinar el coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto que se encuentra en la NEC-15 y así realizar el cálculo de la aceleración máxima en roca esperada tomando en referencia las curvas de peligro sísmicos según la NEC-15 para el cálculo del período de retorno de sismos históricos y su tipos de amenazas sísmicas.

|                                                                    |                                                                                               |                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>ADJUNTO PDF:</b>                                                | <input checked="" type="checkbox"/> SI                                                        | <input type="checkbox"/> NO                                         |
| <b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>                                      | <b>Teléfono:</b><br>+5930998117325                                                            | E-mail: cesarchicacarvajal@gmail.com<br>rommel_moran_96@outlook.com |
| <b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b> | Nombre: Clara Glas Cevallos<br>Teléfono: +593-4 -2206956<br>E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec |                                                                     |

#### SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

|                                           |  |
|-------------------------------------------|--|
| <b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b> |  |
| <b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>              |  |
| <b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>   |  |