



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA “R-CRISIS”  
Y SU APLICACIÓN EN EL CASO DE AMENAZAS SÍSMICAS EN EL CANTÓN  
QUITO, PROVINCIA PICHINCHA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingenieros Civiles

**AUTORES:** Grey Estefanía Ordoñez Sacapi  
Mishell Valentina Salazar Riera  
**TUTOR:** José Domingo Alviar Malabet

Quito - Ecuador  
2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Grey Estefanía Ordoñez Sacapi con documento de identificación N° 2150318372 y Mishell Valentina Salazar Riera con documento de identificación N° 2100838248; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

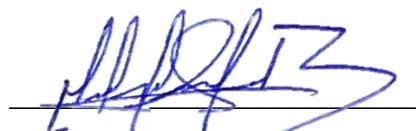
Quito, 02 de febrero del 2023

Atentamente,



Grey Estefanía Ordoñez Sacapi

2150318372



Mishell Valentina Salazar Riera

2100838248

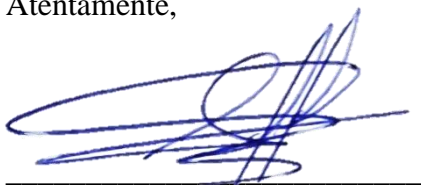
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Grey Estefanía Ordoñez Sacapi con documento de identificación N° 2150318372 y Mishell Valentina Salazar Riera con documento de identificación N° 2100838248; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Elaboración de un Manual de usuario del Programa “R-Crisis” y su aplicación en el caso de amenazas sísmicas en el Cantón Quito, Provincia Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieras Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

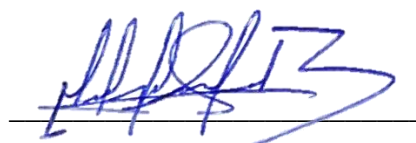
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 02 de febrero del 2023

Atentamente,



Grey Estefanía Ordoñez Sacapi  
2150318372



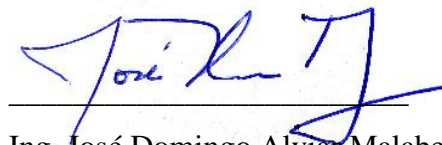
Mishell Valentina Salazar Riera  
2100838248

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, José Domingo Alviar Malabet con documento de identificación N° 1757837602, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA “R-CRISIS” Y SU APLICACIÓN EN EL CASO DE AMENAZAS SÍSMICAS EN EL CANTÓN QUITO, PROVINCIA PICHINCHA, realizado por Grey Estefanía Ordoñez Sacapi con documento de identificación N° 2150318372 y por Mishell Valentina Salazar Riera con documento de identificación N° 2100838248, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 02 de febrero del 2023

Atentamente,



Ing. José Domingo Alviar Malabet, PhD

1757837602

## **DEDICATORIA**

A mis padres Wilson y Teresa, quienes han sido el pilar fundamental para lograr cumplir una de mis mayores metas, con su apoyo incondicional he logrado sobrellevar cada obstáculo que se me ha interpuesto a lo largo de mi vida universitaria. Hoy tengo el gran honor de enorgullecer a mis padres y devolverles la confianza puesta en mí.

A mi abuela materna Jesús Calva, quien ha guiado mis pasos de la mano de mis padres, junto con sus consejos y amor de madre ha permitido ser de mí una persona segura y capaz de cumplir con todo lo que me proponga.

A mis hermanos Diego y Jordy, que me brindaron la dicha de tener unos hermosos sobrinos Jostin y Joshua, este logro es tan mío como de ellos.

A mis amigos y pareja, quienes me apoyaron en cada momento difícil y no dejaron de creer en mí. Siendo ellos la nueva familia que cree estando lejos de casa y por lo cual tuve siempre a mi lado a alguien especial, alguien que se supo ganar un pedazo de mi corazón.

A mis familiares que hoy en día ya no están con nosotros pero que sin duda alguna merecen ser parte de este gran logro, en especial a mi abuelo materno Francisco Sacapi, mi abuelo paterno Baudilio Ordoñez y abuela paterna Juana Sigcho y por supuesto a mi tío Guido Ordoñez.

Grey Estefanía Ordoñez Sacapi

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mi madre Diana Riera, a mi abuelita Inés Sañay; quienes han sido siempre mi apoyo incondicional y con la ayuda de Dios supieron inculcarme valores, virtudes y guiarme por un camino de Bien.

A mi abuelito Rodrigo Riera quien ha sido más que un padre durante toda mi vida y ha sabido guiarme y apoyarme con amor y sabiduría.

De la misma manera a mis primas Deysi y Daniela Sañay quienes han sido como unas hermanas que me brindaron su ayuda en momentos de presión, a mi tía Elvia Sigüencia quien siempre ha estado a mi lado para apoyarme y ayudarme, a mi tía Olga, a mi tío Jaime y a mis primas Janine y Stefany Riera quienes me brindaron su apoyo emocional a la distancia y a mis amigas.

De manera especial a mi novio, compañero de vida y amigo, Darwin Mayorga, quien ha sido pilar fundamental para lograr mi meta de ser profesional, entendí que la ayuda idónea, siempre llega justo a tiempo. Por esto mismo quiero dedicar esta tesis a esa persona que estuvo apoyándome en cada decisión que tomara, esa persona que tuvo paciencia y entrega, porque gracias a ti hoy puedo con alegría presentar y disfrutar esta tesis.

Mishell Valentina Salazar Riera

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios por darme salud y sabiduría, pero sobre todo por escuchar mis plegarias y ser esa guía espiritual que requerí cuando a solas pedía fuerzas para no dejarme vencer. Así también agradezco el permitirme tener a mi lado a mis padres y demás familiares, por protegerlos y seguir contando con ellos en cada acontecimiento de mi vida.

Agradezco a las personas que en las buenas y malas estuvieron para brindarme su apoyo, no dejaron que mis miedos me derrotaran y por ello ahora estoy aquí, terminando una carrera que no ha sido para nada fácil, pero ha valido la pena.

Finalmente agradezco a cada docente de la carrera de ingeniería civil por haber sido quienes gracias a su profesionalismo ha logrado que hoy en día sea una gran profesional, dejando además grandes enseñanzas y anécdotas entre cada clase o práctica realizada. Especialmente agradecer al Ing. José Domingo Alviar Malabet tutor designado en el presente proyecto, siendo quien con su disponibilidad de tiempo y su buena actitud ha favorecido en la culminación de un proceso arduo y de mucho esmero.

Grey Estefanía Ordoñez Sacapi

## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento a mi Dios por mi vida y cada una de sus bendiciones, pero sobre todo por permitirme alcanzar uno de mis principales objetivos como es mi profesionalización como Ingeniera Civil.

Agradezco a mi familia que siempre me ha brindado su apoyo incondicional, gracias por hacerse sentir a la distancia y reconfortarme en los días más difíciles, por tenerme paciencia y por darme su amor.

A mi compañero de vida, que siempre me ha brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

Son muchos los Ingenieros que han sido parte de mi camino universitario, a cada uno de los docentes de esta noble Institución, la Universidad Politécnica Salesiana, cuna de sabiduría y pilar fundamental en la formación de más que profesionales, seres humanos de gran valía al servicio de la colectividad.

Le agradezco en especial a mi tutor el Dr. José Domingo Alviar Malabet, por su dedicación y paciencia, con sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada para mí y para mi familia, gracias por su guía.

Mishell Valentina Salazar Riera



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES Y GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes .....	2
1.3. Problema de Estudio .....	3
1.3.1. Importancia y Alcance del Problema .....	3
1.4. Justificación .....	5
1.5. Delimitación.....	6
1.6. Objetivos .....	8
1.6.1. Objetivo General .....	8
1.6.2. Objetivos Específicos.....	8
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>9</b>
2.1. Marco Teórico Referencial .....	9
2.2 Conceptos de Peligro Sísmico .....	9
2.2.1 Sismos .....	9
2.2.2 Amenaza.....	9
2.2.3 Riesgo.....	10
2.2.4 Vulnerabilidad.....	10
2.2.5 Fallas Ciegas .....	10
2.2.6 Fallas Geológicas .....	11
2.2.7 Espectro de Amenaza Uniforme .....	11
2.2.8 Componentes generadores del espectro de respuesta de diseño en aceleraciones	11
2.2.9 Factor de Zona Sísmica.....	11
2.2.10 Coeficientes $F_a$ , $F_d$ y $F_s$ de acuerdo al tipo de suelo .....	13
2.2.11 Espectro Elástico de Aceleración NEC 2015.....	16
2.2.12 Periodo de Retorno.....	18
2.2.13 Escala de Richter.....	19
2.2.14 Cinturón de Fuego del Pacífico.....	19
2.3 Catálogo Sísmico .....	20

2.4 Conceptos de importancia para el análisis del programa “R-CRISIS” .....	21
2.4.1 Zonificación de Ecuador .....	21
2.4.2 Fuentes Sismogénicas .....	22
2.4.2.1 Fuentes Interfase.....	23
2.4.2.2 Fuentes Corticales .....	23
2.4.2.3 Fuentes Intraplaca.....	24
2.4.3 Relación entre magnitud y área de ruptura (parámetros K1 y K2) .....	25
2.4.3.1 Strike: .....	26
2.4.3.2 Dip: .....	26
2.4.3.3 Rake:.....	26
2.4.4 Ley de Gutenberg Richter .....	29
2.4.5 Sismicidad de Focos.....	31
2.4.5.1 Foco Superficial.....	31
2.4.5.2 Foco Intermedio.....	32
2.4.5.3 Foco Profundo .....	32
2.4.6 Parámetros Sismológicos .....	32
2.4.7 Ley de Atenuación .....	35
2.4.7.1 Zona de Subducción .....	36
2.4.7.2 Zona de Corteza Superficial .....	38
2.4.8 Ley de atenuación de Zhao (2006).....	40
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>41</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>41</b>
3.1. Investigación Documental .....	41
3.2 Investigación Explicativa.....	42
3.3 Investigación Académica .....	42
3.4 Método .....	42
3.4.1 Método Histórico-Comparativo .....	42
3.4.2 Método Cualitativo.....	43
3.5. Técnica de Recolección de Información.....	43
3.6. Proceso Técnico de Ingeniería Civil.....	43

<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>46</b>
<b>MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA “R-CRISIS” APLICADO A LA CIUDAD DE QUITO</b> .....	<b>46</b>
4.1 Anexo del manual de usuario y ejemplo de uso del programa R-CRISIS .....	47
4.2 Comparación entre el espectro de amenaza de la NEC-SE-DS 2015 y el espectro del Software R-CRISIS.....	83
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>89</b>
<b>CASO APLICADO PARA 3 CIUDADES DE ECUADOR</b> .....	<b>89</b>
5.1 Lugar de estudio.....	89
5.2 Coordenadas de las ciudades de estudio .....	89
5.3 Resultado generados por R-CRISIS para el caso aplicado a 3 ciudades de Ecuador .	90
5.3 Mapa de Amenaza Sísmica.....	105
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>109</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>112</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>113</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>118</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Factor de zona sísmica "Z" .....	12
<b>Tabla 2.</b> Coeficiente de amplificación $F_a$ de acuerdo al tipo de suelo .....	13
<b>Tabla 3.</b> Coeficiente de amplificación $F_d$ de acuerdo al tipo de suelo .....	14
<b>Tabla 4.</b> Coeficiente de amplificación $F_s$ de acuerdo al tipo de suelo.....	15
<b>Tabla 5.</b> Catálogo sísmico histórico .....	20
<b>Tabla 6.</b> Zonificación de Ecuador.....	22
<b>Tabla 7.</b> Valores de K1 y K2 de acuerdo a los autores.....	27
<b>Tabla 8.</b> Modelos de fuentes sismogénicas.....	28
<b>Tabla 9.</b> <i>Modelos de Fallas</i> .....	29
<b>Tabla 10.</b> Parámetros del modelo de recurrencia GR e información complementaria para cada zona de origen (según el catálogo BSSA2013).....	33
<b>Tabla 11.</b> Parámetros sismológicos de las fuentes requeridas por el Software R-CRISIS (según el catálogo BSSA2013).....	34
<b>Tabla 12.</b> Parámetros sismológicos requeridos por el Software R-CRISIS de las fallas de Ecuador.....	35
<b>Tabla 13.</b> Tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme de la ciudad Quito .....	80
<b>Tabla 14.</b> Aceleraciones espectrales como respuesta de la NEC-SE-DS y R-CRISIS.....	81
<b>Tabla 15.</b> Parámetros de acuerdo al perfil de suelo según NEC-SE-DS 2015 .....	84
<b>Tabla 16.</b> Aceleraciones espectrales para la ciudad de "Quito" .....	87
<b>Tabla 17.</b> Ciudades que serán estudiadas .....	89
<b>Tabla 18.</b> Tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme de la ciudad Machachi .....	91
<b>Tabla 19.</b> Parámetros de acuerdo al perfil de suelo según NEC-SE-DS 2015 .....	92
<b>Tabla 20.</b> Aceleraciones espectrales como respuesta de la NEC y R-CRISIS para la ciudad de Machachi.....	94
<b>Tabla 21.</b> Aceleraciones espectrales para la ciudad de "Machachi" .....	96
<b>Tabla 22.</b> Tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme de la ciudad Puerto Quito .....	98

<b>Tabla 23.</b> Parámetros de acuerdo al perfil de suelo según NEC-SE-DS 2015 .....	99
<b>Tabla 24.</b> Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones de Puerto Quito .....	101
<b>Tabla 25.</b> Aceleraciones espectrales para la ciudad de “Puerto Quito” .....	103
<b>Tabla 26.</b> Fuentes sismogénicas de Ecuador .....	118
<b>Tabla 27.</b> Fallas geológicas de Ecuador .....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Sistemas de fallas de la ciudad de Quito.....	7
<b>Figura 2.</b> Mapa de zonificación sísmica del Ecuador.....	12
<b>Figura 3.</b> Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	16
<b>Figura 4.</b> Zonificación de Ecuador .....	21
<b>Figura 5.</b> Mapa con las fuentes de Interfase y Corticales de Ecuador.....	24
<b>Figura 6.</b> Mapa con las fuentes de Intraplaca de Ecuador .....	25
<b>Figura 7.</b> Tipos de fallas en base al Rake .....	26
<b>Figura 8.</b> Relación de Gutenberg-Richter.....	31
<b>Figura 9.</b> Tipos de sismos en zona de subducción .....	37
<b>Figura 10.</b> Tipos de sismos en zona de subducción y de corteza superficial .....	39
<b>Figura 11.</b> Sitio web para acceso a la descarga del programa R-CRISIS.....	47
<b>Figura 12.</b> Ventana inicial del programa .....	48
<b>Figura 13.</b> Ventana principal del programa.....	49
<b>Figura 14.</b> Ventana del software ArcGIS .....	50
<b>Figura 15.</b> Ventana de GADM .....	51
<b>Figura 16.</b> Visualización de archivos generados a partir de la descarga en GADM.....	52
<b>Figura 17.</b> Ventana de ArcGIS con shapefiles de Ecuador .....	53
<b>Figura 18.</b> Modelo de archivo .asc que admite R-CRISIS .....	54
<b>Figura 19.</b> Barra de tarea Input .....	55
<b>Figura 20.</b> Ventana de trabajo Maps opción Map file.....	56
<b>Figura 21.</b> Ventana de trabajo Maps opción Cities file .....	57
<b>Figura 22.</b> Archivos registrados en la herramienta Maps.....	58
<b>Figura 23.</b> Grilleta en el programa con sus respectivas coordenadas.....	59
<b>Figura 43.</b> Espectro de respuesta de aceleraciones utilizando R-CRISIS para la ciudad de Quito .....	82
<b>Figura 45.</b> Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS 2015 vs R-CRISIS para la ciudad de Quito.....	86
<b>Figura 46.</b> Representación gráfica de los diferentes espectros de peligro uniforme de la ciudad de “Quito” .....	88

<b>Figura 47.</b> Espectro de amenaza sísmica de Quito, Machachi y Puerto Quito.....	90
<b>Figura 48.</b> Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS 2015 .....	93
<b>Figura 49.</b> Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS-2015 vs R-CRISIS de la ciudad de Machachi .....	95
<b>Figura 50.</b> Representación gráfica de los diferentes espectros de peligro uniforme de la ciudad de “Machachi” .....	97
<b>Figura 51.</b> Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS 2015 .....	100
<b>Figura 52.</b> Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS-2015 vs R-CRISIS de la ciudad de Puerto Quito .....	102
<b>Figura 53.</b> Representación gráfica de los diferentes espectros de peligro uniforme de la ciudad de “Puerto Quito” .....	104
<b>Figura 54.</b> Mapa de amenaza sísmica de las 3 ciudades estudiadas en Ecuador .....	105
<b>Figura 55.</b> Mapa político de Pichincha.....	106
<b>Figura 56.</b> Mapa interactivo de peligro sísmico para Ecuador de acuerdo a la NEC-SE-DS 2015 .....	107
<b>Figura 57.</b> Mapa interactivo de peligro sísmico para Ecuador de acuerdo al IGEPN.....	108

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad incorporar una herramienta que facilite el trabajo de usuarios futuros en cuanto al manejo del software R-Crisis, para lo cual se requiere la aplicación de un modelo de análisis sísmico aplicado a Ecuador. Para la ejecución del mismo se debe conocer y entender cada uno de los términos que requiere la data, por ello antes de dar paso al proceso de elaboración del manual se debe revisar la información teórica recolectada como complemento del siguiente proyecto. En cuanto a la elaboración del manual de usuario aplicado a la ciudad de Quito como primer parte, se tiene la obtención de datos como: coordenadas geográficas de las fuentes y fallas sismogénicas del Ecuador, parámetros sismológicos de las mismas (excepción de  $\beta$ , obtenido a partir de la ley de Gutenberg-Richter) siendo los misma extraídos del portal del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Además de ser necesario contar con las coordenadas del sitio de análisis (obtenidas de google earth pro) como también el shapefile del Ecuador (obtenido desde la página web GADM) proceso que se detalla paso a paso en el capítulo IV. Considerando las características de los movimientos telúricos ocurridos dentro del país se considera la aplicación de la ley de atenuación de Zhao, dicha ley podría variar de acuerdo a las solicitudes del usuario. Finalmente, ya ejecutado el modelo se podrá visualizar mediante escala de colores las distintas intensidades producto de la información cargada al programa, con lo cual haciendo énfasis en la importancia de obtener el espectro de peligro uniforme para el cual se realiza un análisis comparativo con el espectro generado a partir de las recomendaciones de la norma ecuatoriana NEC-SE-DS.

**Palabras claves:** coordenadas geográficas, fuentes, fallas, ley de Gutenberg-Richter, ley de atenuación, espectro de peligro uniforme.



## ABSTRACT

The purpose of this work is to incorporate a tool that facilitates the work of future users regarding the management of the R-Crisis software, for which the application of a seismic analysis model applied to Ecuador is required. For the execution of the same one it is necessary to know and to understand each one of the terms that the data requires, for that reason before giving step to the process of elaboration of the manual the collected theoretical information must be reviewed as a complement of the following project. Regarding the elaboration of the user's manual applied to the city of Quito as a first part, it is necessary to obtain data such as: geographic coordinates of the seismogenic sources and faults of Ecuador, seismological parameters of the same (except for  $\beta$ , obtained from the Gutenberg-Richter law) being the same extracted from the portal of the Geophysical Institute of the National Polytechnic School. Besides being necessary to have the coordinates of the analysis site (obtained from google earth pro) as well as the shapefile of Ecuador (obtained from the GADM web page), a process that is detailed step by step in chapter IV. Considering the characteristics of the telluric movements occurring within the country, the application of Zhao's attenuation law is considered; this law could vary according to the user's demands. Finally, once the model has been executed, it will be possible to visualize by means of a color scale the different intensities resulting from the information loaded to the program, emphasizing the importance of obtaining the uniform hazard spectrum for which a comparative analysis is made with the spectrum generated from the recommendations of the Ecuadorian standard NEC-SE-DS.

**Key words:** geographic coordinates, sources, faults, Gutenberg-Richter law, attenuation law, uniform hazard spectrum.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES Y GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

El cantón Quito ha sido una ciudad donde se ha presentado un sin número de sismos, terremotos en el pasado que han causado pérdidas materiales, esto se debe en parte a su ubicación, donde existe un sistema de fallas activas; cuenta con seis diferentes fallas, las cuales se evidencian con la formación de una cadena en: El Tablón, San Miguel, Puengasí, El Batán, La Bota, Lumbisí, El Inca, Carcelén, Calderón, Bellavista y Catequilla.

Ecuador es un país que se localiza entre la zona de colisión de la placa Oceánica Nazca con la placa Continental Sudamericana. Esta interacción hace que se acumulen esfuerzos tanto en la zona de contacto como en la parte interna de las placas continental y oceánica.

Existen diferentes tipos de ondas sísmicas que se pueden dividir en 3: Ondas Internas Longitudinales (Ondas P): La particularidad de este tipo de onda es que oscilan en la dirección de propagación de la onda, son más rápidas que las ondas S o es decir después de un temblor primeramente llegan las ondas P y secundariamente las ondas S.

Ondas Internas Transversales (Ondas S): Este tipo de ondas son transversales en la naturaleza como ondas de luz, la velocidad de las ondas S es de aproximadamente 3.3 km/s, esta depende de la densidad de la roca y la resistencia a la distorsión y por último las Ondas Superficiales Love y Ondas Rayleigh: Son ondas que solo se transmiten por la superficie de la tierra, las Ondas Love producen desplazamientos en dirección vertical; Estas ondas son las causantes de los destrozos que se producen por los sismos, al igual que las ondas Rayleigh que presentan un movimiento retrogrado similar a una ola.

Este documento ha sido compilado usando datos que nos facilitó el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, logrando así continuar con nuestro trabajo de titulación para utilizarlos en la resolución del caso aplicado antes mencionado, existiendo una recopilación de varios textos previamente escritos por M. Villani, E. Faccioli, M. Ordaz y A. Aguilar, junto con sus resultados y hallazgos.

En cuanto a la aplicación del ejercicio que se va realizar con la utilización del programa “R-CRISIS” se evidenciará que es posible evaluar estructuras que puedan ser afectadas por diferentes intensidades, mismo que se evaluará con la probabilidad de peligro sísmico, que permite manejar espectros de aceleración con diferentes periodos de retorno.

Las metodologías explicadas en el presente proyecto de titulación junto con el manual de usuario han sido desarrolladas para la versión que se encuentra disponible en la página web <http://www.r-crisis.com/download/binaries/>, se encuentra gratis la descarga del programa R-CRISIS.

Este trabajo de titulación tiene como fin elaborar un manual de usuario del programa “R-CRISIS” paso a paso y así mismo indicar con un ejercicio aplicado en el cantón Quito, provincia de Pichincha su funcionamiento.

## **1.2. Antecedentes**

Actualmente Ecuador está viéndose afectada por movimientos de origen sísmico, por lo que es un tema de gran relevancia a ser considerado debido a las posibles afectaciones que pueden conllevar a pérdidas humanas y materiales. Al ser un tema bastante extenso, para caso de estudio del siguiente proyecto se hará énfasis en la ciudad de Quito provincia de

Pichincha, de donde se utilizarán datos de la red de sismómetros de Ecuador tomados por parte del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

Ventajosamente, se tiene constancia que hasta la actualidad no ha existido un sismo de gran magnitud, que pueda afectar directamente a la ciudad de Quito, desde el hecho ocurrido en 1868. Sin embargo, debido al aumento vertiginoso de la población en esta locación existen riesgos asociados a eventos sísmicos en lugares donde se ubican ciudades densamente pobladas. Por ende, existe el temor de que se produzcan daños devastadores y para ello se requiere emplear mecanismos (software), necesarios para obtener información que indique las aceleraciones de posibles movimientos telúricos en el basamento rocoso.

### **1.3. Problema de Estudio**

Este proyecto es de gran importancia ya que beneficiará a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil para diferentes asignaturas, ya que contarán con información sobre el peligro sísmico que se produce durante un movimiento telúrico; así como los espectros de peligro uniforme para diferentes periodos de retorno, su aceleración, intensidad, tasas de excedencias, etc.

#### **1.3.1. Importancia y Alcance del Problema**

Ecuador es un país altamente peligroso en el ámbito sísmico; el sismo más fuerte y en el que hubo una cantidad grande de pérdidas humanas fue el terremoto que sucedió en el año del 2016, dejando cerca de 700 muertos, miles de heridos y millones de pérdidas económicas.

Como se menciona anteriormente lo que se busca es garantizar la seguridad de los habitantes como también de las estructuras que allí se encuentran, por lo que es necesario contar con información relevante sobre la evaluación del peligro sísmico, estudios de efectos

de sitio, amplificación de ondas sísmicas y leyes de atenuación disponibles en la literatura y desarrolladas por diversos investigadores.

La importancia de emplear el programa “R-CRISIS” en Ecuador, específicamente con datos sismológicos del país se da en la búsqueda de diseños que previenen el colapso de estructuras y den a conocer los posibles movimientos sísmicos que podrían afectar a los mismos. Con lo cual se podría garantizar un mejor desempeño sísmico, siempre y cuando se respeten las normativas vigentes en el país.

Por lo cual, el presente informe se enfocará directamente en dar a conocer el manejo del programa “R-CRISIS”, con lo cual se busca incentivar y facilitar su uso dentro del país, ya que al ser un programa de origen mexicano poco o nada se conoce al respecto del mismo y sus limitaciones, vienen dadas por la falta de conocimiento en cuanto a su manejo. Es una herramienta que mediante el manejo de datos probabilísticamente obtenidos de fuentes garantizadas permiten un avance en el análisis sismológico del sitio en el que se desee emplear.

Los sismos son amenazas que cuando se presentan, podrían provocar pérdidas humanas y destrucción de estructuras edificadas. Los altos índices de magnitud del sismo dependen de que nuestro País atraviesa el cinturón de fuego del Pacífico, mismo que:

Se localiza en la zona de colisión de la placa oceánica Nazca con la placa continental Sudamericana, por ello esta interacción hace que se acumulen esfuerzos tanto en la zona de contacto como en la parte interna de las placas continental y oceánica. Cuando se liberan los esfuerzos en la zona de subducción o en las fallas tectónicas, se producen los sismos (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2022).

## **1.4. Justificación**

En Ecuador se tiene conocimiento de las amenazas sísmicas que se presenta en distintos lugares; actualmente se ha visto afectada la ciudad de Quito con diferentes temblores ocurridos durante el año 2022, el riesgo sísmico es alto porque la ciudad está asentada sobre una falla geológica, el cual es un sistema compuesto por varios bloques activos de falla inversa.

Gracias al Instituto Geofísico EPN- Ecuador se puede tener un registro de los sismos que se presentan, obteniendo así la magnitud, profundidad, latitud y longitud de los mismos que se van presentando; Quito se encuentra dentro de una placa tectónica denominada como La Sudamericana, teniendo así conocimiento que nuestro país atraviesa el Cinturón de Fuego del Pacífico.

En la actualidad el programa “R-CRISIS” no tiene mucha difusión en nuestro país, se ha encontrado información de dicho programa a través de la plataforma de YouTube y tesis de grado; no se ha observado un manual completo de la utilización del programa, por ello se necesita un texto de estudio para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, que contenga la información al momento de realizar una construcción estructural, vial o hidráulica.

La elaboración del manual es factible porque se dispone de esta información que se puede clasificar con la ayuda de los siguientes datos: “Información de la región de estudio, Mapa de la región donde se vaya a realizar la ejecución del mismo (extensión .shp), un listado de ciudades (extensión.asc), Información de la sismicidad del lugar, Información del lugar donde se calculará la amenaza sísmica, Número de fuentes sísmicas que afectan al área en estudio y Características de sismicidad de las fuentes sísmicas” (Chavez Vasquez et al.,

2014, p. 4). Contando con la colaboración del Instituto Geofísico – EPN, para poder realizar este proyecto.

Finalmente, se proyecta elaborar un libro publicado en la Universidad Politécnica Salesiana, titulado “Manual de estudio de la Amenaza Sísmica utilizando el Programa “R-CRISIS” como texto de estudio para los estudiantes y profesionales de la carrera de Ingeniería Civil.

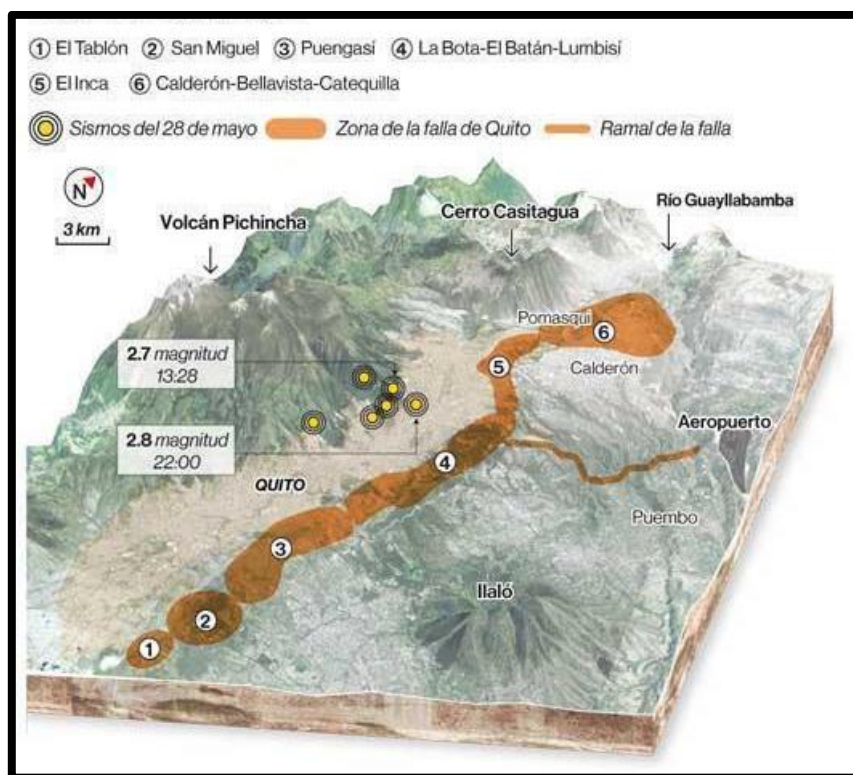
### **1.5. Delimitación**

Quito es una ciudad alargada la cual tiene una longitud que está alrededor de los 40 km con un ancho que varía entre 6 y 12 km, misma que “se encuentra sobre el sistema de fallas ciegas de Quito, que tiene una longitud de aproximadamente 60 km” (Rivas Medina et al., 2014, p.3).

La ciudad forma parte de una cadena de volcanes activos, por lo que se pueden generar sismos, aunque pueden ser de menor magnitud que los que son provocados por movimientos tectónicos. Cuenta con seis diferentes fallas, las cuales se evidencian con la formación de una cadena en: El Tablón, San Miguel, Puengasí, El Batán, La Bota, Lumbisí, El Inca, Carcelén, Calderón, Bellavista y Catequilla; como se puede observar en la figura 1.

## Figura 1.

### Sistemas de fallas de la ciudad de Quito



*Nota.* Se presenta la zona de falla del cantón Quito y el ramal de la falla. Fuente: Ojeda (2020).

Con el uso del programa crisis se hará el estudio para determinar las aceleraciones en el basamento rocoso variando el periodo de retorno o probabilidad de ocurrencia de sismos.

Este trabajo no contempla, el estudio de respuesta de sitio, actividad que se recomienda realizar a futuro en otro trabajo, una vez obtenidos los valores de amenaza sísmica en el cantón Quito, provincia de Pichincha.



## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Elaborar un manual sobre el manejo correcto del programa “R-CRISIS” que facilite su aplicación en un medio donde se desconoce su utilidad; con lo cual se logrará obtener la evaluación probabilística de la amenaza sísmica del cantón Quito, provincia Pichincha.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

Utilizar el programa “R-CRISIS” como mecanismo de apoyo en la determinación del peligro sísmico probabilístico de la ciudad de Quito, dicho software permite establecer las condiciones de amenaza sísmica de la zona estudiada a partir de: la identificación de diferentes fuentes sísmicas, el registro sísmico y demás parámetros como la atenuación sísmica, las ordenadas espectrales y parámetros globales, información que será recopilada desde el Instituto Geofísico-EPN.

Obtener tasas de excedencia y espectros de peligro uniforme con diferentes periodos de retorno del cantón Quito, provincia de Pichincha.

Elaborar el manual de usuario de forma concurrente con los pasos a seguir durante el manejo del programa “R-CRISIS”, realizando un estudio minucioso de las fuentes sismogénicas y fallas geológicas de Ecuador que influyen en el estudio de amenaza sísmica en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, con el fin que los estudiantes cuenten con el texto de estudio.

Realizar un análisis comparativo entre el espectro de respuesta del programa R-CRISIS con el espectro propuesto por la NEC-SE-DS-2015, encontrando diferencias del cumplimiento adecuado del programa con respecto a la norma.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Marco Teórico Referencial**

Existe un riesgo en el que se entiende como el resultado de la interacción del peligro sobre la vulnerabilidad, estimando los daños que se producen o las pérdidas que se presentan en un determinado escenario de riesgo sísmico, gracias al programa “R-CRISIS” de evaluación de la amenaza sísmica y de tsunami. Ha permitido un esclarecimiento completo de un modelo sísmico, para poder evaluar una amenaza sísmica y así obtener el cálculo de escenarios estocásticos para la evaluación del riesgo. Con la ayuda de este programa obtenemos diagramas de espectros de peligro uniforme a diferentes periodos de diseño.

#### **2.2 Conceptos de Peligro Sísmico**

##### **2.2.1 Sismos**

Son movimientos telúricos que se presentan cuando las placas tectónicas chocan entre sí o se sobreponen una sobre otra, produciendo así ondas sísmicas que hacen que las estructuras, objetos y sujetos que se encuentren sobre la superficie terrestre se muevan.

##### **2.2.2 Amenaza**

Se pueden identificar distintos tipos de amenazas sísmicas acorde a la magnitud en la que se presenta un sismo, se puede expresar como el grado de aceleración que puede experimentar el basamento rocoso ante un evento sísmico con cierta probabilidad de ocurrencia. Determinándose conforme a la definición de los escenarios que se presentan, basados en el conocimiento histórico de los sismos y el potencial que hacen que se generen debido a las fallas que existen.

### **2.2.3 Riesgo**

Es un escenario en el que se pueden presentar posibles pérdidas humanas, económicas y materiales, las cuales pueden haber sido causadas por un sismo; propias de la dinámica de la tierra.

### **2.2.4 Vulnerabilidad**

Entiéndase por vulnerabilidad al rango de exposición que atraviesan las estructuras en los distintos lugares en los que se presenta un sismo, debido a los tipos de fallas que existen y que pueden ocurrir a lo largo del tiempo, mostrando claramente las diferencias entre funciones de vulnerabilidad obtenidas para distintas tipologías de construcción.

### **2.2.5 Fallas Ciegas**

Cuando se habla de este tipo de fallas, se entiende que pueden generar sismos con magnitud mayor a 6.0 grados, realmente no se tiene una noción clara de las aceleraciones máximas que se pueden presentar en el suelo, mismos que se esperan en un sismo cuyo foco es superficial y los espectros que se podrían generar pueden ser de una magnitud alta.

Dentro de la ciudad de Quito se tiene un sistema de fallas de tipo corticales, las cuales se encuentran divididas en segmentos de sur a norte. Según Quizanga Martínez (2015), “Plantea que mediante indicadores geotectónicos se confirmó actividad tectónica en dichas fallas, para luego mediante estudios geomorfológicos identificar cada segmento” (p.23). Este tipo de estudios permitió dar a conocer los siguientes: Segmento Puengasí, Segmento Ilumbisí - La Bota, Segmento Carcelén - El Inca, Segmento, Bellavista Catequilla, Segmento Tangahuilla.

### **2.2.6 Fallas Geológicas**

Fundamentalmente, una falla geológica es la fractura de grandes bloques de rocas en la Tierra cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. Se pueden presentar en diversas direcciones. Existe la zona de ruptura que por lo general tiene una superficie definida como plano de falla en el que se separan estos bloques provocando así los sismos. Existen varios tipos de fallas las cuales son: directa, inversa, transcurrente y oblicua.

### **2.2.7 Espectro de Amenaza Uniforme**

Se lo conoce también como el espectro de aceleraciones de amenaza uniforme, obteniendo así una curva en la que se unen las aceleraciones espectrales asociadas independientemente a cada periodo de retorno con una probabilidad de excedencia y para un cierto factor de amortiguamiento.

### **2.2.8 Componentes generadores del espectro de respuesta de diseño en aceleraciones**

Según NEC-SE-DS (2015): Dicho espectro dependerá del factor de zona sísmica, coeficientes de naturaleza propia del sitio, relación de amplificación, además del factor de diseño elástico. Tomando en cuenta que será elaborado para un 10% de excedencia en 50 años es decir para un periodo de retorno de 475 años. A continuación, se presentan los valores sugeridos por la normativa ecuatoriana para el diseño sismo resistente en el país.

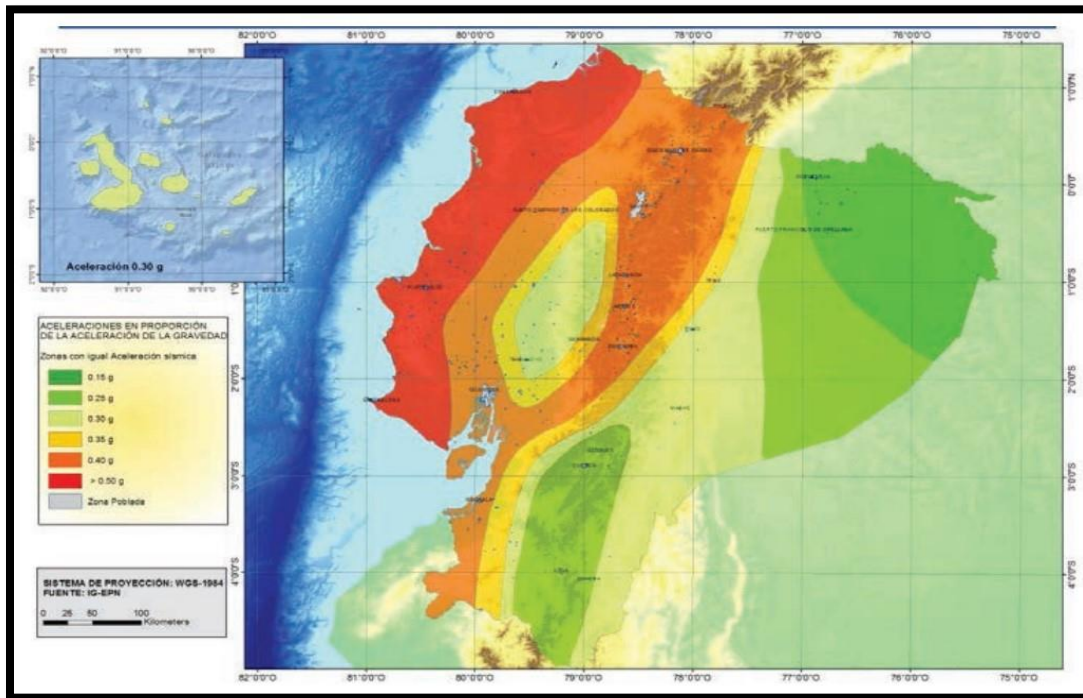
### **2.2.9 Factor de Zona Sísmica**

Definido con la constante  $z$  “representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad” (NEC-SE-DS, 2015). Gracias a la norma ecuatoriana NEC se cuenta con valores referenciales de “ $z$ ”

previamente estudiados, los cuales se pueden distinguir de entre las seis zonas en las cuales se divide Ecuador tal y como se muestra a continuación.

**Figura 2.**

*Mapa de zonificación sísmica del Ecuador*



*Nota.* La figura muestra la división mediante escala de colores de acuerdo al valor de  $z$  correspondiente en cada zona de Ecuador. Fuente: NEC-SE-DS (2015).

**Tabla 1.**

*Factor de zona sísmica "Z"*

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor $Z$	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	$\geq 0,50$
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

*Nota.* Presenta valores recomendados por la NEC-SE-DS de la sección 3.1.1 para diferentes zonas sísmicas. Fuente: NEC-SE-DS (2015).

### 2.2.10 Coeficientes $F_a$ , $F_d$ y $F_s$ de acuerdo al tipo de suelo

Para conocer el perfil de suelo al cual pertenece de acuerdo a la Tabla 2 que proporciona la NEC-SE-DS (2015), es necesario realizar previamente estudios geotécnicos los cuales permiten conocer la velocidad de propagación de onda, número de golpes obtenidos del ensayo SPT y resistencia última del suelo. Una vez conocida dicha información se procede a identificar los siguientes parámetros:

- a)  $F_a$ : Indica la amplificación de ordenadas espectrales de aceleración para el diseño en roca, considerando el perfil de suelo. Valores que se presentan a continuación:

**Tabla 2.**

*Coeficiente de amplificación  $F_a$  de acuerdo al tipo de suelo*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	1,40	1,30	1,25	1,23	1,20	1,18
D	1,60	1,40	1,30	1,25	1,20	1,12
E	1,80	1,40	1,25	1,10	1,00	0,85
F	Requiere una evaluación realizada en el sitio					

*Nota.* Indica los valores correspondientes de  $F_a$  atribuidos a cada perfil de suelo según estipula la NEC-SE-DS en la sección 3.2. 2.a. Fuente: NEC-SE-DS (2015).

b)  $F_d$ : Presenta valores de amplificación de ordenadas espectrales de desplazamiento para el diseño en roca, considerando el tipo de suelo.

**Tabla 3.**

*Coefficiente de amplificación  $F_d$  de acuerdo al tipo de suelo*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	1,36	1,28	1,19	1,15	1,11	1,06
D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
E	2,10	1,75	1,70	1,65	1,60	1,50
F	Requiere una evaluación realizada en el sitio					

*Nota.* Indica los valores correspondientes de  $F_d$  atribuidos a cada perfil de suelo según estipula la NEC-SE-DS en la sección 3.2.2.b. Fuente: NEC-SE-DS (2015).

- c)  $F_s$ : Coeficiente que contempla el comportamiento no lineal del suelo, la degradación del periodo, valor aplicado a espectros de aceleración y desplazamiento.

**Tabla 4.**

*Coeficiente de amplificación  $F_s$  de acuerdo al tipo de suelo*

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
A	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
B	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
C	0,85	0,94	1,02	1,06	1,11	1,23
D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,40
E	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
F	Requiere una evaluación realizada en el sitio					

*Nota.* Indica los valores correspondientes de  $F_s$  atribuidos a cada perfil de suelo según estipula la NEC-SE-DS en la sección 3.2.2.c. Fuente: NEC-SE-DS (2015).

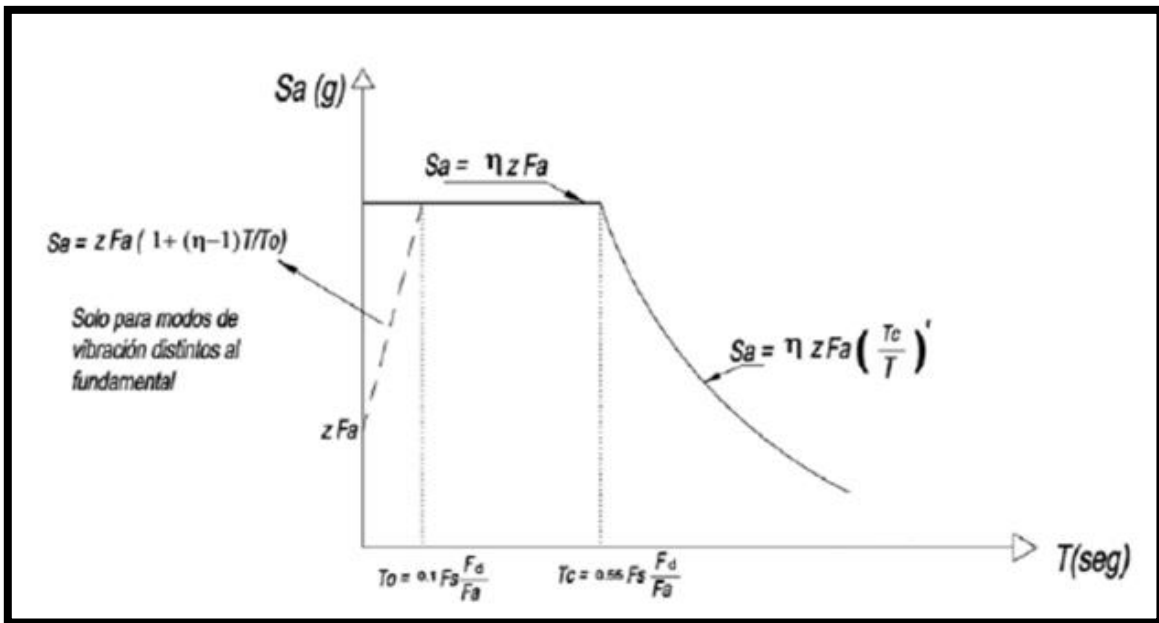


### 2.2.11 Espectro Elástico de Aceleración NEC-SE-DS 2015

Tomando en cuenta lo antes mencionado, se da paso a la representación gráfica del espectro establecido en la NEC-SE-DS (2015), donde se detallan las ecuaciones a emplear para su obtención dando a notar la intervención de los componentes propios de la naturaleza del suelo. Siendo el mismo que se presenta a continuación:

**Figura 3.**

*Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones*



*Nota.* Representación del espectro establecido por la normativa ecuatoriana, donde se indican los componentes que la conforman. Fuente: NEC-SE-DS (2015).

**Dónde:**

**T** = Periodo fundamental de vibración de la estructura

**T<sub>o</sub>** = Periodo límite de vibración en el espectro elástico de aceleraciones

$$T_o = 0.1 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

**T<sub>c</sub>** = Periodo límite de vibración en el espectro elástico de aceleraciones

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

**S<sub>a</sub>** = Aceleración espectral esperada, expresada en fracción de gravedad (g)

**Z** = Factor de zona sísmica, expresada en fracción de gravedad (g)

**F<sub>a</sub>** = Coeficiente de amplificación de suelo, en ordenadas espectrales de aceleración

**F<sub>d</sub>** = Coeficiente de amplificación de suelo, en ordenadas espectrales de desplazamiento

**F<sub>s</sub>** = Coeficiente de amplificación de suelo, para espectro de aceleración y desplazamiento

**r** = Factor a emplear en el espectro de diseño elástico en base a la ubicación geográfica del proyecto, con los siguientes valores:

**r = 1.0** Para todos los tipos suelos, excepto el suelo E

**r = 1.5** Para suelo tipo E

$\eta$  = Relación de amplificación espectral de acuerdo a la región de análisis, con los siguientes valores:

$\eta = 1.80$  Región Costa, excepto Esmeraldas.

$\eta = 2.48$  Región Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

$\eta = 2.60$  Región oriente.

Además de los componentes antes mencionados, se observa que el cálculo necesario para obtener la aceleración espectral será definido a partir del rango (periodo límite de vibración) en el cual se encuentra el periodo fundamental. Para lo cual la NEC-SE-DS (2015) propone las siguientes ecuaciones:

$$\text{Para: } \mathbf{T} = 0 \quad S_a = Z F_a$$

$$\text{Para: } \mathbf{T} \leq \mathbf{T}_0 \quad S_a = Z F_a (1 + (\eta - 1)T/T_0)$$

$$\text{Para } \mathbf{0} \leq \mathbf{T} \leq \mathbf{T}_c \quad S_a = \eta Z F_a$$

$$\text{Para } \mathbf{T} > \mathbf{T}_c \quad S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$$

### 2.2.12 Periodo de Retorno

Es el periodo que se usa para identificar la probabilidad de que suceda un sismo de igual o mayor magnitud que un determinado valor para un año cualquiera. Chica Carvajal & Morán Parrales (2020) plantean que el período de retorno de un evento es la cantidad de tiempo para la cual la probabilidad de ocurrencia se distribuye uniformemente en los periodos que componen dicha cantidad de tiempo.

Un período de retorno de 100 años corresponde a una probabilidad de excedencia de  $1/100 = 0.01$  o 1% para un año cualquiera.

### **2.2.13 Escala de Richter**

Se conoce a la escala de Richter como el método que mide la magnitud de los sismos que se presentan a lo largo de un periodo, asignando así un número para cuantificar la energía que llega a liberar un sismo, esta intensidad se llega a representar desde los valores de 2 - 6,9 grados y se pueden presentar entre una profundidad de 0 - 400 kilómetros. Al llegar a presentarse un sismo con 7 grados o superior a este valor no se puede emplear el método de Richter, más bien se deberá tomar en cuenta la escala sismológica de magnitud del momento, la cual es más precisa para registros sísmicos de gran magnitud y fue propuesta por Thomas Hanks y Hiroo Kanamori en 1979; por lo tanto, no puede cuantificarse la magnitud del terremoto apropiadamente en la escala de Richter si supera los 6,9 grados.

Cuando ocurre el movimiento descrito en la sección anterior, se genera una liberación de energía a la que denominamos energía sísmica, la cual es propagada por las ondas sísmicas y es proporcional al cuadrado de sus amplitudes y, por tanto, la magnitud es proporcional al logaritmo de la energía (Vidal Villegas, 2013, p. 7).

### **2.2.14 Cinturón de Fuego del Pacífico**

Se lo conoce también por ser llamado como Anillo de Fuego del Pacífico, en el cual se presenta un 90% de actividad sísmica de todo el planeta y la actividad de volcanes; teniendo en cuenta que es uno de los fenómenos naturales que despiertan un mayor miedo a nivel mundial por su capacidad destructiva.

## 2.3 Catálogo Sísmico

Dentro de la tabla presentada a continuación, se detallan los diferentes eventos sísmicos que se han producido a lo largo de la historia dentro de la ciudad de Quito provincia de Pichincha. Un catálogo sísmico deberá de presentarse actualizado de acuerdo a la ocurrencia de dichos eventos, información que deberá ser obtenida de entidades encargadas del monitoreo del territorio o de cualquier otra fuente confiable. La información que se encuentra plasmada en el siguiente catálogo ha sido obtenida del portal oficial del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, se puede encontrar: catálogo homogeneizado de 1587-2011, catálogo 2012- actualidad y del informe de evento sísmicos del año 2022.

**Tabla 5.**

*Catálogo sísmico histórico*

FECHA	UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD	MAGNITUD	FUENTE	CATÁLOGO
3/21/1859	Nanegalito	0,02	-78,75	-10	7,2	IGEPN	IGEPN
3/1/1967	Lloa	-0,19	-78,58	119,4	5,8	EHB	ISC
4/1/1969	Alangasi	-0,32	-78,38	33	4	ISC	ISC
7/18/1970	Río Cinto	-0,23	-78,65	71	4,7	ISC	ISC
1/12/1980	Nono	-0,12	-78,61	126,9	4,7	ISC	ISC
11/23/1986	Conocoto	-0,25	-78,48	33	5,3	PDE	USGS-NEIC
4/11/1988	Atacazo	-0,3	-78,56	33	4	ISC	ISC
8/10/1990	Calderón	-0,04	-78,43	5	5,3	EPNrep	ISC
4/1/1991	C. Guillermo Miller	-0,23	-78,53	20,2	4,6	ISC	ISC
10/29/2011	Tababela	-0,13	-78,36	5,4	4,4	IGEPN	IGEPN
10/29/2011	Zambiza	-0,13	-78,4	5,53	4	IGEPN	IGEPN
8/12/2014	Calderón	-0,05	-78,42	6,08	5,1	IGEPN	IGEPN
8/16/2014	Calderón	-0,05	-78,42	6,04	3,8	IGEPN	IGEPN
3/15/2016	C. Alemania	-0,19	-78,49	8,29	4,3	IGEPN	IGEPN
8/8/2016	Puembo	-0,15	-78,37	6,39	4,8	IGEPN	IGEPN
9/4/2016	Puembo	-0,16	-78,36	5,82	4,7	IGEPN	IGEPN
12/8/2019	Pomasqui	-0,04	-78,44	9,66	4,3	IGEPN	IGEPN
11/23/2021	Puembo	-0,18	-78,39	12,2	4,6	IGEPN	IGEPN
4/16/2022	Puembo	-0,18	78,35	7,7	3,8	IGEPN	IGEPN

*Nota.* Se presentan los diferentes sismos suscitados a lo largo de la historia en la ciudad de Quito. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos del Instituto Geofísico EPN.

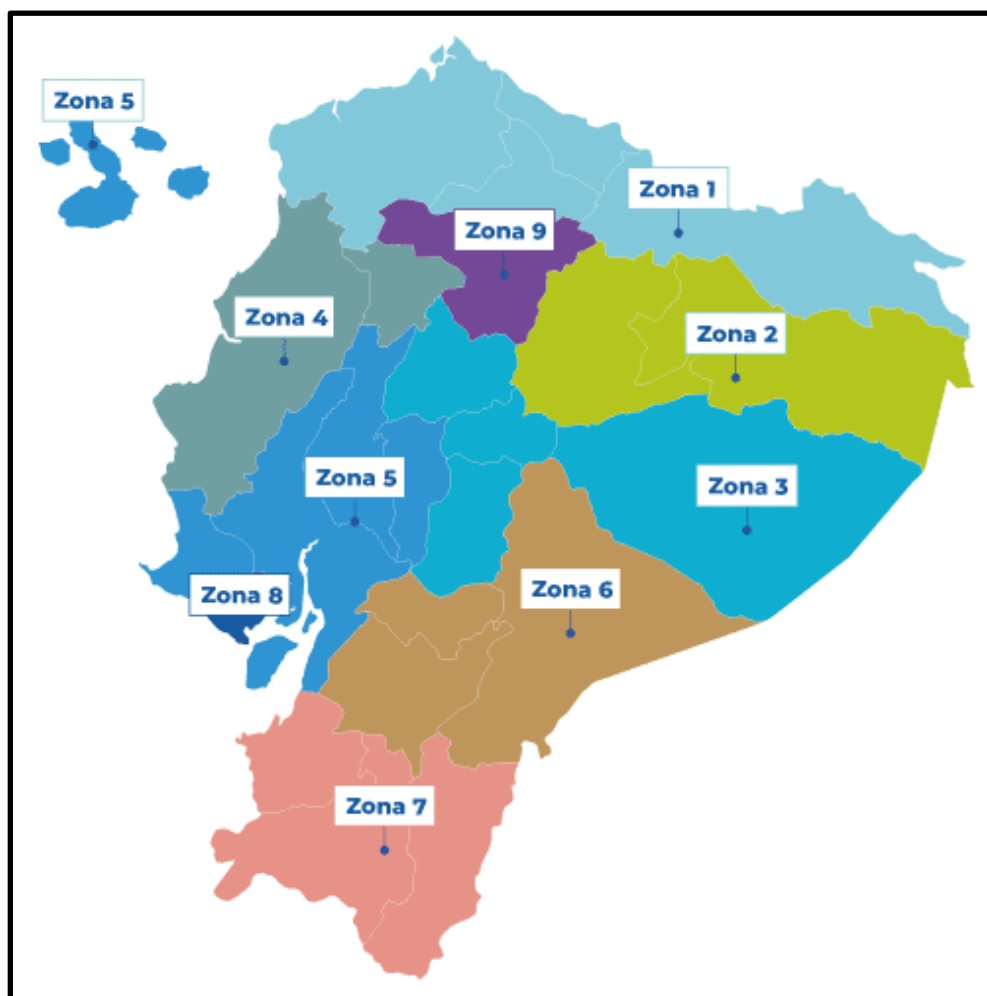
## 2.4 Conceptos de importancia para el análisis del programa “R-CRISIS”

### 2.4.1 Zonificación de Ecuador

Existen 9 regiones o zonas conformadas por diferentes provincias, la zonificación indica la división de un área geográfica en sectores heterogéneos conforme a ciertos criterios, como puede ser por su capacidad productiva, tipo de construcciones permitidas, intensidad de una amenaza y grado de riesgo (Ministerio de Educación, s.f.).

#### Figura 4.

*Zonificación de Ecuador*



*Nota.* Mapa del Ecuador con sus 9 zonas. Fuente: Ministerio de Educación. (s.f.).

**Tabla 6.**

*Zonificación de Ecuador*

<b>Zona</b>	<b>Ciudades</b>
<b>1</b>	Esmeraldas, Carchi, Imbabura y Sucumbíos
<b>2</b>	Pichincha, Napo y Orellana
<b>3</b>	Chimborazo, Tungurahua, Pastaza y Cotopaxi
<b>4</b>	Manabí, Galápagos y Santo Domingo de los Tsáchilas
<b>5</b>	Santa Elena, Guayas, Los Ríos y Bolívar
<b>6</b>	Cañar, Azuay y Morona Santiago
<b>7</b>	El Oro, Loja y Zamora Chinchipe
<b>8</b>	Guayaquil, Samborondón y Durán
<b>9</b>	Distrito Metropolitano de Quito

*Nota.* Se presentan las 9 zonas en las que está dividido Ecuador. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.

#### **2.4.2 Fuentes Sismogénicas**

Existen 3 tipos de fuentes sismogénicas en Ecuador las cuales se dividen en: Fuentes Interfase, Fuentes Corticales y Fuentes Intraplaca. Quinde & Reinoso (2016) plantean que en cada una de estas fuentes se lleva a cabo un proceso de acumulación y liberación de energía.

#### **2.4.2.1 Fuentes Interfase**

En esta zona de interfase, los sismos ocurren a una profundidad  $< 40$  km, corresponden a los sismos que se generan por el roce entre la placa de Nazca que subduce bajo la placa Sudamericana a lo largo de su zona de convergencia.

Esta zona sismogénica se origina a lo largo de la fosa colombo-ecuatoriana-peruana y penetra oblicuamente por debajo del Ecuador. Aquí se producen los mayores terremotos.

#### **2.4.2.2 Fuentes Corticales**

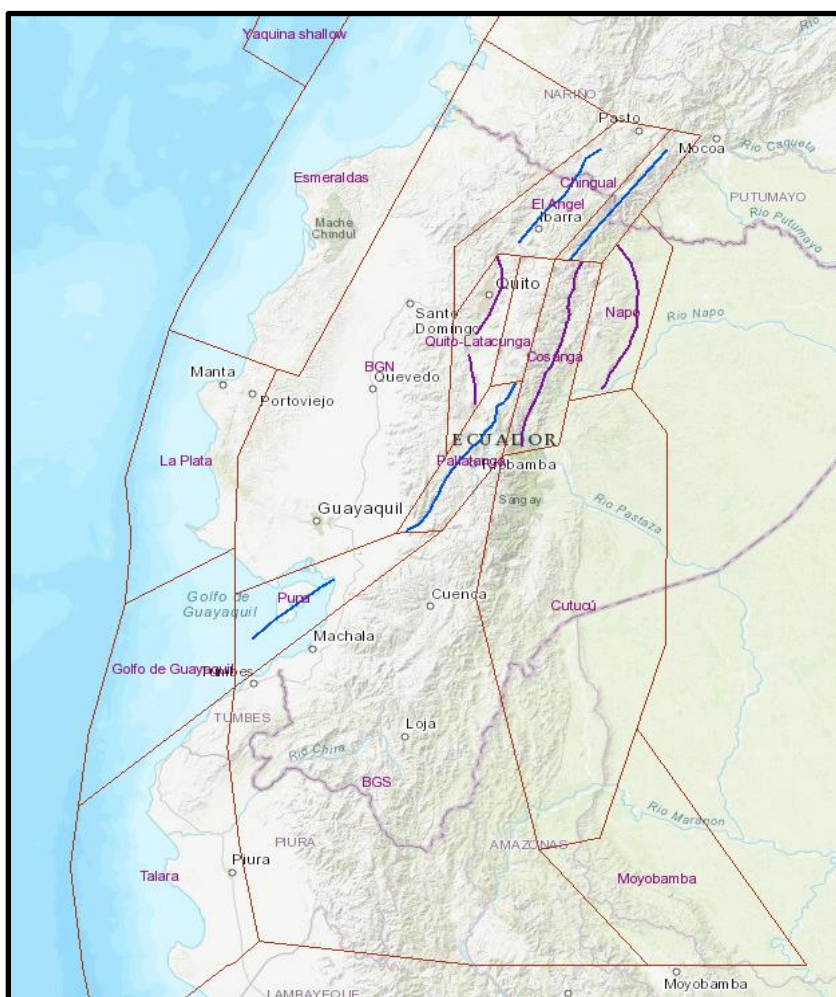
Los sismos corticales se presentan a una profundidad  $< 40$  km, corresponden a los sismos someros que ocurren dentro de la placa Sudamericana. Las fallas geológicas activas de la corteza continental marcan tres ambientes principales de deformación frágil como lo es:

1. El límite del bloque Norandino en contacto con la placa continental Sudamericana, muy activo, con sus segmentos de fallas transgresivas Chingual, Cosanga, Pallatanga y Puná.
2. La deformación interna del bloque Norandino está marcada por los sistemas de falla de El Angel y Quito-Latacunga.
3. El tectonismo activo de fallas y pliegues del subandino, como las fallas del levantamiento Napo y las del suroriente, como las de Cutucú.



**Figura 5.**

*Mapa con las fuentes de Interfase y Corticales de Ecuador*



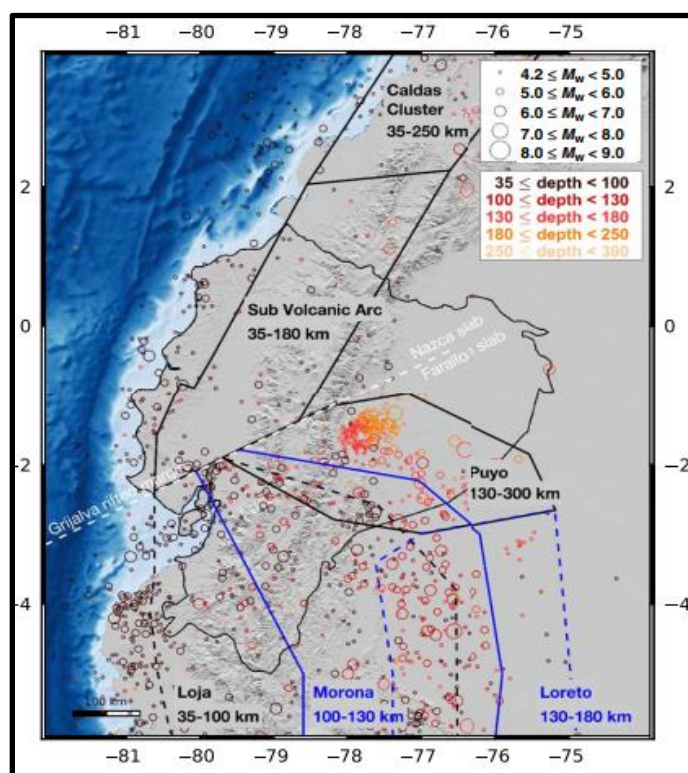
*Nota.* Mapa del Ecuador con las Fuentes Sismogénicas de Interface y Corticales. Fuente: Céline Beauval. (2021).

### **2.4.2.3 Fuentes Intraplaca**

Los sismos intraplaca ocurren a una profundidad entre 40 y 300 km, corresponden a los sismos de falla normal de profundidad intermedia, localizados dentro de la placa oceánica de Nazca que subduce bajo la placa continental Sudamericana, generando sismicidad de profundidad intermedia de características muy diferentes.

**Figura 6.**

*Mapa con las fuentes de Intraplaca de Ecuador*



*Nota.* Mapa del Ecuador con las Fuentes Sismogénicas de Interplaca. Fuente: (Yepes et al., 2016).

En este trabajo, utilizamos como referencia el trabajo realizado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, para modelar la geometría de las fuentes sísmicas de Ecuador en el programa “R-C”.

### **2.4.3 Relación entre magnitud y área de ruptura (parámetros K1 y K2)**

Es necesario conocer la definición de aquellos términos que definen la orientación de las fallas, con lo cual se puede llegar a clasificar cada una de acuerdo a su modelo de falla y por ende considerar los coeficientes K1, K2 respectivamente (Cronin, 2010).

**2.4.3.1 Strike:** Representa la dirección de la falla respecto al norte medida desde  $0^\circ$  a  $360^\circ$  de acuerdo a las manecillas del reloj.

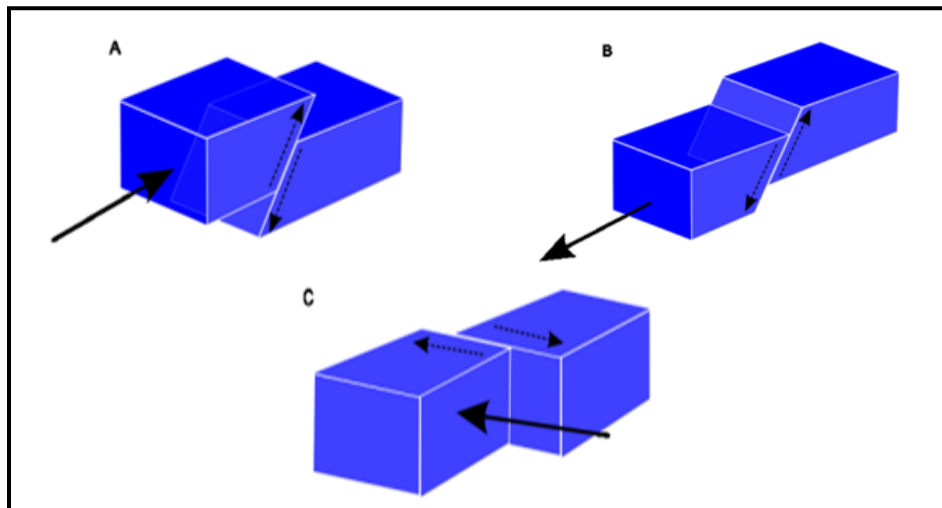
**2.4.3.2 Dip:** Se define como el ángulo producto de la falla dado en grados decimales de 0 a 90, en relación con la horizontal.

**2.4.3.3 Rake:** Es la dirección en la cual se mueve el bloque durante la ruptura, medida en relación con el rumbo de la falla (Strike) de entre  $-180$  y  $180$  grados decimales.

- a) **Rake  $< 0^\circ$ :** son fallas normales, las cuales se producen cuando la pared superior se mueve hacia abajo.
- b) **Rake  $> 0^\circ$ :** conocida como falla inversa, representa el movimiento hacia arriba del bloque superior.
- c) **Rake =  $0^\circ$  o  $180^\circ$ :** indica movimiento lateral del bloque superior, el cual puede ser izquierdo ( $0^\circ$ ) o derecho ( $180^\circ$ ).

### Figura 7.

*Tipos de fallas en base al Rake*



*Nota.* La figura muestra los diferentes modelos de falla que pueden producirse en base al ángulo de inclinación. Fuente: Es-academic.com (s.f.).

**2.4.3.4 K1 y K2:** Constantes que dependen del tipo de falla que se presente, R-Crisis proporciona valores referenciales para cada caso con diferentes autores, como se indica a continuación:

**Tabla 7.**

*Valores de K1 y K2 de acuerdo a los autores*

<b>Modelo</b>	<b>K1</b>	<b>K2</b>
Brune (1970)	0.00381	1.15130
Singh et al. (1980)	0.00564	1.15300
Wells and Coppersmith (1994) - Strike-slip	0.01100	1.03616
Wells and Coppersmith (1994) - Reverse	0.00571	1.12827
Wells and Coppersmith (1994) - Normal	0.02072	0.94406
Wells and Coppersmith (1994) - All	0.01015	1.04768

*Nota.* La figura muestra los diferentes valores proporcionados para las fuentes insertadas como área o tipo punto. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de Aguilar, et al. (2017).

**Tabla 8.***Modelos de fuentes sismogénicas*

<b>Fuente</b>	<b>Dip</b>	<b>Rake</b>	<b>Strike</b>	<b>K1, K2</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
Yaquina Shallow	20	180	90	Strike-Slip	Interfase
Esmeraldas	20	90	30	Reverse	Interfase
La Plata	20	90	12	Reverse	Interfase
Golfo de Guayaquil	12	90	0	Reverse	Interfase
Talara	12	90	0	Reverse	Interfase
BGN	90	180	30	Strike-Slip	Interfase
Puna	90	180	60	Strike-Slip	Cortical
BGS	90	180	30	Strike-Slip	Interfase
El Angel	90	180	35	Strike-Slip	Cortical
Chingual	90	180	35	Strike-Slip	Cortical
Napo	25	90	195	Reverse	Cortical Reverse
Cosanga	25	90	195	Reverse	Cortical Reverse
Quito-Latacunga	55	90	190	Reverse	Cortical Reverse
Pallatanga	90	180	30	Strike-Slip	Cortical
Cutucú	45	60	190	Reverse	Cortical Reverse
Moyobamba	25	90	160	Reverse	Cortical Reverse
Caldas Cluster	45	90	90	Reverse	Intraplaca
Sub Volcanic Arc	45	-90	80	Normal	Intraplaca
Loja	40	-90	330	Normal	Intraplaca
Loreto	40	-90	345	Normal	Intraplaca
Puyo	70	-90	310	Normal	Intraplaca
Morona Santiago	40	-90	335	Normal	Intraplaca

*Nota.* Contiene parámetros de ruptura de las fuentes sismogénicas del Ecuador. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de Improving earthquake forecast models for PSHA with geodetic data, applied on Ecuador.

**Tabla 9.***Modelos de Fallas*

<b>Falla</b>	<b>Dip</b>	<b>Rake</b>	<b>Strike</b>	<b>K1, K2</b>	<b>Tipo de Falla</b>
Napo	25	90	195	Reverse	Cortical Reverse
Chingual	90	180	35	Strike-Slip	Cortical
Pallatanga	90	180	30	Strike-Slip	Cortical
UIO 1	55	90	190	Reverse	Cortical Reverse
Cosanga	25	90	195	Reverse	Cortical Reverse
El Angel	90	180	35	Strike-Slip	Cortical
Puna	90	180	60	Strike-Slip	Cortical
UIO 2	55	90	190	Reverse	Cortical Reverse

*Nota.* Contiene parámetros de ruptura de modelos de falla de Ecuador. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de Improving earthquake forecast models for PSHA with geodetic data, applied on Ecuador.

**2.4.4 Ley de Gutenberg Richter**

Uno de los parámetros necesarios para llevar a cabo el análisis son los sismológicos, los cuales se obtienen a partir de fórmulas empíricas. Gonzales (2016) plantea que la ley de Gutenberg Richter es una expresión la cual permite determinar la relación Frecuencia - Magnitud debida a los movimientos sísmicos de un sitio en específico, es decir la frecuencia con la cual ocurren sismos de cierta magnitud. Dicho valor se obtiene de la siguiente expresión:

$$\log N = a - b * M$$

**Donde:**

**M:** Magnitud

**N:** Número de sismos ocurridos en un año de magnitud igual o mayor que la magnitud M.

**a, b:** Constantes determinadas por la naturaleza propia de cada fuente.

Además, la ecuación antes mencionada también podría expresarse de 2 maneras diferentes:

$$\lambda(M) = 10^{a-b*M}$$

$$\lambda(M) = e^{\alpha-\beta*M}$$

La obtención de parámetros sismológicos muchas de las veces se dificultan por la falta de información, por lo cual se hace necesario aplicar nuevos mecanismos. Según Gonzales (2016):

Parece ser que debido a esta problemática y en busca de una solución se emplea una relación, la cual se gráfica en escala semilogarítmica como una línea con una intercepción en el eje  $a$  y con una pendiente  $b$ . Las líneas se pueden derivar de una combinación de datos sismológicos. El uso de la relación de Gutenberg-Richter implica que las magnitudes se distribuyen de manera exponencial. (p. 14)

Gracias a dicha aplicación se da paso a nuevos términos, con lo cual se facilita la determinación de las variables de cada fuente sismogénica que se desee analizar.

$$N = \lambda(M)$$

$$\alpha = \ln(10) * a$$

$$\beta = \ln(10) * b$$

**Donde:**

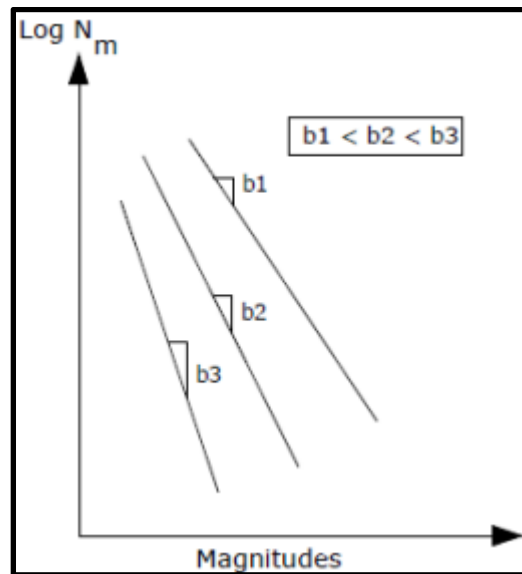
**N:** Número de sismos que podrían ser mayores o iguales a M.

**$\alpha$ :** Parámetros relacionado con el número acumulado de sismos ocurridos dentro de un área.

**$\beta$ :** Indica la proporción entre terremotos de magnitud grande y pequeña ocurridos en cada fuente.

## Figura 8.

*Relación de Gutenberg-Richter*



*Nota.* La figura muestra mediante escala semilogarítmica tres líneas con diferente factor  $b$ , lo que significa que mientras mayor sea este coeficiente, menor es la probabilidad de que ocurran sismos de grandes magnitudes. Fuente: Gonzales (2016).

### 2.4.5 Sismicidad de Focos

El punto de origen de un sismo se conoce como hipocentro, fuente o foco, y siempre se encuentra a cierta profundidad con respecto a la superficie de la Tierra.

#### 2.4.5.1 Foco Superficial

Se presentan los terremotos cuyo foco se producen hasta los 70 kilómetros de profundidad, generalmente este tipo de terremotos superficiales son los que causan más daños materiales, ya que tienen un impacto más directo con la superficie terrestre, se presentan con más eventualidad y generalmente el hipocentro se ubica entre los 10 y 25 kilómetros de profundidad.



#### **2.4.5.2 Foco Intermedio**

Este tipo de foco ocurre a una profundidad entre 70 y 300 kilómetros de profundidad.

#### **2.4.5.3 Foco Profundo**

Los eventos sísmicos que se pueden presentar en este tipo de foco profundo están fuera de los límites de la litósfera, a más de 300 kilómetros de profundidad desde la superficie terrestre. Son inapreciables debido a la gran profundidad en la que se producen, no se producen frecuentemente, disminuyen drásticamente cuando el foco se encuentra bajo los 650 kilómetros.

#### **2.4.6 Parámetros Sismológicos**

Ecuador cuenta con 22 fuentes sismogénicas de las cuales se tiene registro de algunos parámetros sismológicos. Marinier (2020) plantean que se obtuvo un conjunto de parámetros de recurrencia (valores a y b) de varios catálogos sísmicos lo que arroja tres alternativas de cada fuente, de las cuales se selecciona las que contribuyen significativamente al peligro en Ecuador.

En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos del catálogo BSSA2013:

**Tabla 10.**

*Parámetros del modelo de recurrencia GR e información complementaria para cada zona de origen (según el catálogo BSSA2013)*

Zone	a	b	$\lambda_{Mw \geq 4.5}$	Mo for GR	Number of Events >Mo	$M_{maxobs}$	$M_{max}$	Depth Range
Cosanga	2.7701	0.71	0.3866	4.8	13	7.1	7.8	0-35*
Moyobamba	4.4484	0.98	1.082	4.8	28	6.9	7.7	0-35*
Cutucu	5.4443	1.17	1.436	4.5	69	7	7.8	0-35*
Chingual	3.0831	0.98	0.046	4.2	3	7.4	7.6	0-35*
Napo	3.4369	0.98	0.106	4.5	5	5.6	7.8	0-35*
Pallatanga	2.8012	0.73	0.341	4.5	18	7.6	7.9	0-35*
Quito-Latacunga	2.6797	0.7	0.336	4.5	17	6.4	7.3	0-35*
Puna	3.5830	0.98	0.149	4.5	7	5.2	7.5	0-35*
El Angel	3.4503	0.98	0.127	4.5	9	7.2	7.7	0-35*
Yaquina Shallow	6.7516	1.39	3.012	4.8	55	6.1	6.6	0-50*
Esmeraldas	4.0002	0.81	2.341	4.8	74	8.8 (8.4)	8.8	3-50*
La Plata	3.5598	0.80	0.915	4.5	46	6.7	8.0	3-40*
Golfo de Guayaquil	3.4765	0.84	0.492	4.5	25	7.5	7.8	3-40*
Talara	4.3639	0.91	1.916	4.8	53	7.1	8.2	3-40*
Loja	6.8273	1.33	6.718	4.8	130	7.2	7.7	35-100*
Morona Santiago	4.4742	0.89	2.958	4.8	84	7.3	7.8	100-130*
Puyo	5.3015	1.05	3.6	4.8	88	7.5	8.0	130-300*
Sub Volcanic Arc	5.0710	1.11	1.141	4.5	55	6.7	7.2	35-180*
Caldas Cluster	4.7058	1.05	0.987	4.8	24	6.7	7.2	35-250*
Loreto	7.3757	1.62	1.279	4.8	20	7.5	8.0	130-180*
BGN	4.5245	1.09	0.428	4.8	10	6.4	7.0	0-35*
BGS	4.5428	1.04	0.697	4.5	36	7.2	7.5	0-35*

*Nota.* Se presentan las fuentes sismogénicas de Ecuador con sus respectivos parámetros sismológicos, donde los valores a y b obtenidos a partir del modelo Gutenberg–Richter (GR) utilizando el catálogo BSSA2013,  $\lambda_{Mw}$  que es un valor referente para sismos de magnitud mayores a 4.5, Mo es la magnitud mínima utilizada en la distribución de Magnitud-Frecuencia, número de eventos ocurridos dentro del periodo evaluado, magnitud máxima observada y magnitud máxima que limita el modelo de recurrencia. Elaborado por: Las Autoras con datos de Marinieri (2020).

Además, en base a lo antes mencionado y tomando como punto de partida los datos empíricos existentes se logra obtener el parámetro “ $\beta$ ”, el cual solicita el programa ingresar en conjuntos con los demás datos que se detallan a continuación. Para llegar a dicho valor se aplica la fórmula  $\beta = \ln(10) * b$  la cual se precisa en la parte teórica de la ley de Gutenberg Richter.

**Tabla 11.**

*Parámetros sismológicos de las fuentes requeridas por el Software R-CRISIS (según el catálogo BSSA2013)*

<b>Fuente</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Mmin</b>	<b>Mmax</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>\beta</math></b>
Yaquina Shallow	6.7516	1.39	4.8	6.6	3.012	3.2006
Esmeraldas	4.0002	0.81	4.8	8.8	2.341	1.8651
La Plata	3.5598	0.8	4.5	8	0.915	1.8421
Golfo de Guayaquil	3.4765	0.84	4.5	7.8	0.492	1.9342
Talara	4.3639	0.91	4.8	8.2	1.916	2.0954
BGN	4.5245	1.09	4.8	7	0.428	2.5098
Puná	3.583	0.98	4.5	7.5	0.149	2.2565
BGS	4.5428	1.04	4.5	7.5	0.697	2.3947
El Angel	3.4503	0.98	4.5	7.7	0.127	2.2565
Chingual	3.0831	0.98	4.2	7.6	0.046	2.2565
Napo	3.4369	0.98	4.5	7.8	0.106	2.2565
Cosanga	2.7701	0.71	4.8	7.8	0.3866	1.6348
Quito-Latacunga	2.6797	0.7	4.5	7.3	0.336	1.6118
Pallatanga	2.8012	0.73	4.5	7.9	0.341	1.6809
Cutucú	5.4443	1.17	4.5	7.8	1.436	2.6940
Moyobamba	4.4484	0.98	4.8	7.7	1.082	2.2565
Caldas Cluster	4.7058	1.05	4.8	7.2	0.987	2.4177
Sub Volcanic Arc	5.071	1.11	4.5	7.2	1.141	2.5559
Loja	6.8273	1.33	4.8	7.7	6.718	3.0624
Loreto	7.3757	1.62	4.8	8	1.279	3.7302
Puyo	5.3015	1.05	4.8	8	3.6	2.4177
Morona Santiago	4.4742	0.89	4.8	7.8	2.958	2.0493

*Nota.* Contiene valores obtenidos a partir de la tabla 3, así como el coeficiente  $\beta$  de cada fuente. Elaborado por: Las Autoras con datos del catálogo BSSA2013.

**Tabla 12.***Parámetros sismológicos requeridos por el Software R-CRISIS de las fallas de Ecuador*

<b>Falla</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>Mmin</b>	<b>Mmax</b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b><math>\beta</math></b>
Napo	3.4369	0.98	4.5	7.8	0.106	2.2565
Chingual	3.0831	0.98	4.2	7.6	0.046	2.2565
Pallatanga	2.8012	0.73	4.5	7.9	0.341	1.6809
UIO 1	2.6797	0.7	4.5	7.3	0.336	1.6118
Cosanga	2.7701	0.71	4.8	7.8	0.3866	1.6348
El Angel	3.4503	0.98	4.5	7.7	0.127	2.2565
Puna	3.583	0.98	4.5	7.5	0.149	2.2565
UIO 2	2.6797	0.7	4.5	7.3	0.336	1.6118

*Nota.* Contiene valores obtenidos a partir de la tabla 3, así como el coeficiente  $\beta$  de cada

modelo de falla. Elaborado por: Las Autoras con datos del catálogo BSSA2013.

#### **2.4.7 Ley de Atenuación**

Se presentan debido a las aceleraciones que se puede presentar el suelo, para ser utilizados en estudios de peligrosidad sísmica. Se puede determinar que una ley de atenuación es la capacidad del terreno para amortiguar el movimiento generado por las ondas sísmicas conforme éstas se alejan del foco sísmico, por ello es entendible aceptar que cuando se produce un sismo, mientras más lejos se está del epicentro la intensidad del movimiento disminuye, a esto se denomina atenuación del movimiento del suelo. Estas leyes son el resultado de análisis estadísticos de diferentes datos de movimientos del suelo que se presentan en incomparables terremotos y son específicas para cada región.

Para la realización del ejercicio utilizaremos la Ley de Zhao (2006) para los sismos en la zona de subducción y en la corteza superficial, aunque existen un sin número de autores utilizaremos el mismo autor para el ejercicio aplicado.

Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (2011) plantea que para representar la incertidumbre relacionada con la predicción del sacudimiento del suelo se utilizan tres sets de modelos reconocidos y probados de atenuación en función del ambiente geodinámico de las fuentes.

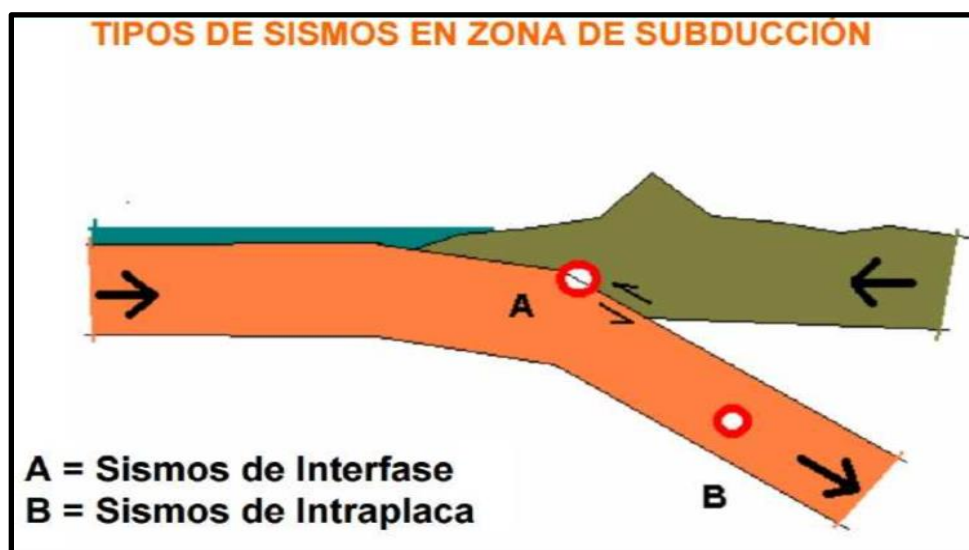
#### **2.4.7.1 Zona de Subducción**

En esta zona los sismos ocurren debido a la acumulación de esfuerzos compresivos entre la placa Nazca y la placa Sudamericana, ya que supera el contacto que mantiene unidas a las placas y permiten el libre movimiento, la convergencia relativa entre las placas es de 6 cm/año. Según Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional (2011):

Debemos recordar que la zona de subducción ecuatoriana es la fuente de los sismos más grandes que se han registrado en el país, entre los que se puede mencionar al gran terremoto del 31 de enero de 1906 con una magnitud de 8.8, al sismo del 14 de mayo de 1942 con una magnitud de 7.6, al sismo del 19 de enero de 1958 con una magnitud de 7.7 y al sismo del 12 de diciembre de 1979 con una magnitud de 8.2. (p. 1)

## Figura 9.

*Tipos de sismos en zona de subducción*



*Nota.* La figura representa los 2 tipos de sismos que ocurren en la zona de subducción los cuales son sismos de interfase y sismos de intraplaca. Fuente: Library.com (s.f.).

### 2.4.7.1.1 Fuentes de Intraplaca:

Existen diferentes leyes de atenuación para utilizar en este tipo de fuente los cuales son:

- Abrahamson et al. 2016, cuyo trabajo es el estándar de la industria y que actualiza muchas ecuaciones de atenuación anteriores
- Montalva et al. 2017 se basa en datos chilenos y algunos peruanos que reflejan el ambiente interplaca de Nazca y Sudamérica utilizando la misma forma funcional que Abrahamson.
- Zhao et al. 2006 que fue acertadamente probado en comparaciones de sus predicciones contra registros reales de terremotos. Cabe mencionar que aún

no se habían utilizado de manera extensa las nuevas ecuaciones presentadas por los mismos autores en 2016, por lo que aún no habían tenido la experiencia y confianza suficiente como para aplicarlas a la fecha de la realización de los cálculos. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. [IGEPN] (2022, 14 de diciembre).

#### **2.4.7.1.2 Fuentes de Interfase:**

Los mismos modelos de atenuación escogidos para las fuentes de intraplaca desarrollan ecuaciones específicas para el ambiente de interfase que serán usados aquí. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. [IGEPN] (2022, 14 de diciembre).

#### **2.4.7.2 Zona de Corteza Superficial**

Se producen por la convergencia de placas a bajas profundidades.

La tasa promedio de movimiento se estima entre 8 a 10 mm/año. Históricamente ha sido el origen de sismos muy importantes como: 1797 Riobamba, Mw estimada 7.6, Pelileo 1949, Salado Reventador 1987, Mw 7.1. A parte de este sistema principal, en la zona interandina, desde Ambato hacia el norte, se desarrollan varios sistemas de fallas caracterizadas por una fuerte componente compresiva, que se manifiesta morfológicamente con pliegues en crecimiento. Alvarado et al. (2014).

**Figura 10.**

*Tipos de sismos en zona de subducción y de corteza superficial*



*Nota.* La figura representa los 3 tipos de sismos que ocurren en la zona de subducción y en la corteza superficial, los cuales son sismos de interfase, intraplaca y sismos corticales.

Fuente: Library.com (s.f.).

#### **2.4.7.2.1 Fuentes Corticales:**

Para este tipo de sismos los autores Akkar, Zhao, Chiou y Youngs han desarrollado relaciones de atenuación para sismos que se originan en la corteza superficial.

- Akkar et al. 2014 que recoge los registros corticales del Mediterráneo y Oriente Medio con fallas transcurrentes y transgresivas.
- Chiou y Youngs 2014, basado en datos del Oeste de los Estados Unidos y otros a nivel global, que permite el uso de factores de bloque levantado para su aplicación en las fallas inversas del Callejón Interandino.



- Zhao et al. 2006 porque fue desarrollado con registros en un ambiente volcánico como el japonés, de tectónica compresiva, similar al nuestro en la Cordillera de los Andes. Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. [IGEPN] (2022, 14 de diciembre).

#### **2.4.8 Ley de atenuación de Zhao (2006)**

Propuso una ley de atenuación para zonas de subducción de sismos de interfase e intraplaca y para zonas de corteza superficial de sismos corticales y corticales inversos, utilizando datos de sismos registrados en Ecuador. Existen distintas clasificaciones de sitio: roca dura, roca, suelo duro, suelo medio y suelo suelto.

Es un modelo de predicción del movimiento sísmico, incluyen efectos de sitio, mecanismos de falla principalmente por subducción; interfase e intraplaca, y registros de origen cortical. Para los eventos de subducción tipo intraplaca, se emplea un factor de modificación de distancia simple para lograr una predicción plausible e imparcial. El modelo incluye efectos de la profundidad, el tipo de fuente tectónica y el mecanismo de falla. (Cañizares Ortega, 2017, p. 95)

Siendo estos varios de los fines que nos llevaron a utilizar la misma ley de atenuación para las 3 fuentes que se presentan en Ecuador.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

El riesgo que produce la actividad sísmica sobre zonas con gran población como así también de estructuras, han derivado en la necesidad de buscar mecanismo que ayuden a determinar un modelo sísmico para con ello llevar a cabo la determinación del peligro probabilístico que ocasiona. Para lo cual se propone la elaboración de un manual que permita al usuario tener la facilidad de utilizar un programa, con lo cual se espera incentivar su aplicación dentro del país. Para el caso de estudio del siguiente proyecto se emplearán datos sismológicos de la ciudad de Quito, los cuales son información de sismicidad histórica, conocimiento acerca de las fuentes sísmicas que influyen en el área de análisis, parámetros necesarios para su análisis; los cuales serán aportados gracias a base de datos con la cual cuenta el Instituto Geofísico-EPN.

Por lo tanto, el siguiente proyecto se basará en la investigación documental, la cual tiene como finalidad la recolección de información tanto del software a emplearse como de la zona y acorde a lo expuesto anteriormente es precisamente lo que se llevará a cabo para lograr elaborar un correcto manual de manejo del mismo.

#### **3.1. Investigación Documental**

Según Arias (2012), “La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos” (p.27). Este tipo de investigación es adecuado, ya que es

necesario recabar información existente de fuentes sismológicas del país y demás datos necesarios para llevar a cabo el desarrollo del proyecto con ayuda del software R-CRISIS.

### **3.2 Investigación Explicativa**

Además, utilizaremos la investigación explicativa cuyo propósito principal es detectar los motivos o las razones por las cuales ocurren ciertos fenómenos, con toda esta información redactamos un manual de usuario que permita utilizar de manera correcta el mencionado programa.

### **3.3 Investigación Académica**

La investigación académica, según Calduch (2018) nos dice que: va dirigida a especialistas de una disciplina específica y por lo tanto desde el punto de vista metodológico y formal debe cumplir con los requisitos establecidos en el ámbito académico.

Los tipos de investigaciones que se llevarán a cabo para presentar el proyecto de titulación, serán documental, explicativa y académica. Utilizándolos así de una manera más amplia para la descripción de conceptos o fenómenos físicos que se puedan presentar.

### **3.4 Método**

#### **3.4.1 Método Histórico-Comparativo**

La metodología implementada en el presente proyecto será Histórico-Comparativo, sigue un procedimiento de investigación y esclarecimiento de los fenómenos que se han presentado para establecer la semejanza de dichos fenómenos, su particularidad característica, como punto de partida el restablecimiento y la comparación de elementos, comunes a distintas esferas de la cultura material y del saber. Contribuyeron poderosamente a elaborar este método Wilhelm von *Humboldt* y, sobre todo, *Comte*.

### **3.4.2 Método Cualitativo**

Además de considerarse que dentro de los métodos aplicados al proyecto se encuentra el cualitativo que no es más que saber interpretar la información recabada, al ser un método abierto y flexible, lo que quiere decir, aunque se tenga un contexto inicial este puede ser modificado o reformulado, con nueva información relevante a medida que la investigación avance.

### **3.5. Técnica de Recolección de Información**

La técnica a emplearse dentro del proyecto será la recopilación documental la cual se basa en recabar información existente, dicha técnica es considerada dentro de los métodos cualitativos, consiste en recopilar información de diferentes fuentes que son de interés para la investigación como son: libros digitales, tesis, maestrías, artículos y revistas científicas.

“La recolección de datos es el paso siguiente después de haber seleccionado la muestra indicada para resolver el problema de estudio y va encaminada con la hipótesis. Es por ello necesario seguir una serie de procedimientos para poder reunir los datos que se desea encontrar” (UAEM, Facultad de Economía, 2018, p.3).

### **3.6. Proceso Técnico de Ingeniería Civil**

Se indaga y selecciona información recabada de fuentes confiables que permita tener un punto de partida, en cuanto a lo que se refiere a la actividad sísmica de la zona como datos relevantes del software que será empleado para la puesta en práctica del manual. En el caso del programa “R-CRISIS” será de gran utilidad la información brindada por partes de sus creadores, como de documentos fuentes tipo tesis, revistas científicas y demás documentos que aporten en la elaboración del manual de usuario.

Se definen los parámetros que requiere el programa para su puesta en práctica, dentro de los cuales están: información de la zona de estudio (mapa de la región extensión .shp; coordenadas de la ciudad en extensión .asc; geometría de cada una de las fuentes sísmicas: longitud, latitud y profundidad) e información de la sismicidad (parámetros sísmológicos de cada fuente: magnitud mínima y máxima, valor esperado " $\beta$ ", el cual se calcula con una fórmula que lleva las constantes determinadas por la naturaleza de cada fuente; parámetros globales: máxima distancia estimada para la ocurrencia del sismo; periodos de retorno sujetos al cálculo del peligro sísmico; distancia más cercana al área de ruptura y leyes de atenuación).

Una vez ingresados los requerimientos solicitados en el software y posteriormente ejecutado, se da paso a la obtención de la curva de peligro sísmico que no es más que, la representación de la tasa de excedencia de la aceleración espectral; como también se tiene los espectros de peligro uniforme para los diferentes periodos asumidos, lo cual es el resultado de la combinación de diferentes curvas de peligro sísmicas, por consiguiente una vez obtenidos dichos valores se podrá realizar el análisis comparativo en conjunto con la normativa ecuatoriana de diseño sísmo resistente NEC-SE-DS, Sección 3.1. Zonificación sísmica y curvas de peligro sísmico, donde:

Según NEC-SE-DS (2015): Dentro del mapa de zonificación sísmica se encuentran las aceleraciones máximas proyectadas para distintas zonas de análisis, el cual está dado para un 10% de excedencia en 50 años es decir para un periodo de retorno de 475 años. Gracias al programa se puede dejar atrás el análisis manual, el cual exige la interpolación de la tasa de excedencia anual para diferentes intensidades y periodos evaluados, que en conjunto con la aceleración espectral de las curvas de peligro sísmico da paso a la obtención de los

espectros de peligro uniforme. Sin embargo, como se mencionó anteriormente con la aplicación del software “R-CRISIS” la obtención de dichos espectros se realiza de forma inmediata para los diferentes periodos de retorno que se deseen evaluar.

Finalmente, se procede a la elaboración del manual de usuario, donde se redactará de forma clara y concisa el procedimiento a llevar para la evaluación del peligro sísmico de la zona que el usuario así desee, para caso de prueba se emplearán los datos previamente identificados y determinados anteriormente de la ciudad de Quito.

Guía que deberá presentar en su formato el paso a paso desde, que se ingresen los datos de entrada, su ejecución y posterior presentación de resultados, con lo cual se busca motivar a su aplicación dentro del medio local y que además sirva de material de apoyo para futuros ingenieros civiles, ingenieras civiles, investigadores que deseen poner en práctica dicho análisis sin requerir de gran conocimiento acerca del programa “R-CRISIS”.

Las metodologías explicadas en el presente proyecto de titulación junto con el manual de usuario han sido desarrolladas para la versión que se encuentra disponible en la página web <http://www.r-crisis.com/download/binaries/>, se encuentra gratis la descarga del programa “R-CRISIS”.

## **CAPÍTULO IV**

### **MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA “R-CRISIS” APLICADO A LA CIUDAD DE QUITO**

La realización de dicho manual se debe al escaso conocimiento que se tiene acerca del programa, al ser un programa de origen mexicano su aplicación en nuestro país no se ha visto dada en ningún análisis o estudio que realiza la entidad principal encargada que en este caso sería el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Dicho lo anterior, se menciona además que su finalidad será brindar una herramienta que permita al usuario una guía práctica y fácil de entender, de tal manera que su aplicación especialmente dentro del país sea más concurrida.

Sin duda alguna es un mecanismo que facilita el manejo del programa R-CRISIS, para quienes desean poner en práctica un nuevo método de análisis sísmico. Siendo un aporte para el desarrollo auto educativo de todo tipo de usuario que desee acceder al mismo. Cabe recalcar que para su elaboración se llevará a cabo mediante un ejemplo demostrativo tal y como se presenta a continuación, con lo cual se prevé garantizar que los pasos que se presenten en el manual estén dados de forma sucesiva sin omitir detalles que puedan perjudicar en su ejecución.

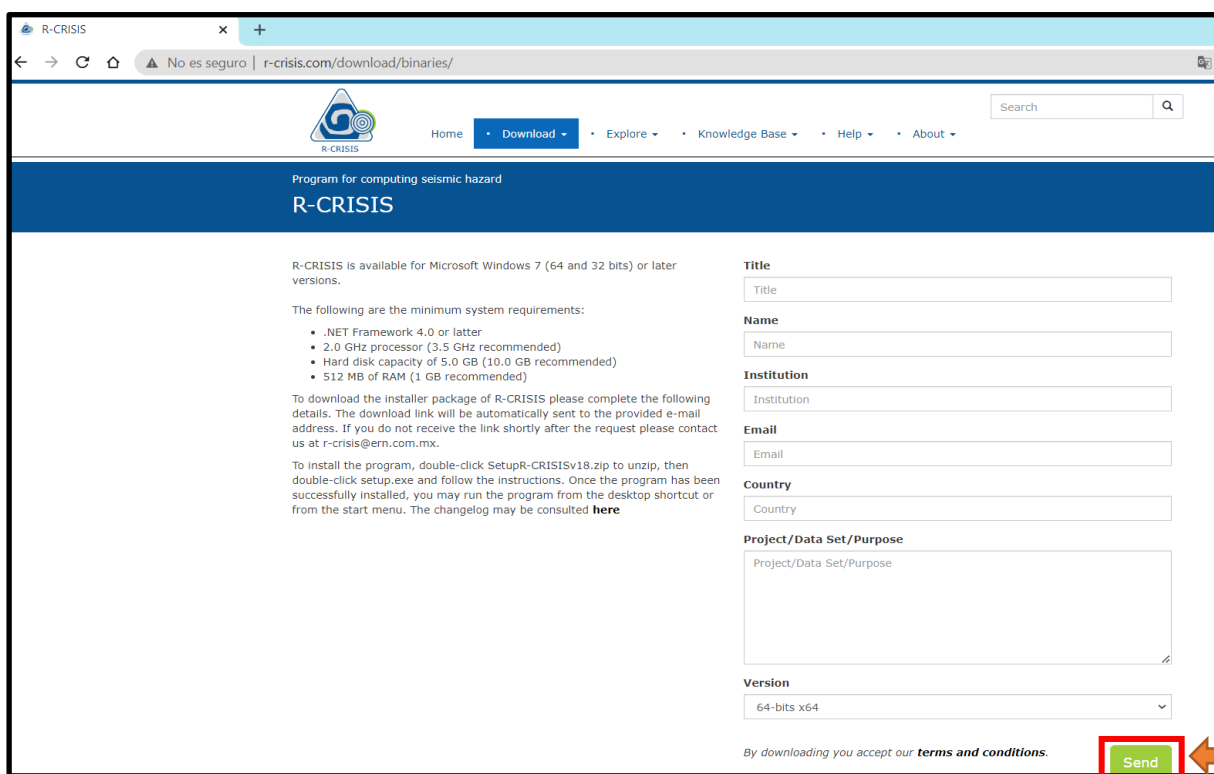
## 4.1 Anexo del manual de usuario y ejemplo de uso del programa R-CRISIS

### PASO 1

Ingresar al siguiente link <http://www.r-crisis.com/download/binaries/> para descargar el programa R-CRISIS en su ordenador.

### Figura 11.

*Sitio web para acceso a la descarga del programa R-CRISIS*



The screenshot shows a web browser window with the URL <http://www.r-crisis.com/download/binaries/>. The page header includes the R-CRISIS logo and navigation links: Home, Download, Explore, Knowledge Base, Help, and About. The main content area is titled "Program for computing seismic hazard" and "R-CRISIS". It provides information about system requirements and download instructions. On the right side, there is a form with the following fields: Title, Name, Institution, Email, Country, Project/Data Set/Purpose, and Version. A "Send" button is located at the bottom right of the form, highlighted with a red box and pointed to by an orange arrow. Below the form, there is a note: "By downloading you accept our [terms and conditions](#)."

*Nota.* Se muestra la ventana de descarga el software, donde debe ingresar los datos que en la misma se indican, seguido dar clic en send (cuadro rojo) de manera que empieza el proceso de descarga; Dicho documento se presenta como una carpeta comprimida, se ejecuta como administrador y posteriormente se podrá visualizar el ícono de la aplicación. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.



## PASO 2

Una vez realizada la descarga se procede a iniciar la ejecución del programa, verificando que sea la versión 20.3.0.

### Figura 12.

*Ventana inicial del programa*



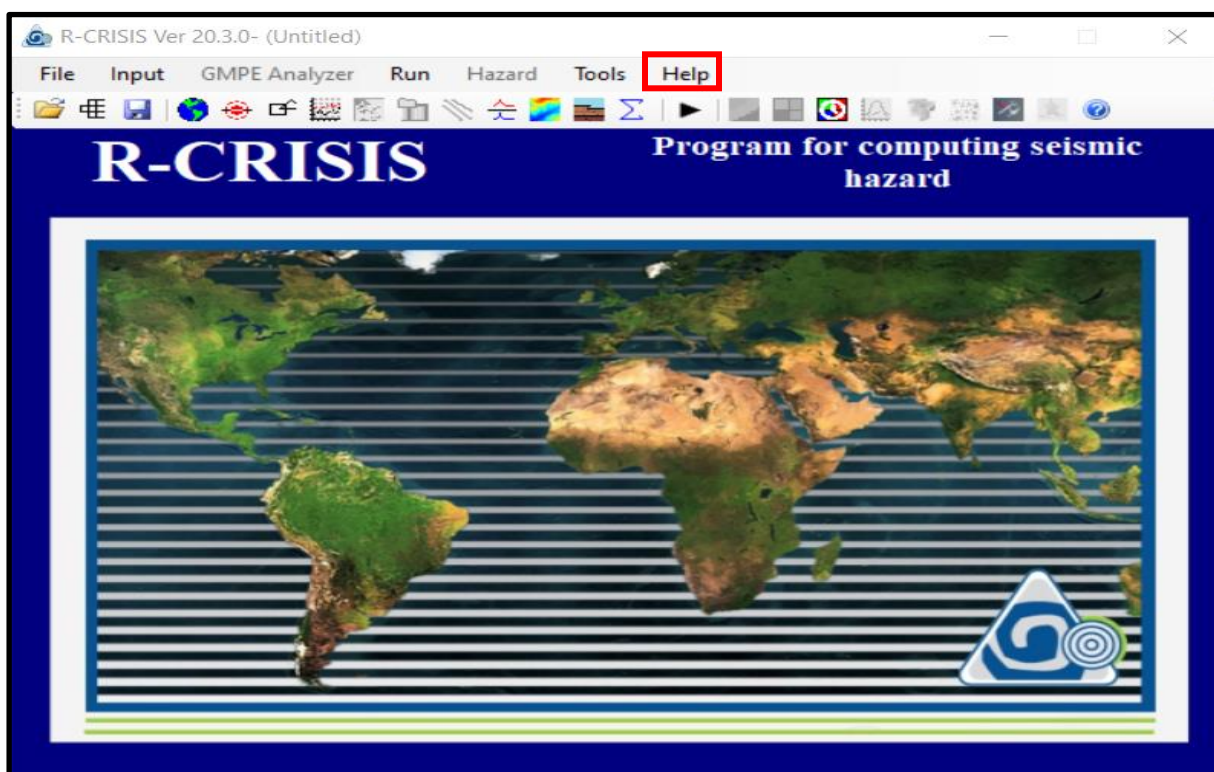
*Nota.* Indica el inicio para acceder a R-CRISIS, de manera que se debe seleccionar la opción Ok (cuadro rojo) para ingresar a la ventana principal del programa. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

### PASO 3

A continuación, se evidencia la pantalla principal del programa con su respectiva barra de tareas, adicionalmente cuenta con un manual de ayuda help (cuadro rojo) que contiene indicaciones importantes a considerar al momento de ingresar un modelo.

**Figura 13.**

*Ventana principal del programa*



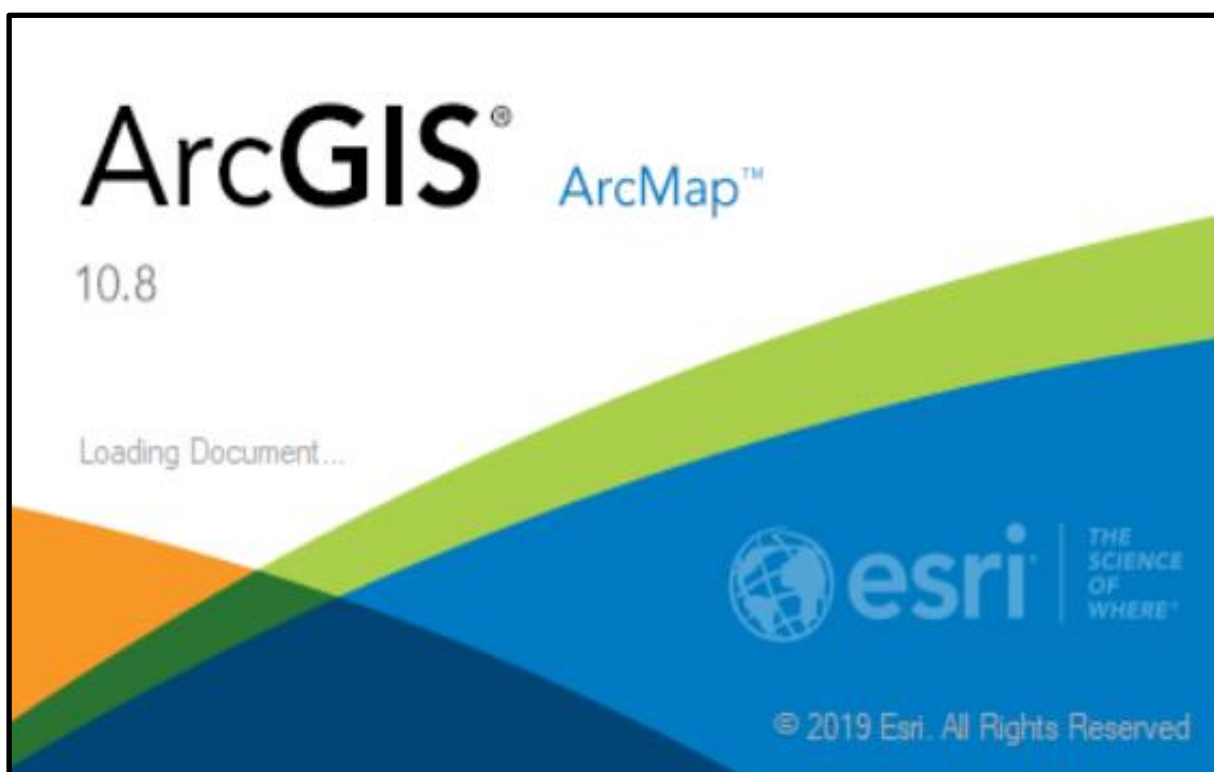
*Nota.* Reconocimiento de los comandos con los que cuenta el programa, destacando file (permite abrir o crear un modelo), input (ingreso de la data), run (ejecuta el modelo) y finalmente hazard (obtención del mapa de amenaza sísmica). Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

#### **PASO 4**

Además del programa R-CRISIS será necesario utilizar el software ArcGIS, de donde se obtendrá el mapa del sitio de análisis en formato .shp para dar inicio en la ejecución del programa antes mencionado, el cual requiere como paso principal dicho mapa, utilizamos la versión 10.8.

#### **Figura 14.**

*Ventana del software ArcGIS*



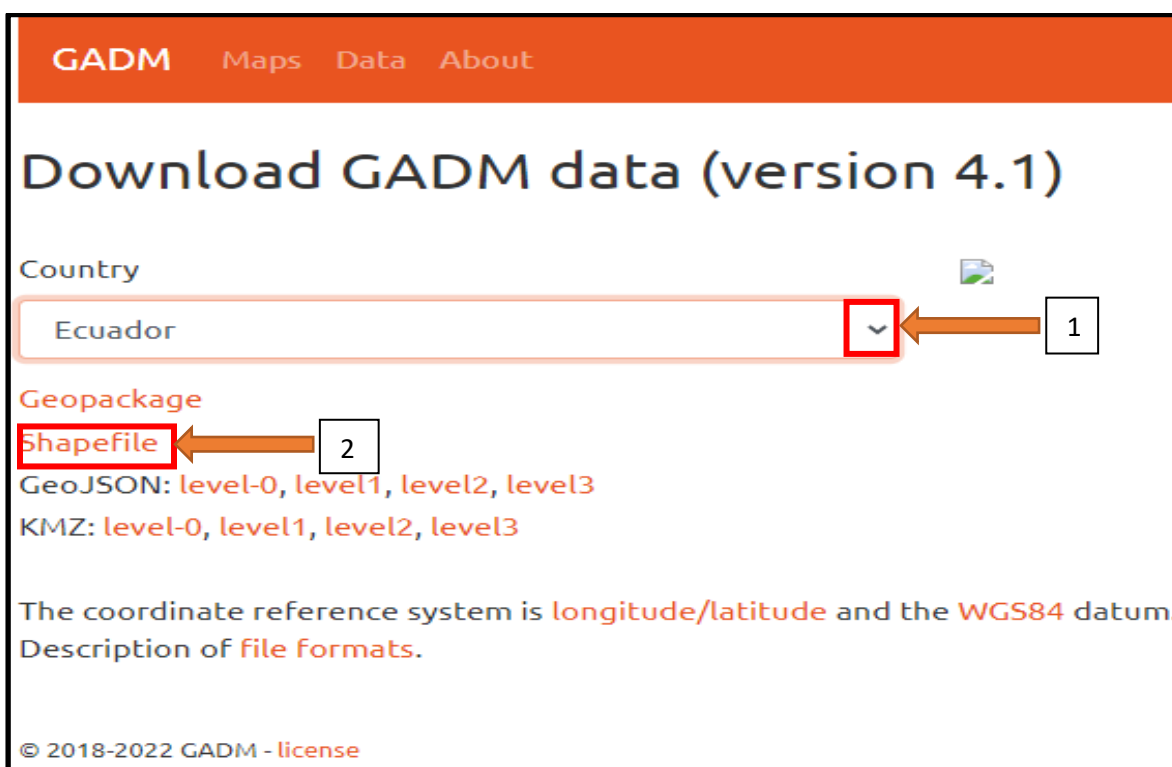
*Nota.* La versión del software empleado es 10.8, cabe recalcar que este paso puede ser omitido siempre y cuando el shapefile a utilizar sea correctamente identificado. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de ArcGIS.

## PASO 5

Para la obtención del shapefile requerido se deberá acceder al siguiente link: [https://gadm.org/download\\_country.html](https://gadm.org/download_country.html). Esta página permite extraer los formatos .shp de cualquier parte del mundo, haciendo más factible y didáctico el proceso a seguir.

### Figura 15.

Ventana de GADM

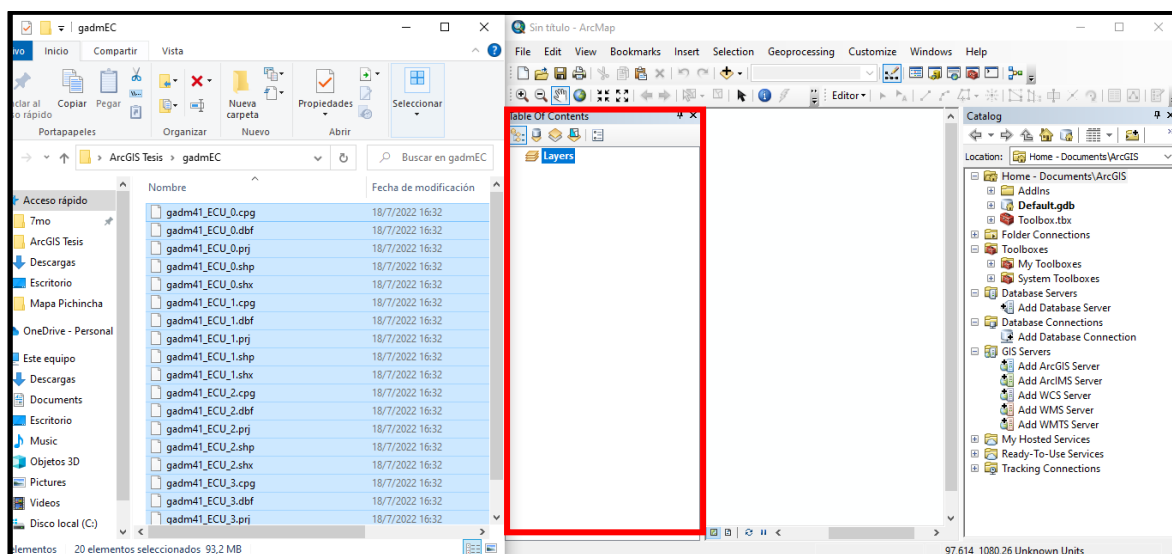


*Nota.* La figura indica mediante un cuadro rojo la opción a elegir dentro de country, la misma que al dar clic despliega el listado de países con los que cuenta; Tal y como se indica se ha seleccionado Ecuador para caso de análisis. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de GADM.

Seguido se deberá seleccionar shapefile de modo que se da inicio a la descarga de los archivos dentro de una carpeta comprimida. A continuación, se deberá descomprimir dicha carpeta para finalmente seleccionar todos los archivos que se encuentren dentro.

**Figura 16.**

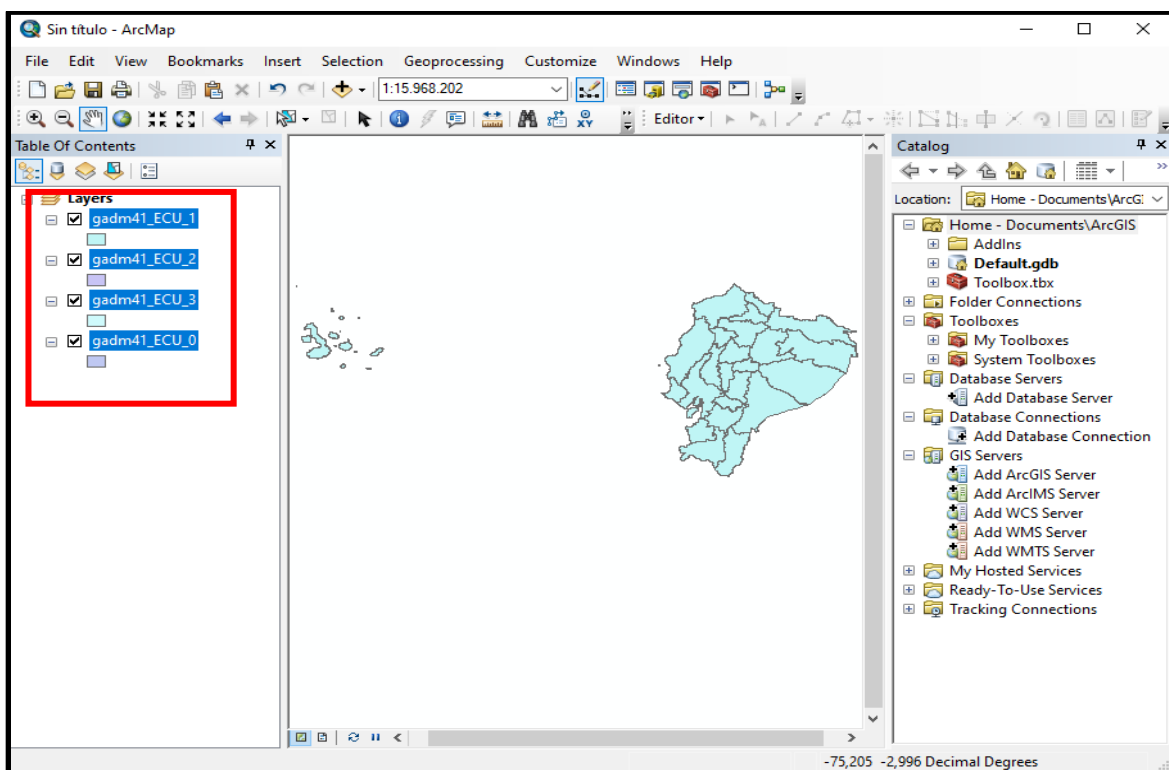
*Visualización de archivos generados a partir de la descarga en GADM*



*Nota.* Se muestra la manera correcta de insertar o cargar los shapefile descargados, donde el proceso a llevar es de seleccionar todos los formatos generados para luego arrastrarlos a la ventana de Layers del software ArcGis; Tal y como se muestra en la imagen las capas (layers) cargados son: contorno del Ecuador (gadm41\_ECU\_0), provincias (gadm41\_ECU\_1), cantones (gadm41\_ECU\_2) y parroquias (gadm41\_ECU\_3); Para darle una mejor perspectiva se puede cambiar los nombres o mantenerlos. Elaborado por: Las Autoras.

**Figura 17.**

*Ventana de ArcGIS con shapefiles de Ecuador*



*Nota.* Indica los layers generados, tomar en cuenta que el software ArcGis considera únicamente los archivos en formato .shp. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de ArcGIS.

## PASO 6

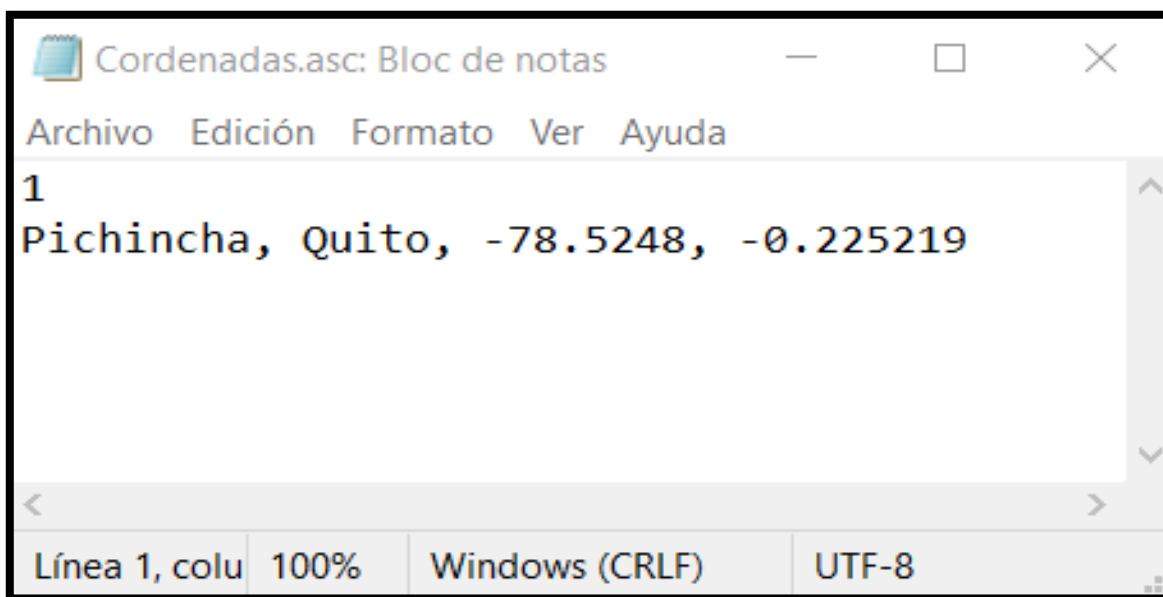
Elaborar un bloc de notas donde se encuentren las coordenadas del sitio que se requiera analizar, posteriormente deberá guardarse en formato \*.asc. Especificando por filas lo siguiente:

**Fila 1:** El número o cantidad de sitios que serán analizados.

**Fila 2:** Nombre de la provincia, Ciudad, Longitud, Latitud (separados por comas).

### Figura 18.


*Modelo de archivo .asc que admite R-CRISIS*



*Nota.* La figura muestra el modelo que se debe seguir según los sitios que desee analizar, si se desea considerar dos o más zonas se deberá reajustar el número de la primera fila, de la misma manera se procede a generar más filas con la información de los nuevos sectores.

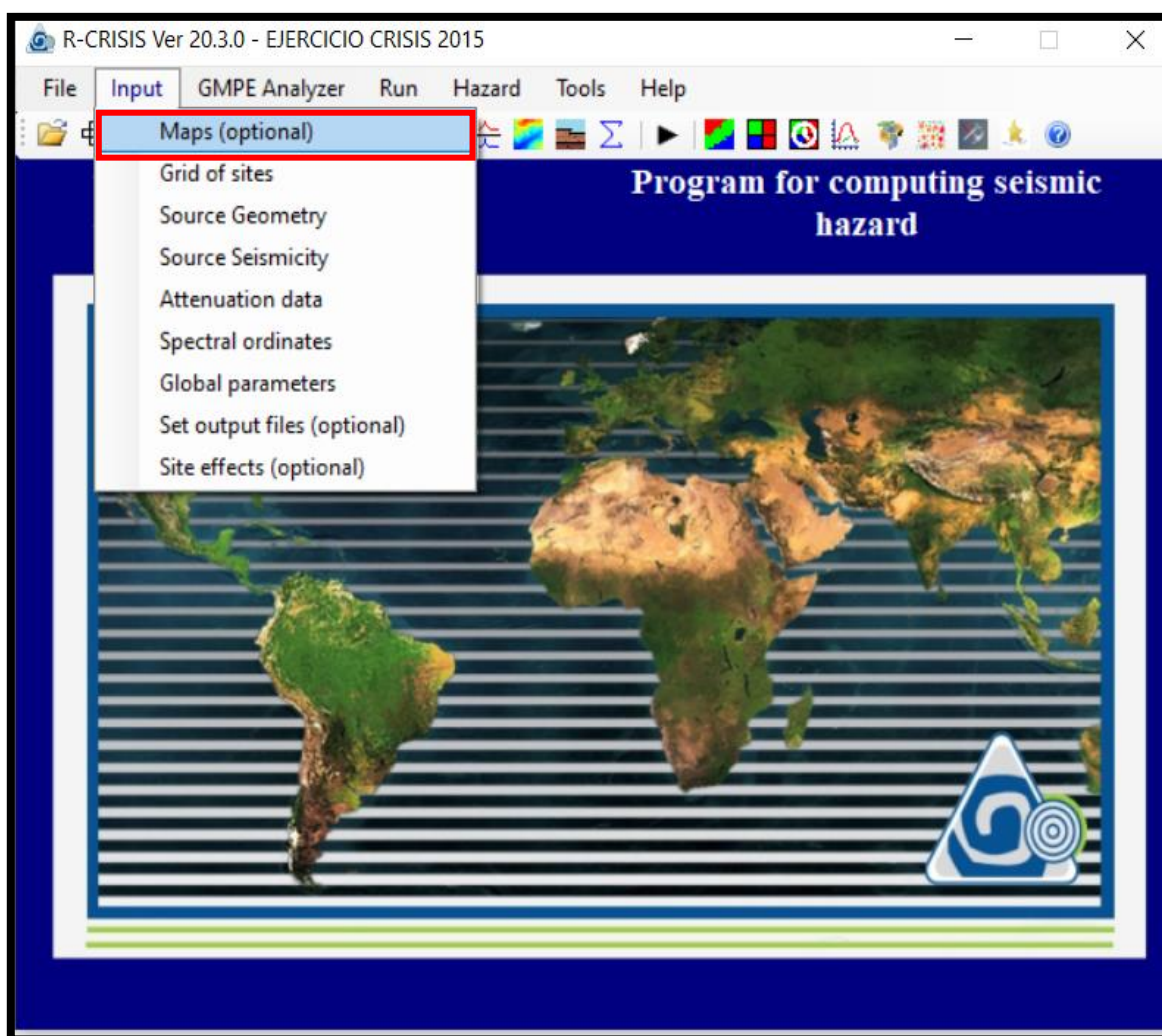
Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de Bloc de notas.

## PASO 7

Se procede a cargar la data: mapa extraído del programa ArcGIS y coordenadas del sitio de análisis. Para ello se tiene dos opciones: dirigirse a Input y seleccionar “Maps” o directamente desde el icono de “Map data” , como se indica a continuación.

**Figura 19.**

*Barra de tarea Input*



*Nota.* Presenta la opción a elegir para iniciar con el proceso de asignación de datos. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

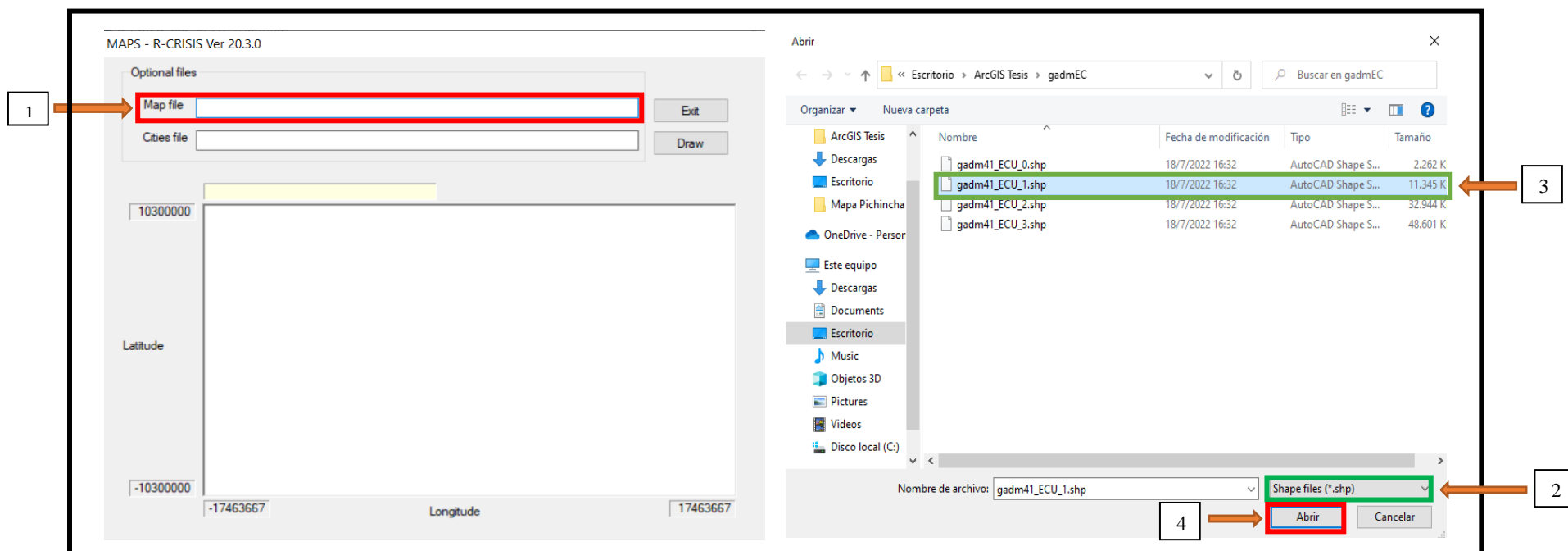


## Seguido:

1. Se debe dar doble clic izq en Map file dando paso a una nueva ventana, en el que se deberá seleccionar el archivo formato \*.shp con el que trabajará.

### Figura 20.

Ventana de trabajo Maps opción Map file

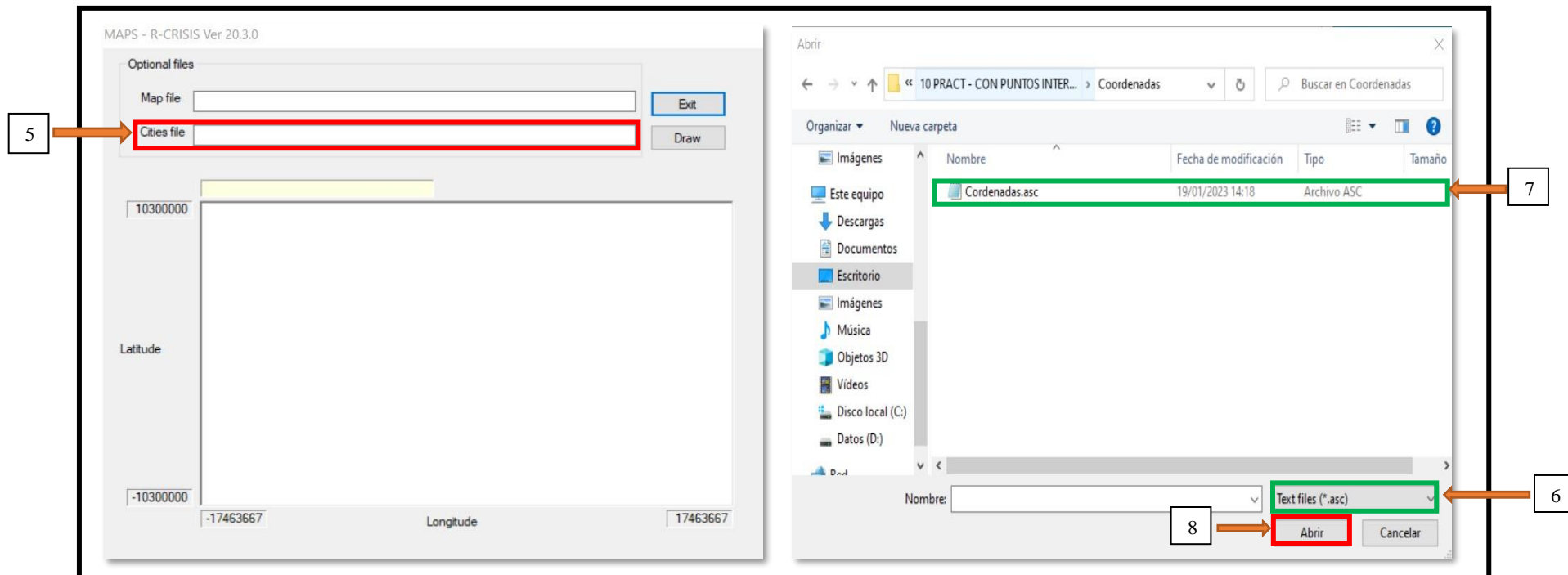


*Nota.* A la izquierda la ventana de maps resaltando mediante un cuadro rojo el apartado donde se cargará el shapefile del mapa y a la derecha se presenta el proceso a seguir para buscar el archivo .shp (cuadro amarillo) desde la carpeta de destino, posteriormente seleccionar abrir y automáticamente el documento se cargará al modelo generado. Elaborado por: Las Autoras.

2. Dirigirse a **Cities file**, de igual manera se deberá seleccionar el archivo en formato \*.asc, el cual se detalla en el paso anterior.

**Figura 21.**

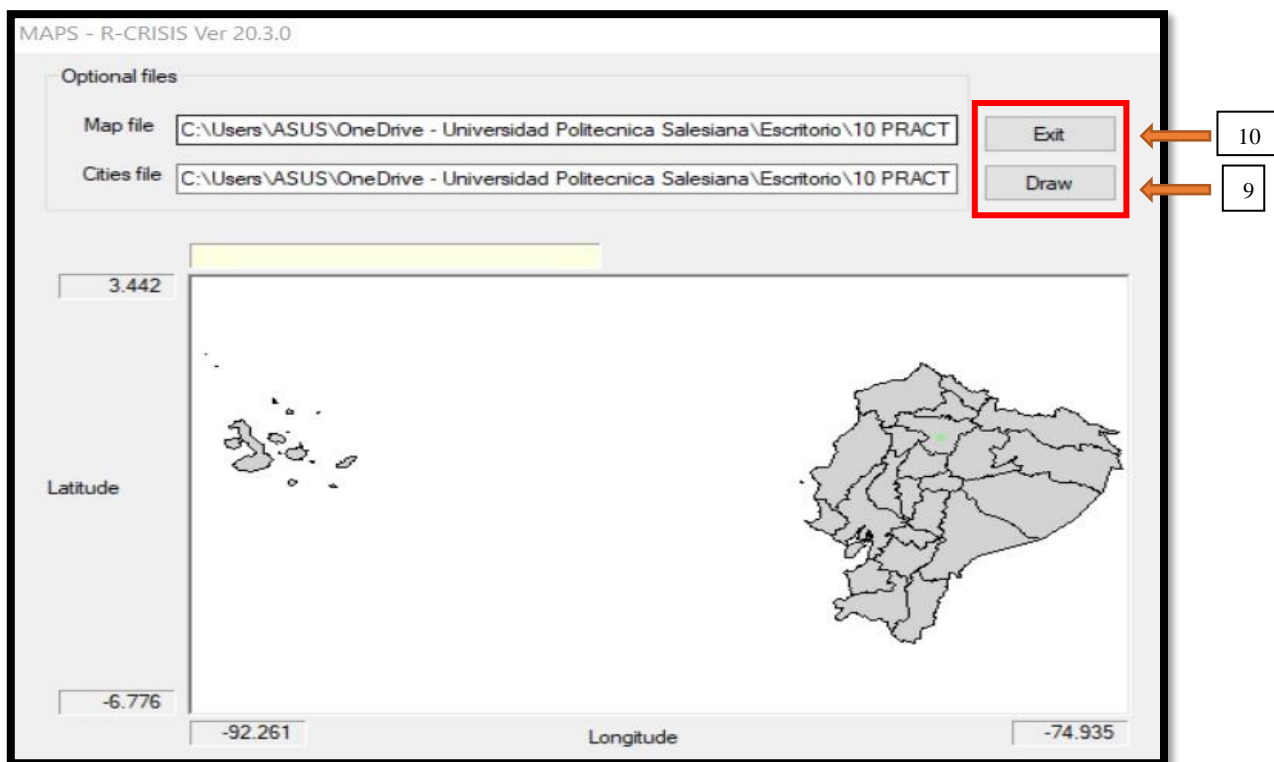
*Ventana de trabajo Maps opción Cities file*



*Nota.* A la izquierda la ventana de maps resaltando mediante un cuadro rojo el apartado donde se cargará la coordenada del sitio y a la derecha se presenta el proceso a seguir para buscar el archivo .asc (cuadro amarillo) desde la carpeta de destino, posteriormente seleccionar abrir y automáticamente el documento se cargará al modelo generado. Elaborado por: Las Autoras.

**Figura 22.**

*Archivos registrados en la herramienta Maps*



*Nota.* Figura muestra el proceso final que requiere “Maps” para almacenar la información ingresada, por lo que es necesario dar clic en “Draw” (dibujar mapa) y “Exit” (cerrar ventana). Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

### **PASO 8**

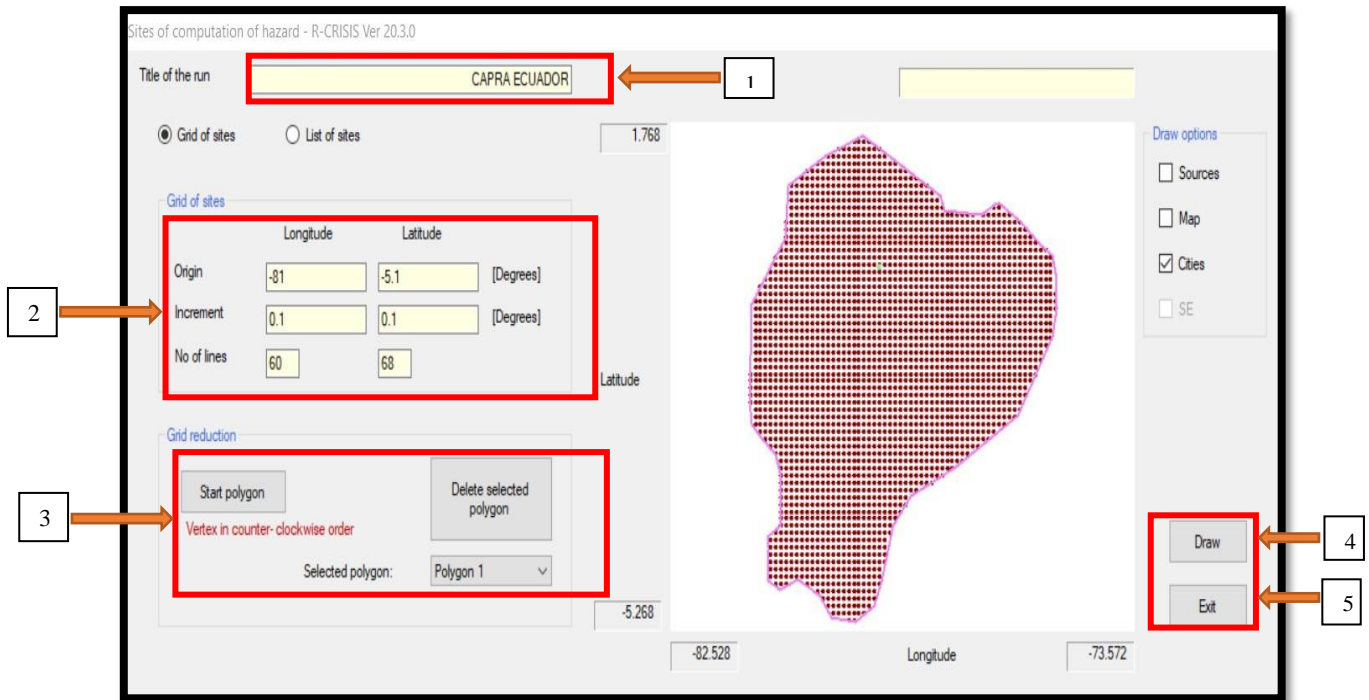
Se procede a realizar la delimitación de la zona a estudiar, de manera que deberá seguir el siguiente proceso:

1. Asignar un nombre al archivo (ejemplo CAPRA ECUADOR)
2. Delimitar grilla de acuerdo al criterio propio del usuario, los valores (origen, incremento) deberán ingresarse en grados y número de líneas adimensional.
3. Dibujar un polígono que contenga el mapa generado (contorno de la figura).

4. Seleccionar “Draw” (dibujar grilla) y “Exit” (cerrar ventana), paso requerido para almacenar dicha información en el modelo generado.

**Figura 23.**

*Grillita en el programa con sus respectivas coordenadas*



*Nota.* Data de la grilla requerida para caso aplicado, se utilizaron los valores indicados en la figura, donde los valores negativos en “origen” indican el hemisferio occidental, el “incremento” deberá considerar ambas direcciones ortogonales y por último para el “No de líneas” tener en cuenta una cantidad que se distribuya correctamente entre longitud y latitud.

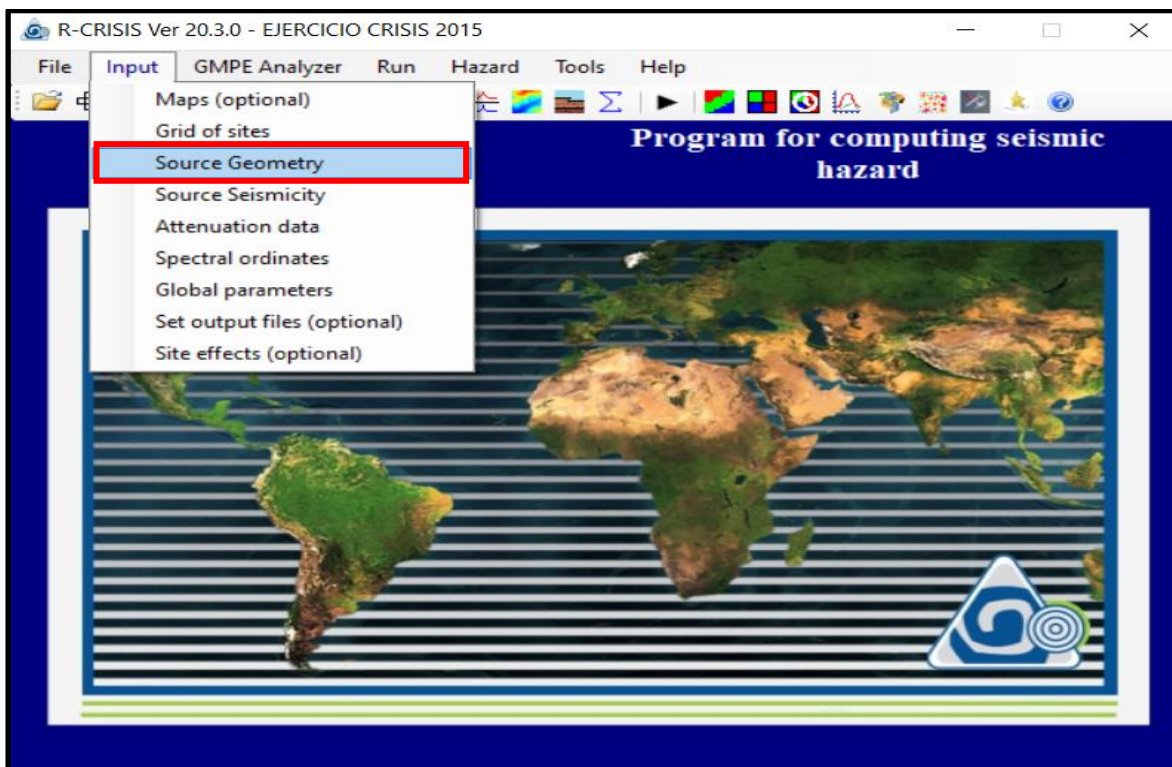
Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

## PASO 9

Posteriormente se debe ingresar la geometría de cada fuente sismogénica considerada por el usuario dentro del modelo a desarrollar.

### Figura 24.

*Ventana barra de herramienta “Input” opción ingreso de geometría*



*Nota.* Figura muestra la opción que permite acceder al ingreso de fuentes sismogénicas o modelos de falla significativas para la evaluación a realizar. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

Para designar fuentes o fallas, tomar en cuenta los siguientes pasos:

1. Definir tipología a considerar (área, área plana, puntos\_SSG o líneas).
2. Dar clic en “add new source” para generar la fuente.
3. Renombrar la fuente (dato opcional), ejemplo dentro del cuadro verde.

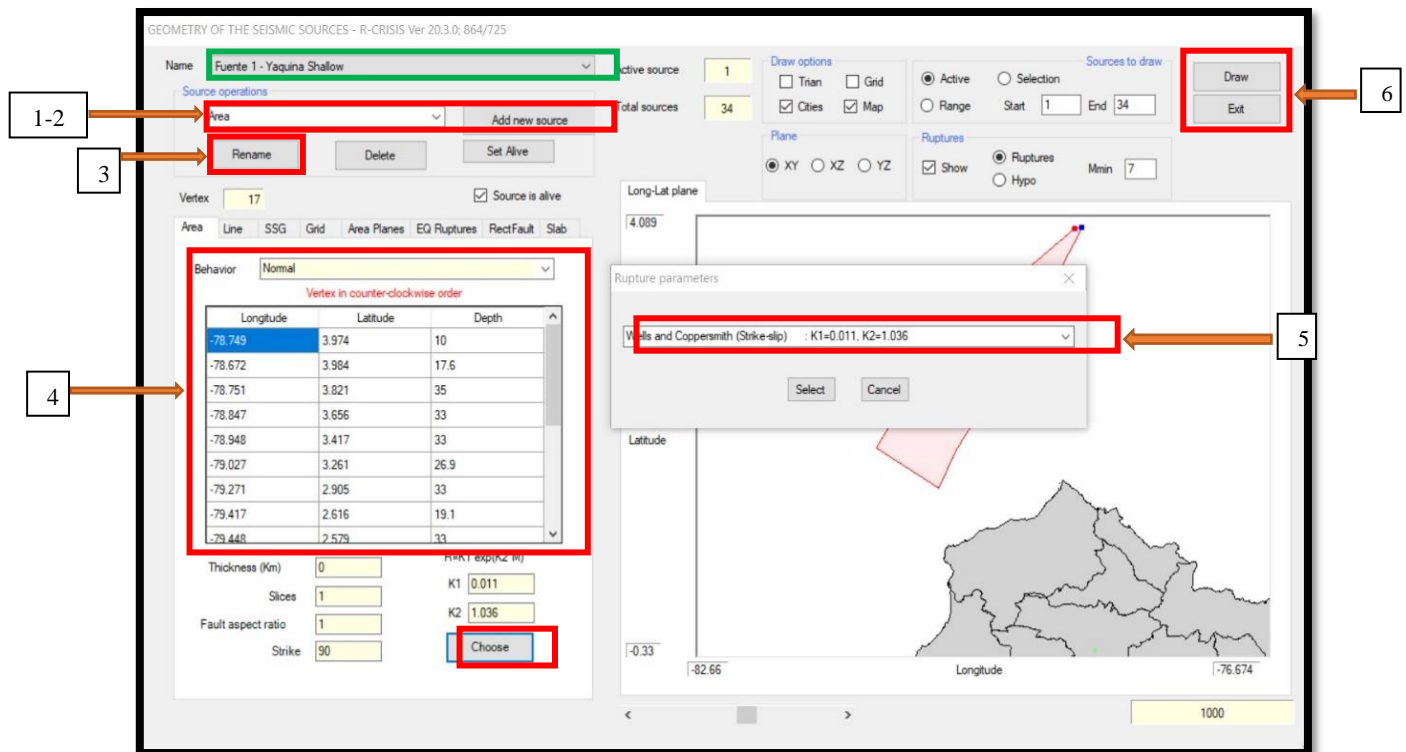
4. Se genera tantas filas (vértices) como número de coordenadas geográficas se tenga, dentro de cada vértice ingresar (longitud y latitud) en grados y profundidad en km. Proceso repetitivo por cada fuente requerida por el modelo.

5. Seleccionar la opción “choose”, seguido se presentará una ventana que contiene los diferentes valores propuestos para los parámetros K1 y K2. Importante primero definir el tipo de falla al que pertenece (revisar dip y rake).

6. Seleccionar “Draw” (dibujar fuente) y “Exit” (cerrar ventana), paso requerido para almacenar dicha información en el modelo generado.

**Figura 25.**

*Geometría de cada fuente incluido parámetros de ruptura K1 y K2*



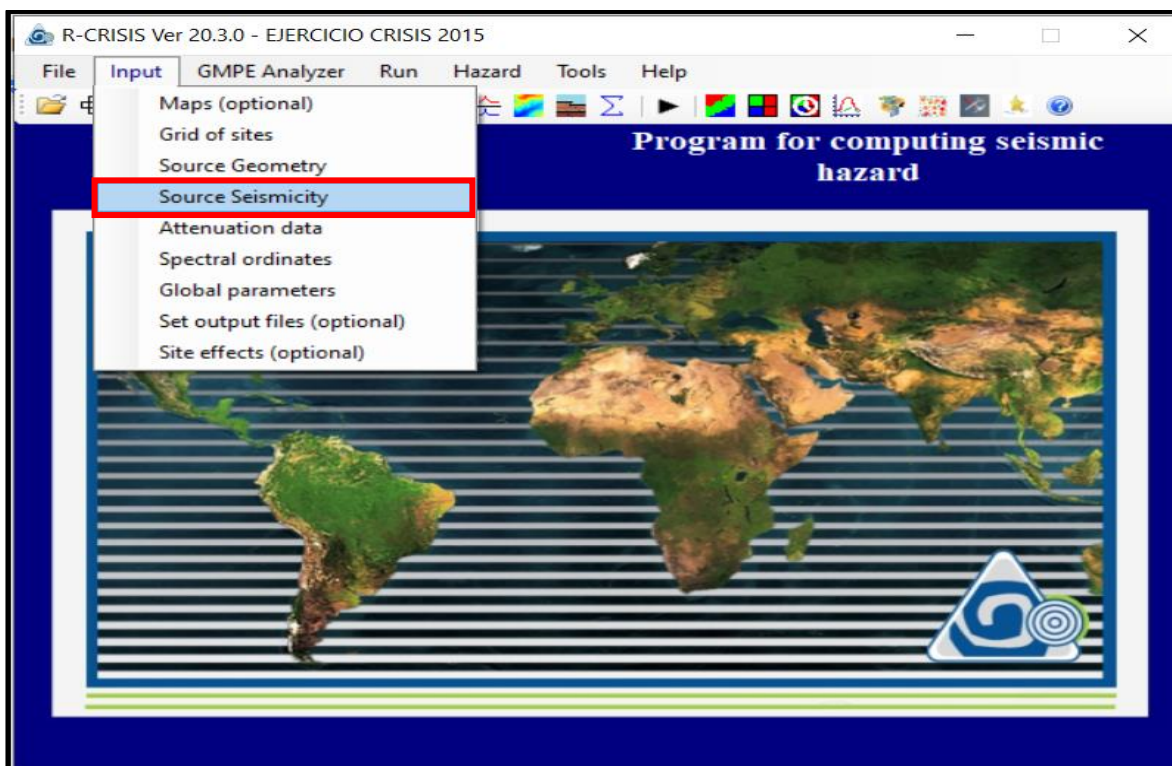
*Nota.* La figura presenta el proceso a seguir para insertar fuentes a criterio del usuario, los valores y características que se visualizan son los considerados dentro del caso aplicado a Ecuador. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

## PASO 10

Ingresar parámetros de sismicidad por cada fuente generada, para ello volver a la herramienta “Input”, seleccionar Source Seismicity tal como se indica a continuación.

**Figura 26.**

*Ingreso de parámetros sismológicos*

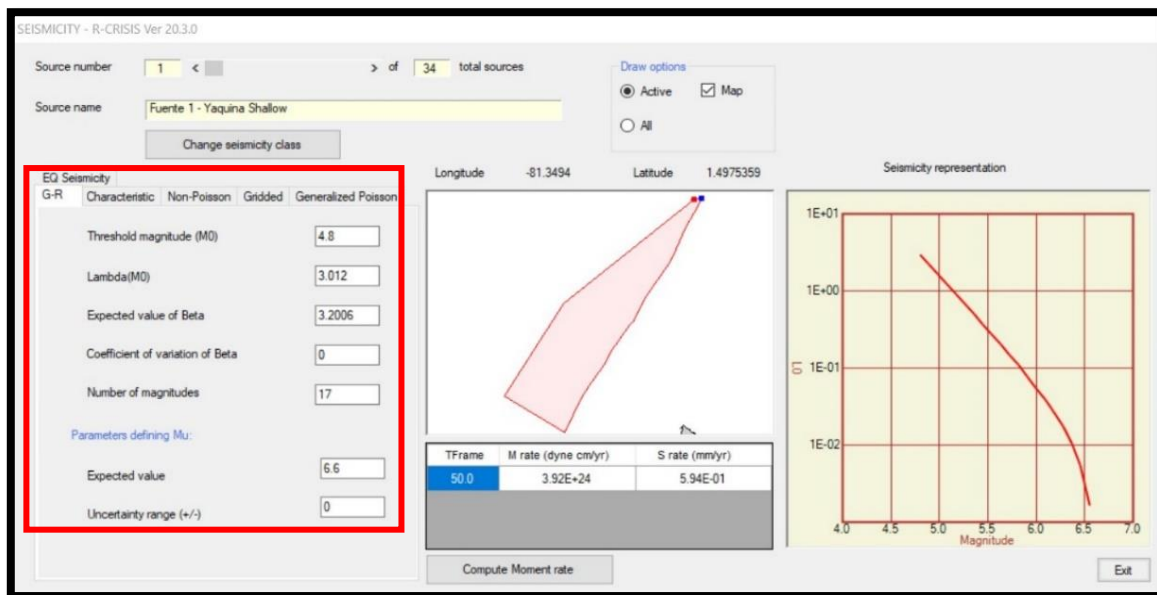


*Nota.* Se indica la opción que permite acceder al ingreso de parámetros sismológicos por cada fuente generada para la evaluación requerida. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

A partir de ahí se deberán ingresar los datos requeridos por cada fuente como lo son: Magnitud mínima “ $M_0$ ” y máxima, Lambda “ $\lambda$ ” y valor esperado de beta. Los mismos que deberán ser adquiridos de registros debidamente justificados, preferiblemente de la base de datos que contenga la institución encargada del control sismológico local.

**Figura 27.**

*Data de la sismicidad de cada fuente sismogénica*



*Nota.* Valores correspondientes al caso aplicado para Ecuador, cabe recalcar que para dicho modelo fue necesario determinar beta mediante la ecuación derivada de la ley Gutenberg Richter. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

## PASO 11

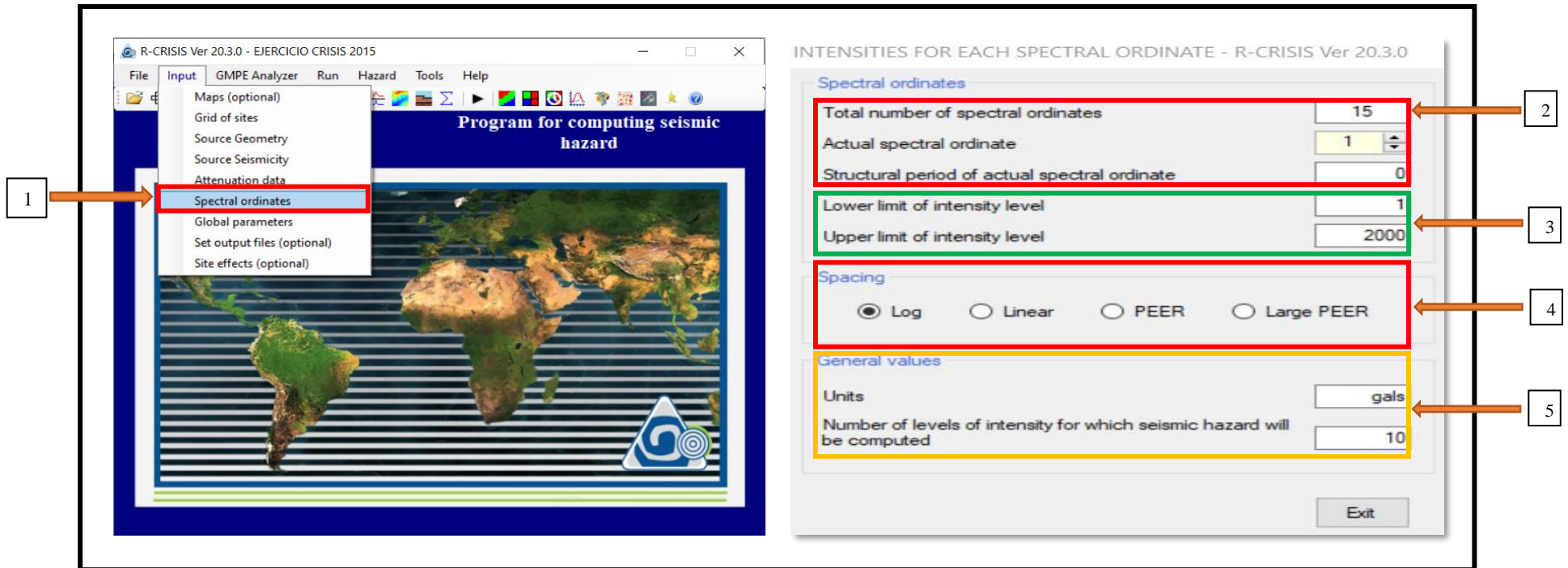
Ingresa tantas ordenadas espectrales como el usuario considere necesario, para esto dirigirse a la barra de tarea “Input” y seguir el siguiente procedimiento:

1. Seleccionar spectral ordinates.
2. Definir número de ordenadas a tener en cuenta para el modelo, seguido plantear valores de periodo estructural por cada ordenada espectral.
3. Establecer límite inferior y superior de intensidades.
4. Espaciamiento en escala logarítmica preferiblemente (a criterio del usuario)
5. Proponer un sistema de unidades que facilite la interpretación de datos, para el No. de intensidades considerar a criterio propio (rango de entre 10 a 20 puntos).



Figura 28.

Ordenadas espectrales



Nota. La figura indica valores considerados en el modelo aplicado, donde se propuso periodos de  $T=0.0s, 0.05s, 0.1s, 0.15s, 0.20s, 0.25s, 0.30s, 0.35s, 0.40s, 0.45s, 0.5s, 0.55s, 1s, 2s$  y  $3s$ ; Además de solicitar la respuesta de aceleraciones espectrales entre un rango de 1 a 2000 gals. Elaborado por: Las Autoras en base a las imágenes obtenidas de R-CRISIS.

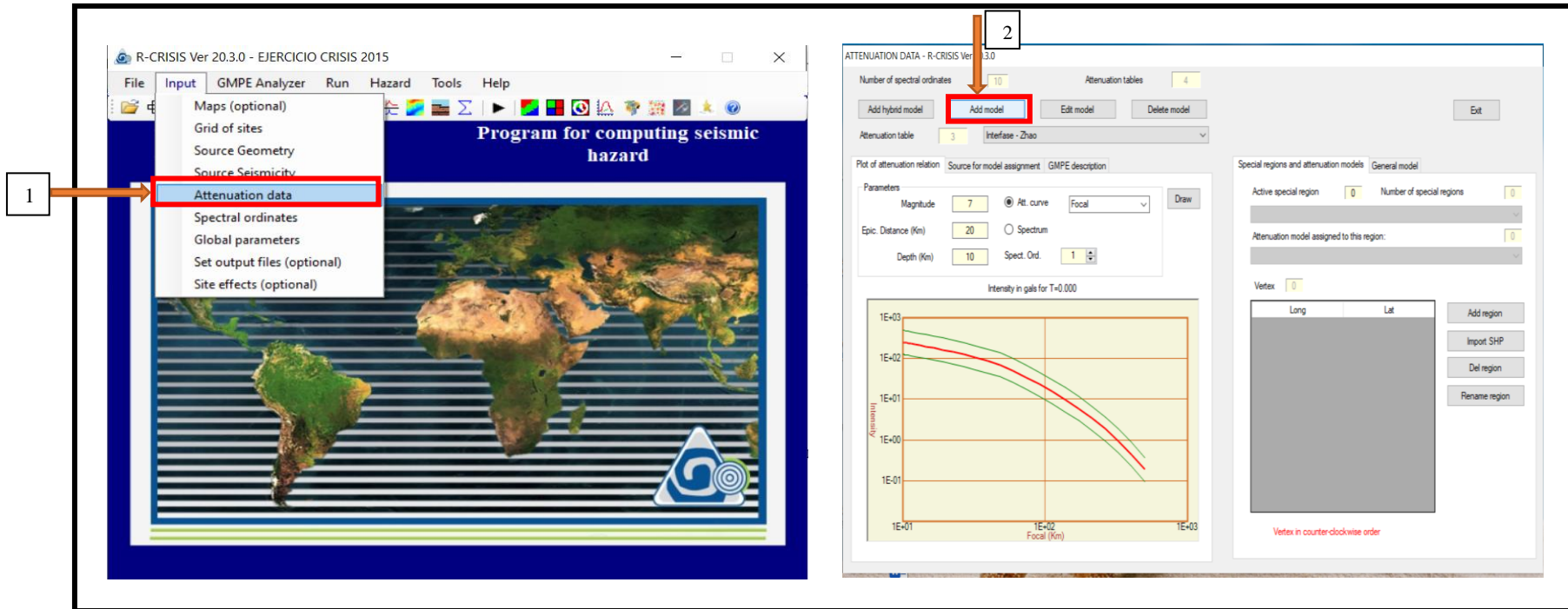
## PASO 12

Elegir la ley de atenuación acorde al modelo a ejecutar, a criterio propio del usuario. R-CRISIS cuenta con una base de datos muy completa para este caso, existen leyes conformadas por diferentes autores acorde al tipo de fuente como lo son de: interface, intraplaca o cortical. Para acceder al listado de las mismas se deberá seguir el siguiente proceso desde la barra de tarea “Input”:

1. Seleccionar la opción “Atenuation data”
2. Seguido dentro de la ventana que se genera, elegir la opción “Add model”
3. Escoger la ley de atenuación del listado que se presenta (a criterio del usuario)
4. Elegir velocidad de onda ( $V_s$ ) de acuerdo a características del modelo, además del tipo de fuente al que se aplicará la ley generada. Considerar que este paso dependerá de las diferentes solicitudes requeridas por los autores (proceso repetitivo por cada ley generada).
5. Asignar un nombre descriptivo, que facilite su identificación para el proceso siguiente.
6. A continuación, dar clic en la opción “Source for model assignment” (muestra fuentes creadas).
7. Para asignar a cada fuente una ley de atenuación, dirigirse a la ventana derecha, donde deberá seleccionar “General model” para ir asignando la ley de atenuación a cada fuente.
8. Posteriormente se presentará un nuevo listado que contiene leyes generadas por el usuario.
9. Finalmente dar clic en “Exit” (cerrar ventana), paso requerido para almacenar la data que deberá considerar el modelo desarrollado.

**Figura 29.**

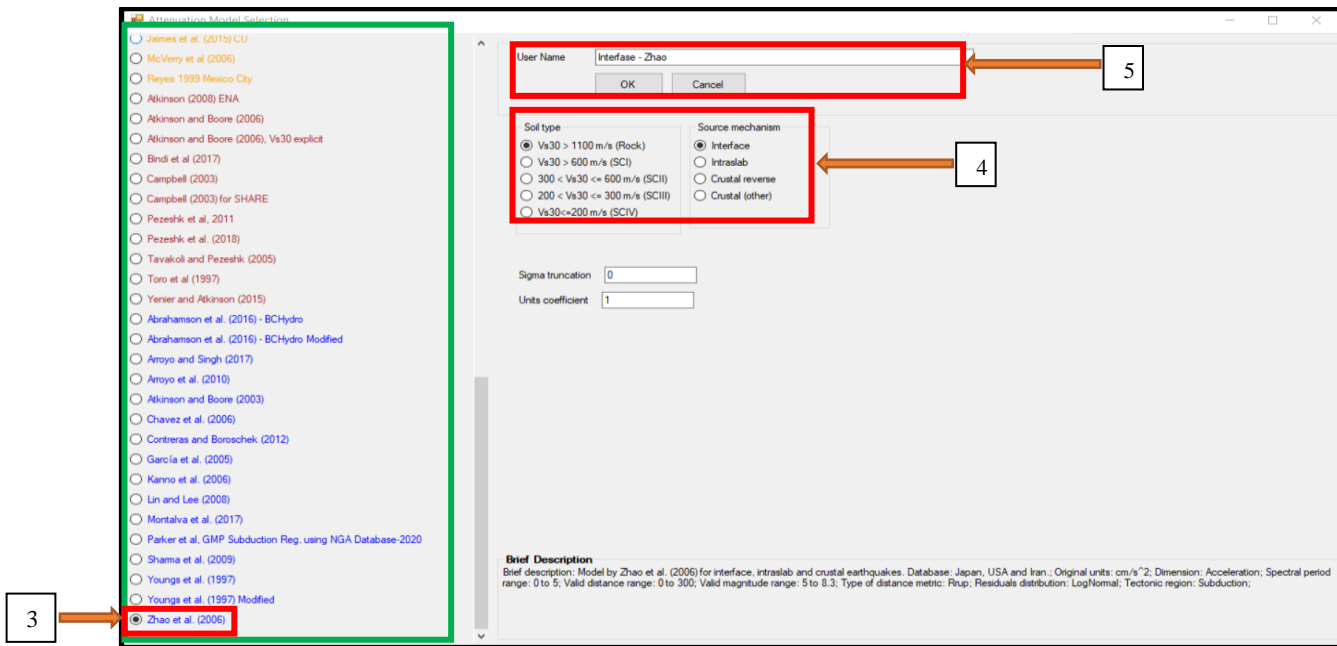
*Generar leyes de atenuación*



*Nota.* Figura indica el paso a paso a seguir para el correcto manejo de R-Crisis, al lado izquierdo se muestra la barra de tareas de input y a la derecha se presenta la ventana attenuation data donde se deberá generar o añadir las nuevas leyes de atenuación requeridas por el modelo. Elaborado por: Las Autoras en base a las imágenes obtenidas de R-CRISIS.

**Figura 30.**

*Ley de atenuación autor Zhao et al. (2006) para fuentes de interface*

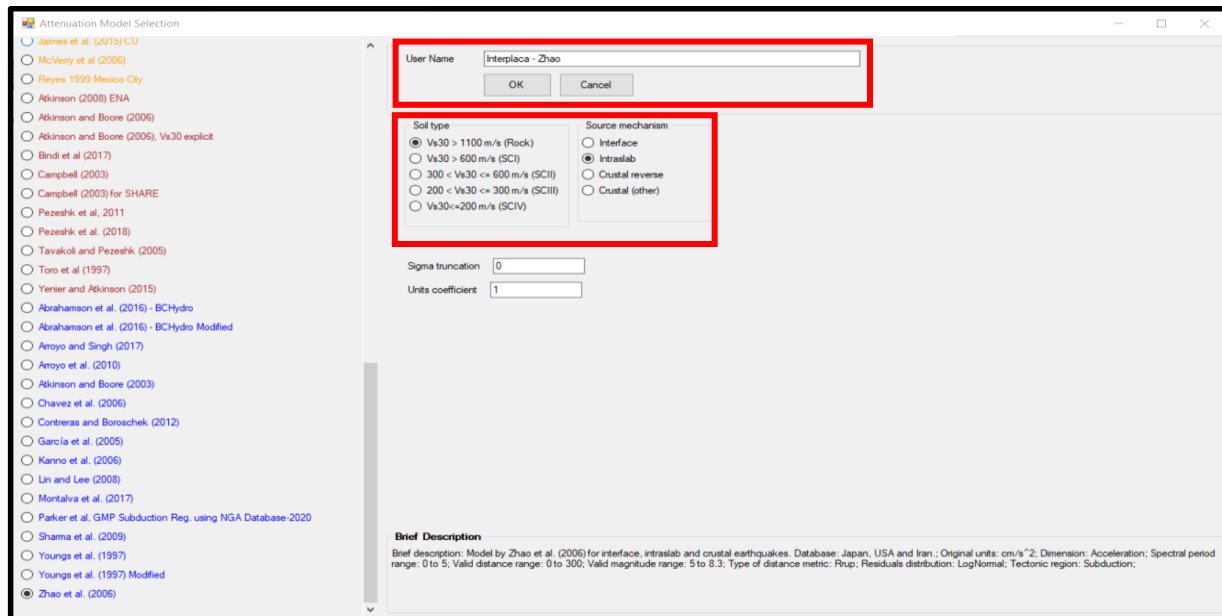


*Nota.* Se muestra el proceso a seguir para integrar un modelo de atenuación de acuerdo al autor que se elija, en este caso se indica el desarrollo de una ley de atenuación para fuentes de interface considerando lo propuesto por el autor Zhao et al. (2006), con velocidad de ondas en roca; Cabe recalcar que las característica y modelo considerados son aplicados como ejemplo del manual de usuario. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

Dicho procedimiento se repite por cada tipo de fuente que tenga dentro del modelo desarrollado por el usuario. A continuación, se indican los siguientes modelos de atenuación propuestos para el ejemplo demostrativo.

**Figura 31.**

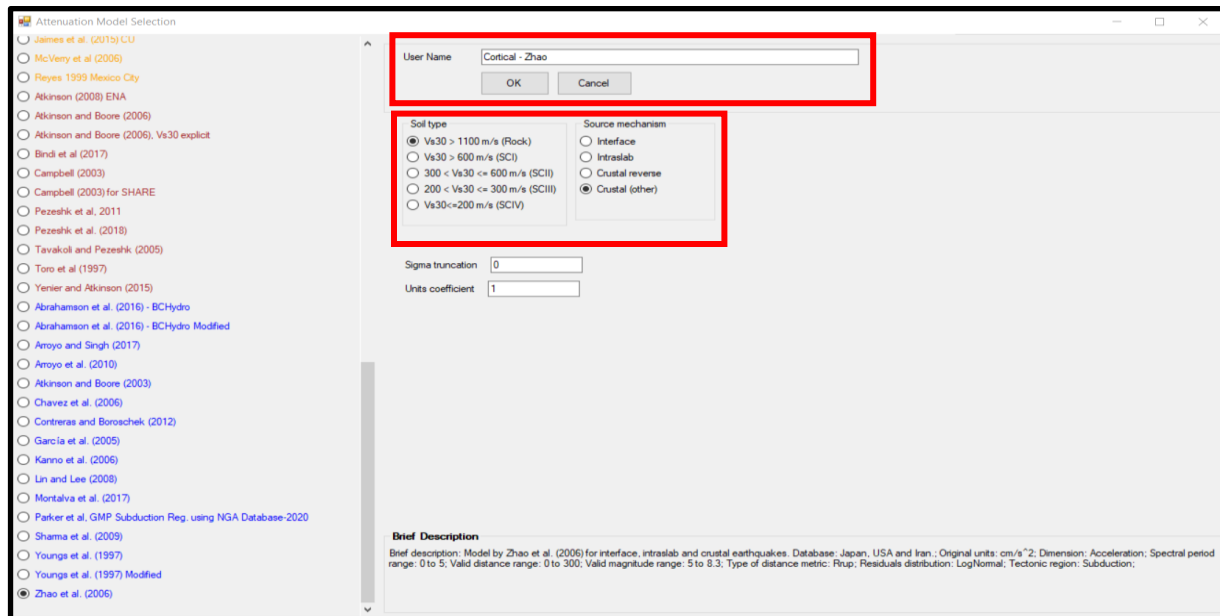
*Ley de atenuación autor Zhao et al. (2006) para fuentes de intraplaca*



*Nota.* Se indica el desarrollo de una ley de atenuación para fuentes de intraplaca considerando lo propuesto por el autor Zhao et al. (2006). Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

**Figura 32.**

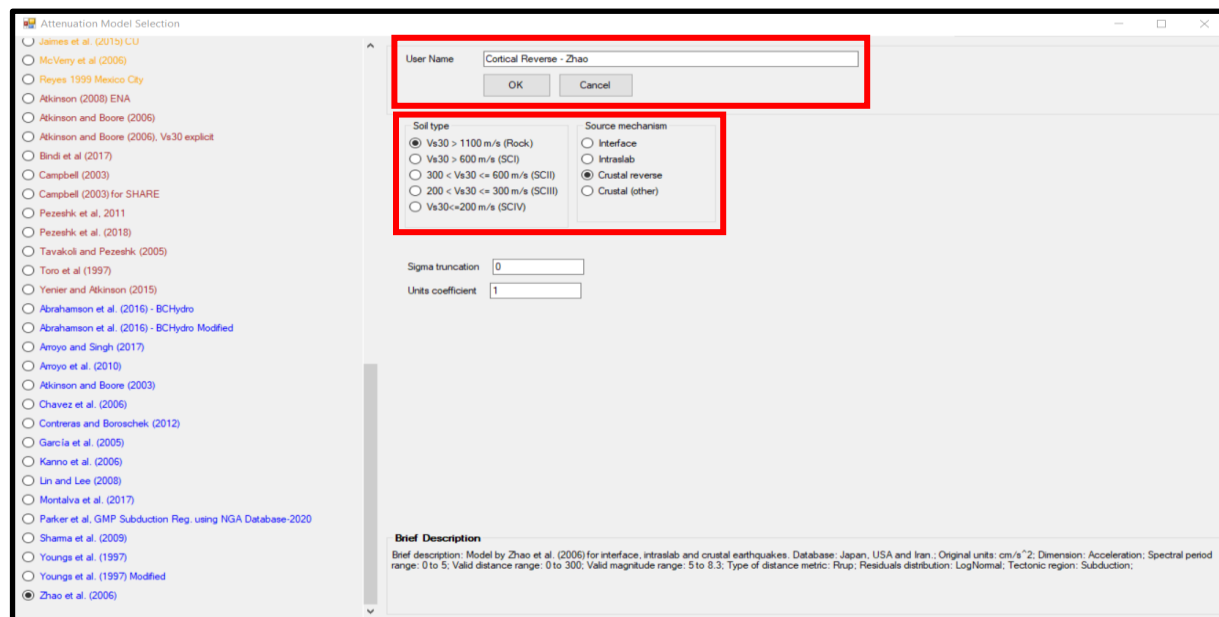
*Ley de atenuación autor Zhao et al. (2006) para fuentes corticales*



*Nota.* Presenta desarrollo de una ley de atenuación para fuentes corticales diferentes al tipo reverse, considerando lo propuesto por el autor Zhao et al. (2006). Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

**Figura 33.**

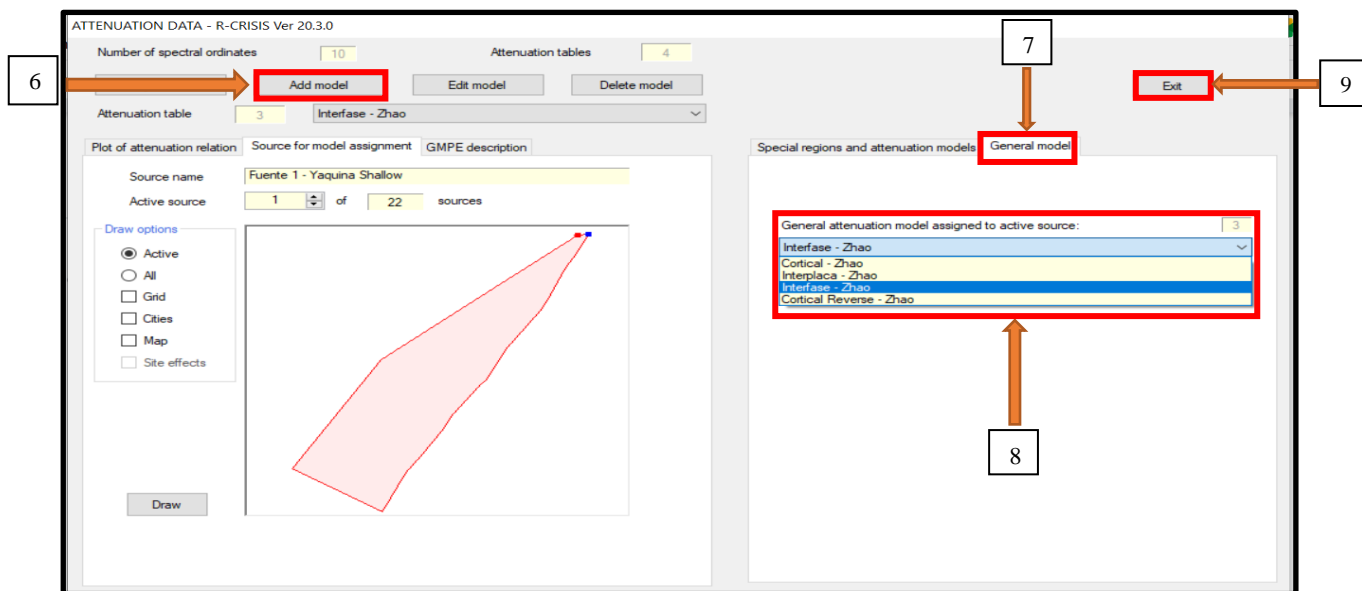
*Elección de la ley de atenuación del autor Zhao et al. (2006) para tipo de fuentes Cortical Reverse.*



*Nota.* Presenta desarrollo de una ley de atenuación para fuentes corticales tipo reverse, considerando lo propuesto por el autor Zhao et al. (2006). Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

**Figura 34.**

*Elección del tipo de ley de atenuación para cada fuente*



*Nota.* Se muestra el proceso a seguir para integrar un modelo de atenuación de acuerdo al autor que se elija para fuente ingresada al modelo. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

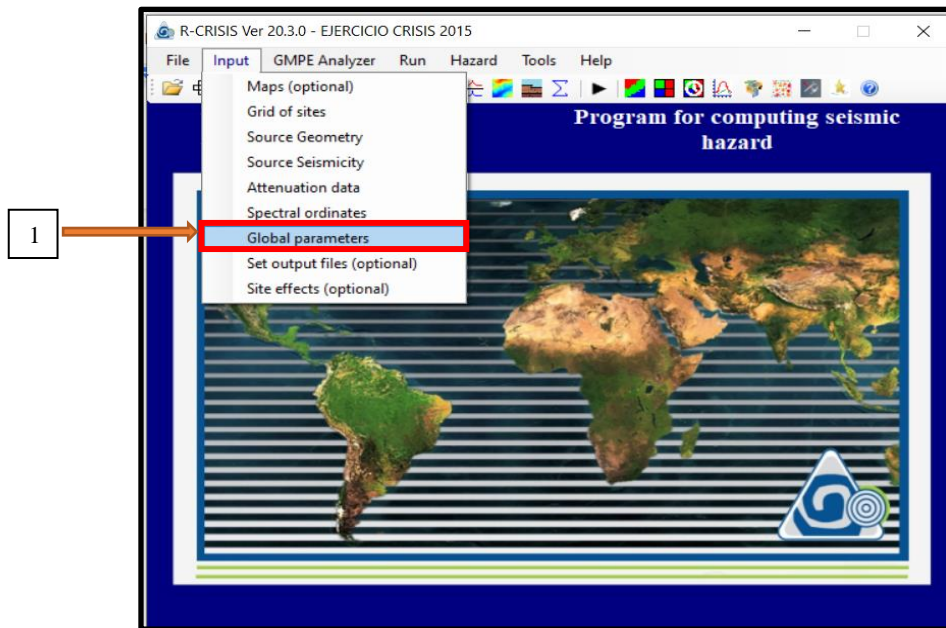


### PASO 13

Introducir parámetros globales requeridos por el modelo a desarrollar donde el primer paso dentro de esta opción es dirigirse a la ventana de tareas de “Input”, donde se deberá elegir la opción “Global parameters”.

**Figura 35.**

*Parámetros globales*



*Nota.* Barra de herramientas que contiene “Input”, señalando mediante un cuadro rojo la opción a elegir para este paso. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

Seguido se procede a ingresar la distancia de influencia, el tamaño de la triangulación para la cual se va a interpolar los datos y finalmente los periodos de retorno en los que se presentará la respuesta (peligro sísmico), de acuerdo al periodo de tiempo a considerar. Más adelante se presenta de manera gráfica lo descrito en el párrafo.

**Figura 36.**

*Ventana de ingreso para parámetros globales*

GLOBAL PARAMETERS - R-CRISIS Ver 20.3.0

**Integration parameters**

Maximum integration distance: 200 km  
Minimum triangle size: 11 km  
Minimum Distance/Triangle Size ratio: 7

**CAV filter**

Filter type: None

**Time frame**

50

Map return period (years)	PE in 50 years
72	5.01E-01
225	1.99E-01
475	9.99E-02
1000	4.88E-02
2475	2.00E-02

Exit

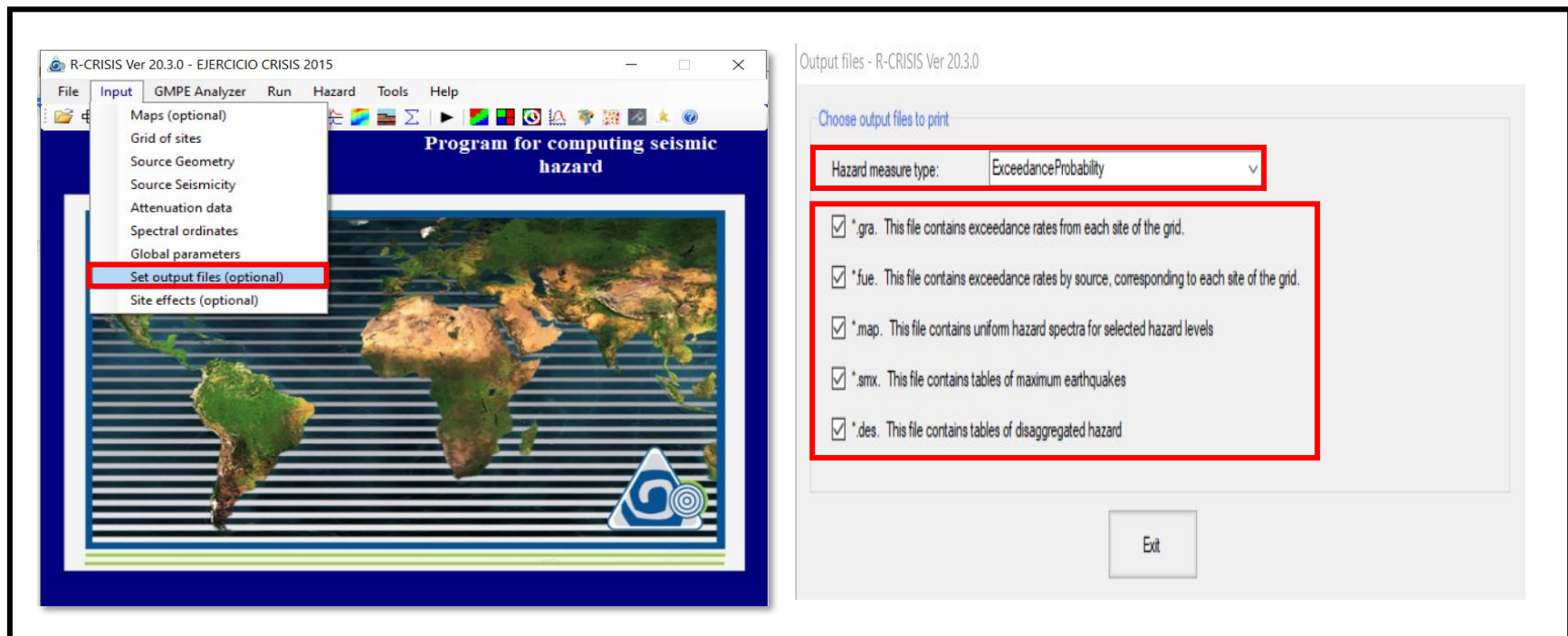
*Nota.* Se muestra el proceso a seguir para ingresar cada dato requerido por R-Crisis, en este caso se ha impuesto un valor de 200 km para la distancia de influencia, 11 km para el tamaño de triangulación, 7 en la relación de la distancia mínima/tamaño del triángulo y por último se ingresó periodo de retorno para 72, 225, 475, 1000 y 2475 años. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

## PASO 14

Dirigirse nuevamente a “Input” donde se selecciona la opción “Set output files”, inmediatamente se accede a una nueva ventana en la cual se debe marcar los formatos que se desea imprimir.

### Figura 37.

*Salida de archivos generados como respuesta del análisis sísmico*



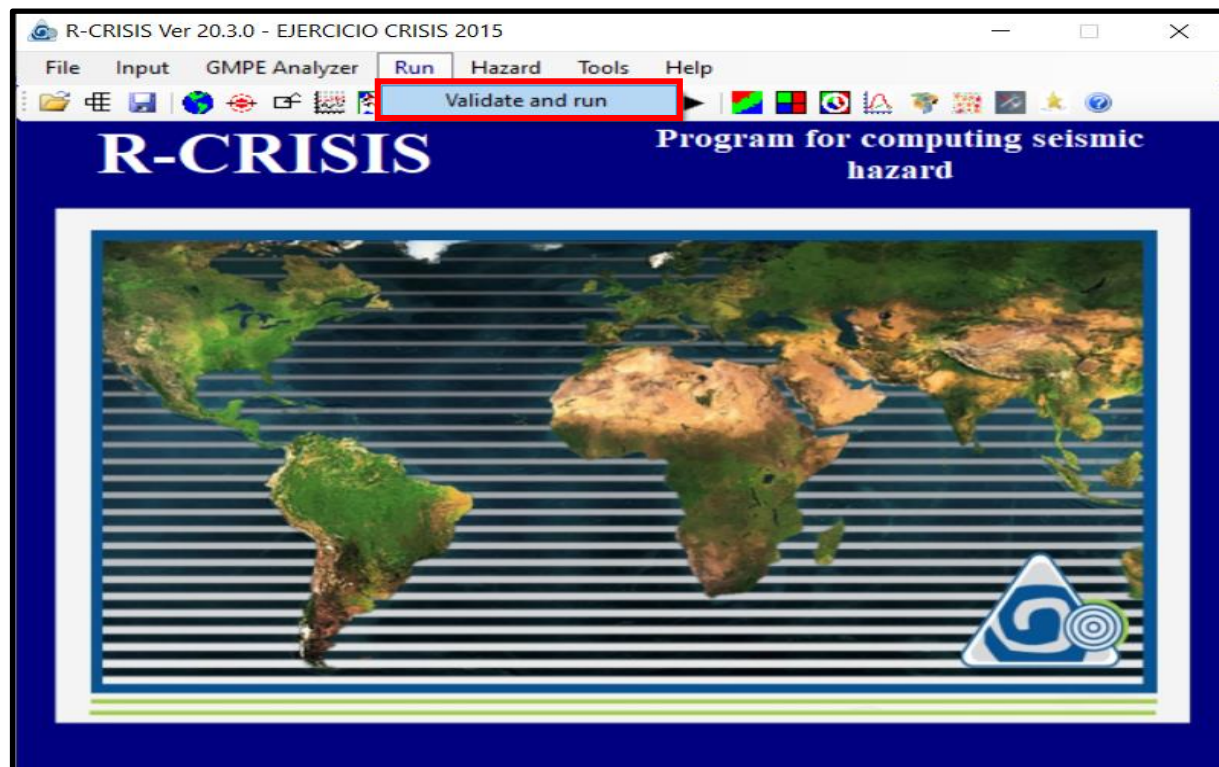
*Nota.* La figura indica formatos que imprimirá R-Crisis una vez ejecutado el modelo, dichos archivos se generaran de acuerdo al “hazard measure type” seleccionado y de los registros requeridos. Elaborado por: Las Autoras en base a las imágenes obtenidas de R-CRISIS.

## PASO 15

Finalmente, para ejecutar el modelo con la data ingresada se procede a seleccionar la barra de tarea “Run”, posteriormente dar clic en “Validate and run”.


### Figura 38.

*Validar y ejecutar modelo en R-Crisis*



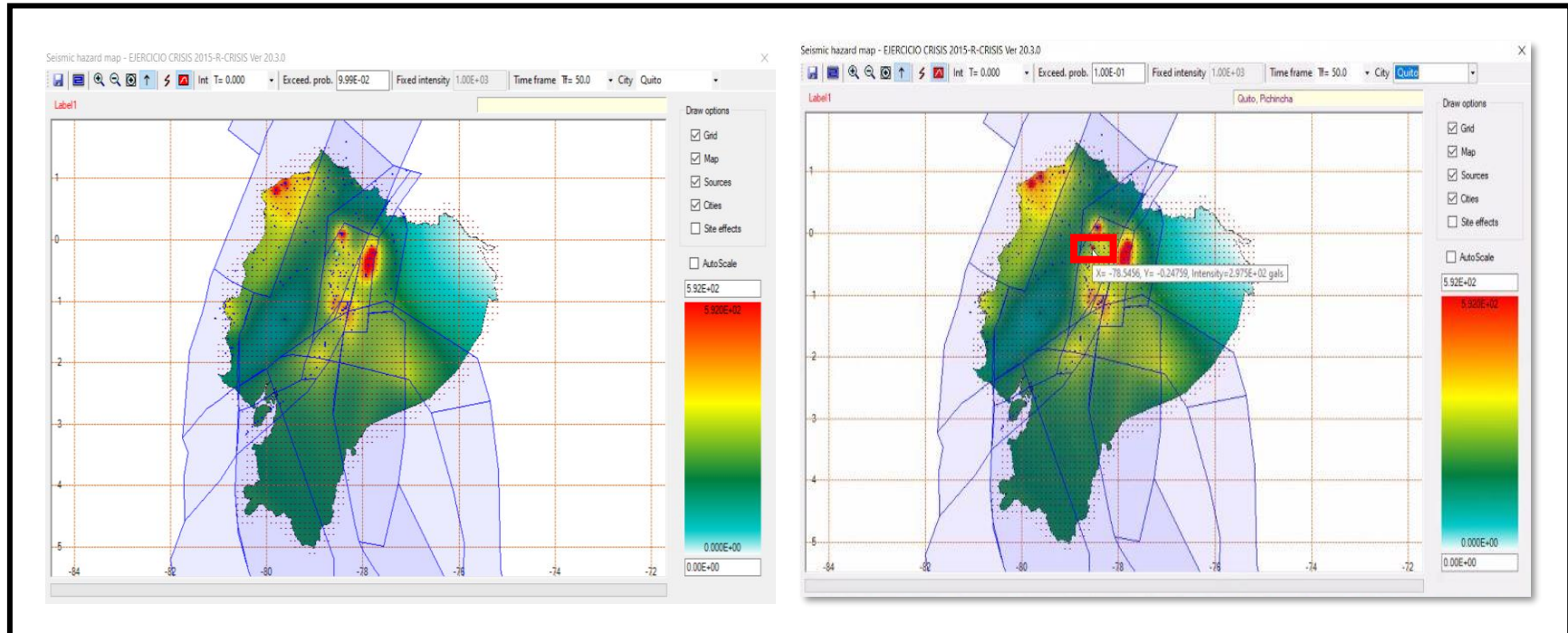
*Nota.* Proceso requerido por el software para obtener la respuesta de amenaza sísmica del modelo a ser ejecutado. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

## PASO 16

Como parte de los resultados que arroja el programa R-CRISIS se tiene el mapa de amenaza sísmica para el lugar de estudio. Al cual se puede acceder directamente desde el icono de “See hazard maps”  desde la barra de tareas de “Hazard”.

**Figura 39.**

*Mapa de amenaza sísmica para caso aplicado (Quito)*



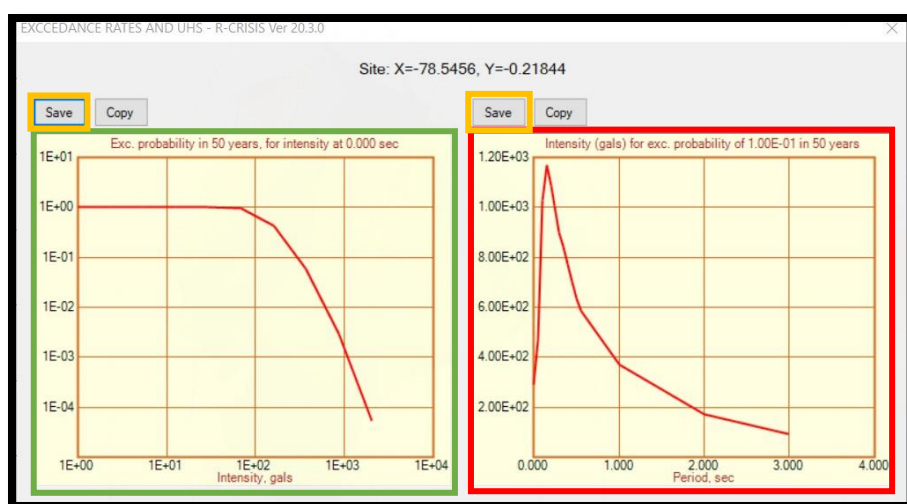
*Nota.* La figura presenta al lado derecho el mapa de amenaza sísmica que se obtiene para un periodo de retorno de 475 años con una ordenada espectral en 0.0 segundos, mostrando así intensidades de aceleración del suelo de acuerdo a diferentes escalas de colores según la zona; al lado izquierdo se muestra el punto del sitio analizado (cuadro rojo) donde se dará clic para acceder a los valores con los cuales se obtiene el espectro de peligro uniforme y las tasas de excedencia. Elaborado por: Las Autoras en base a las imágenes obtenidas de R-CRISIS.

## PASO 17

Para finalizar, si se requiere obtener los valores de tasa de excedencia o aceleraciones espectrales producto del análisis realizado por el software R-CRISIS, se debe dar clic en el punto de análisis y a continuación se muestra una nueva ventana, donde se puede observar la representación gráfica de los mismos.

### Figura 40.

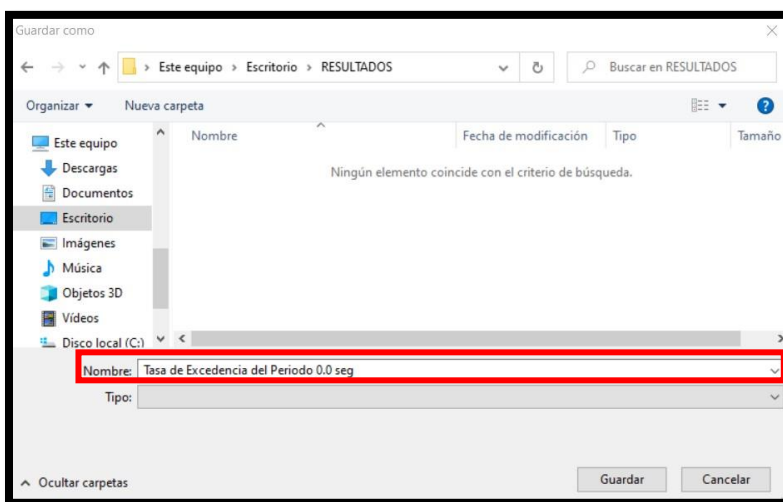
*Representación gráfica de la curva de tasas de excedencia y espectro de peligro uniforme en R-CRISIS*



*Nota.* En la ventana izquierda se observa la curva de tasa de excedencia generados a partir de la ordenada espectral que el usuario requiera (ejemplo presentado para periodo 0 seg, aceleración del terreno) y a la derecha el espectro de aceleraciones para un  $T_r = 475$  años ( $9.99E-02$ ); Dando clic en la opción “save” se puede guardar el archivo generado dentro de una carpeta a elección del usuario. Cabe recalcar que el proceso se repite para los diferentes periodos ingresados. Sí se requiere visualizar su contenido se deberá abrir mediante bloc de notas. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

**Figura 41.**

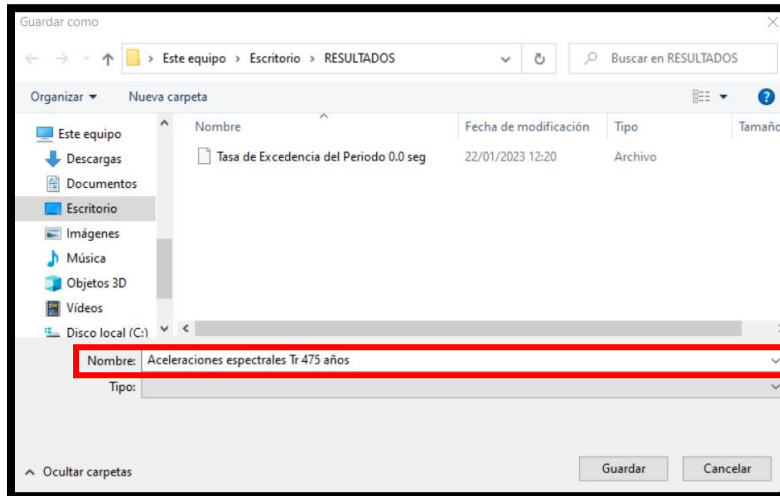
*Archivo generado por R-CRISIS para tasa de excedencia con periodo 0.0 seg*



*Nota.* Se presenta la forma en la cual se obtiene el archivo (nombre opcional), proceso que se repetirá de acuerdo a las diferentes ordenadas espectrales ingresadas. Elaborado por: Las Autoras.

**Figura 42.**

*Archivo generado del programa de la aceleración espectral de un periodo de retorno de 475 años*



*Nota.* Se presenta la forma en la cual se obtiene el archivo (nombre opcional), proceso que se repetirá de acuerdo a los diferentes periodos de retorno ingresados. Elaborado por: Las Autoras.



A partir del registro generado se obtienen los puntos con los cuales se presenta la siguiente tabulación de acuerdo a cada periodo ingresado al programa R-CRISIS.

**Tabla 13.**

*Tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme de la ciudad Quito*

Aceleración Espectral [gals]	Periodo [s]															
	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	1	2	3	
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
2.327E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
5.415E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.999E-01
1.260E+01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.989E-01	9.694E-01
2.932E+01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.996E-01	9.115E-01	6.636E-01
6.822E+01	9.561E-01	9.989E-01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.999E-01	9.994E-01	9.986E-01	9.232E-01	4.952E-01	2.147E-01	
1.587E+02	4.429E-01	7.844E-01	9.972E-01	9.990E-01	9.979E-01	9.939E-01	9.831E-01	9.693E-01	9.463E-01	9.160E-01	8.659E-01	8.306E-01	4.809E-01	1.253E-01	3.206E-02	
3.694E+02	6.278E-02	2.070E-01	7.274E-01	8.055E-01	7.611E-01	6.830E-01	5.909E-01	5.299E-01	4.666E-01	4.070E-01	3.399E-01	3.016E-01	1.062E-01	1.543E-02	2.197E-03	
8.595E+02	3.240E-03	1.937E-02	1.738E-01	2.335E-01	2.021E-01	1.623E-01	1.220E-01	1.027E-01	8.528E-02	6.889E-02	5.381E-02	4.440E-02	1.078E-02	8.723E-04	6.060E-05	
2.000E+03	5.706E-05	7.371E-04	1.563E-02	2.497E-02	1.991E-02	1.517E-02	1.012E-02	8.332E-03	6.794E-03	5.139E-03	3.867E-03	2.942E-03	4.885E-04	1.921E-05	5.787E-07	

*Nota.* Resultados de la tabla de excedencia que proyecta el programa R-CRISIS para un periodo de tiempo de 50 años de los 15 periodos

considerados. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

Con los valores de tasa de excedencia anual mostrada anteriormente en la tabla 13, es posible obtener la aceleración espectral correspondiente a una misma tasa de excedencia anual para distintos periodos, la gráfica resultante conocida como espectro de peligro uniforme para el sitio de análisis en un periodo de retorno de 475 años.

**Tabla 14.**

*Aceleraciones espectrales como respuesta de R-CRISIS de la ciudad de Quito*

<b>Espectro de respuesta de aceleraciones</b>		
<b>R-CRISIS - QUITO</b>		
<b>T[s]</b>	<b>Sa [gals]</b>	<b>Sa [g]</b>
0	299.030	0.299
0.05	478.980	0.479
0.1	1044.000	1.044
0.15	1185.200	1.185
0.2	1103.700	1.104
0.25	1022.600	1.023
0.3	914.690	0.915
0.35	862.680	0.863
0.4	788.230	0.788
0.45	715.230	0.715
0.5	648.450	0.648
0.55	597.570	0.598
1	376.320	0.376
2	174.050	0.174
3	95.633	0.096

*Nota.* Indica la aceleración esperada en el sitio en base a las diferentes ordenadas espectrales consideradas en el modelo, para 475 años. Elaborada por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

**Figura 4324.**

*Espectro de respuesta de aceleraciones utilizando R-CRISIS para la ciudad de Quito*



*Nota.* Representación gráfica del espectro de amenaza sísmica en la ciudad de Quito, para un periodo de retorno de 475 años. Elaborada por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

## **4.2 Comparación entre el espectro de amenaza de la NEC-SE-DS 2015 y el espectro del Software R-CRISIS**

La importancia de realizar la comparación entre el espectro propuesto por normativa con el espectro que se obtiene del ejercicio utilizando el programa R-CRISIS, viene dada de la necesidad de identificar si lo obtenido mediante el software cumple con la NEC-SE-DS. Para el espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones de la NEC se ha propuesto la elaboración del mismo considerando un suelo tipo “A”, el cual de acuerdo a la norma es un perfil de suelo tipo roca. La razón por la cual se ha tomado en cuenta este tipo de suelo se debe a la información ingresada al software, específicamente a las profundidades de los puntos (sismicidad superficial) tomados en cuenta para la representación de las fuentes, las fallas sismogénicas y se han seleccionado leyes de atenuación aplicados a roca. Por ende, el análisis presentado como respuesta del software R-CRISIS se produce en la superficie (roca).

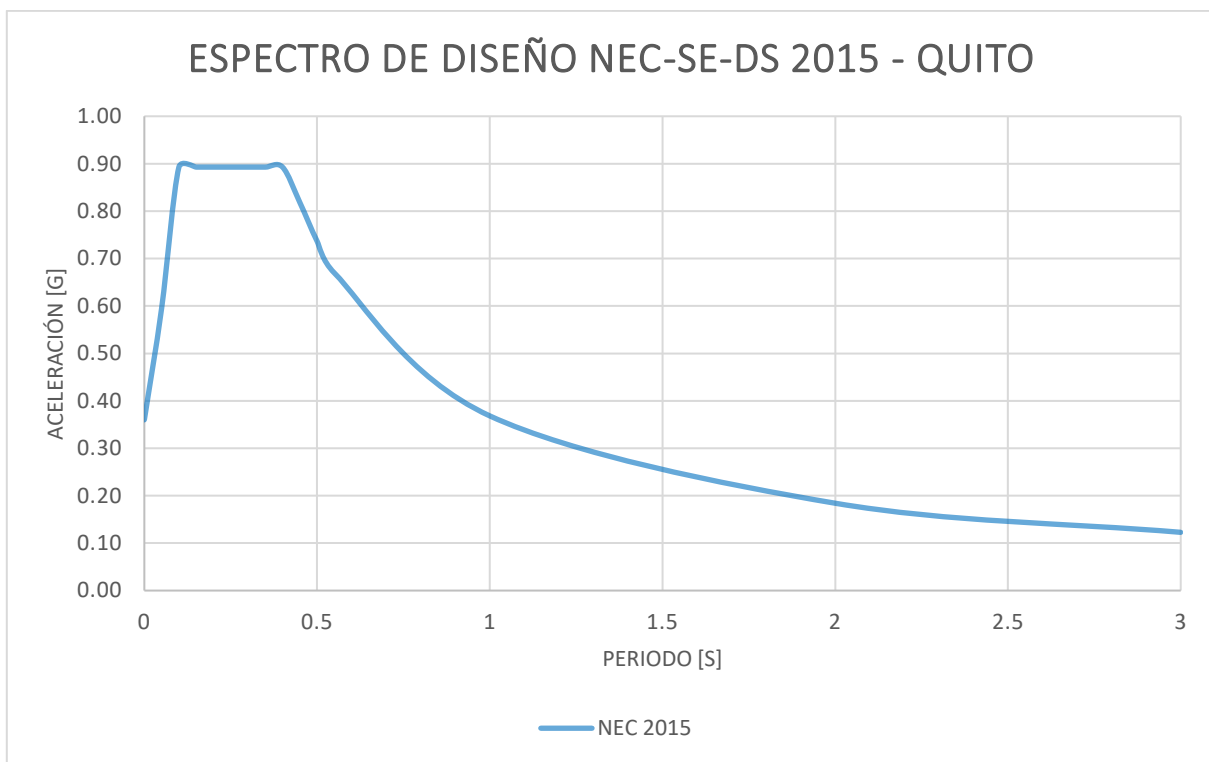
**Tabla 15.***Parámetros de acuerdo al perfil del suelo de Quito según NEC-SE-DS 2015*

<b>Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones [NEC-SE-DS]</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Región del Ecuador		Sierra	
Zona Sísmica		V	
Caracterización del peligro sísmico		Alta	
Aceleración máxima esperada en roca	<b>Z</b>	0.4	
Tipo de perfil de suelo		A	
Factor de sitio Fa	<b>Fa</b>	0.90	
Factor de sitio Fd	<b>Fd</b>	0.90	
Factor de comportamiento inelástico	<b>Fs</b>	0.75	
Relación de amplificación espectral	<b>η</b>	2.48	
Factor asociado al período de retorno	<b>r</b>	1.00	
Periodo límite de vibración	<b>To</b>	0.08	[s]
Periodo límite de vibración	<b>Tc</b>	0.41	[s]
Aceleración en T=0	<b>Sa</b>	0.360	[g]
Aceleración en To<T<Tc	<b>Sa</b>	0.893	[g]

*Nota.* Valores asignados de acuerdo a las especificaciones de la NEC-SE-DS 2015, para un factor de zona Z=0.4 para la ciudad de Quito. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de la NEC-SE-DS.

**Figura 44.**

*Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS 2015 de la ciudad de Quito*

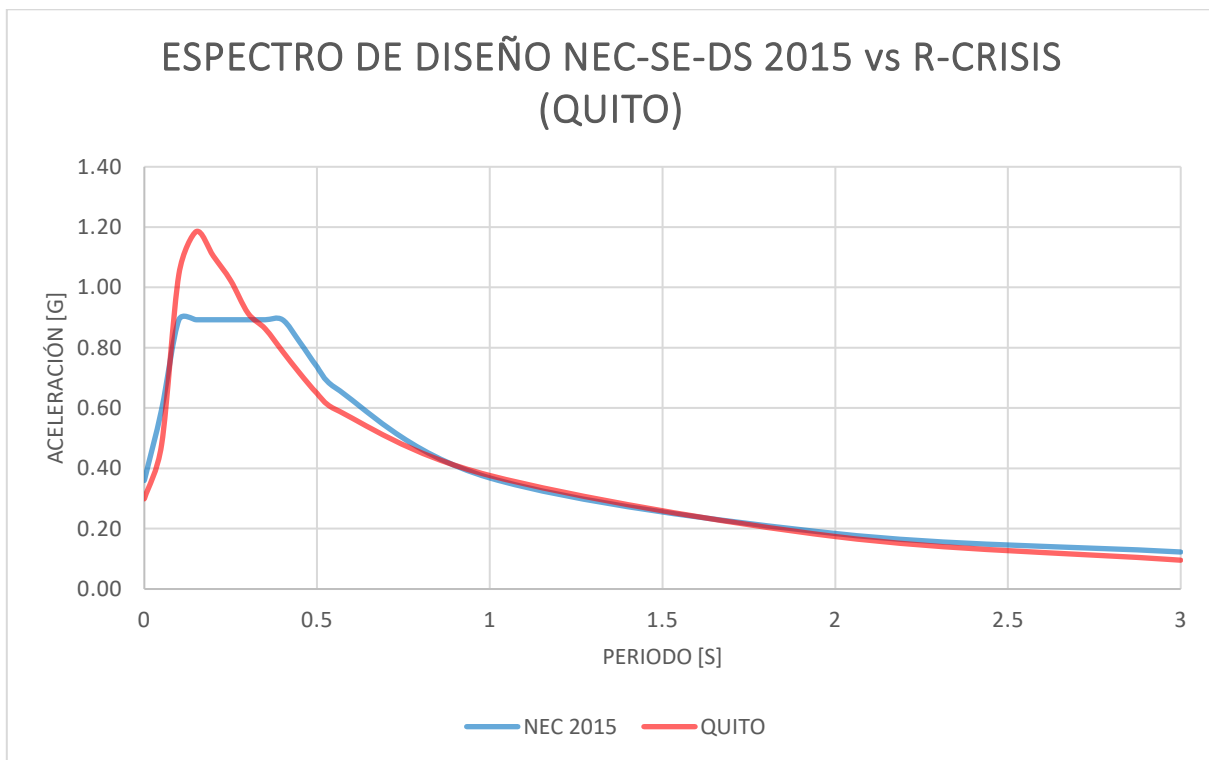


*Nota.* Curva de amenaza sísmica de la NEC-SE-DS 2015, para un periodo de retorno de 475 años de la ciudad de Quito. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de la NEC-SE-DS.

Se indica la comparación de ambos espectros de amenaza sísmica obteniendo así un resultado similar para un amplio rango de periodos, exceptuando el valor pico.

**Figura 25.**

*Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS 2015 vs R-CRISIS de la ciudad de Quito*



*Nota.* Comparación de Curva de amenaza sísmica de la NEC-SE-DS 2015 vs R-CRISIS de la ciudad de Quito, para un periodo de retorno de 475 años. Elaborada por: Las Autoras.

**Tabla 16.***Aceleraciones espectrales para la ciudad de “Quito”*

T[s]	Tr: 72 años		Tr: 225 años		Tr: 475 años		Tr: 1000 años		Tr: 2475 años	
	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]
0	1.35E+02	0.135	2.22E+02	0.222	299.030	0.299	3.95E+02	0.395	5.10E+02	0.510
0.05	2.11E+02	0.211	3.75E+02	0.375	478.980	0.479	6.18E+02	0.618	8.50E+02	0.850
0.1	4.60E+02	0.460	7.94E+02	0.794	1044.000	1.044	1.34E+03	1.340	1.83E+03	1.830
0.15	5.11E+02	0.511	9.14E+02	0.914	1185.200	1.185	1.55E+03	1.550	2.00E+03	2.000
0.2	4.78E+02	0.478	8.57E+02	0.857	1103.700	1.104	1.43E+03	1.430	1.99E+03	1.990
0.25	4.44E+02	0.444	7.64E+02	0.764	1022.600	1.023	1.32E+03	1.320	1.81E+03	1.810
0.3	4.00E+02	0.400	6.56E+02	0.656	914.690	0.915	1.17E+03	1.170	1.58E+03	1.580
0.35	3.77E+02	0.377	6.06E+02	0.606	862.680	0.863	1.10E+03	1.100	1.49E+03	1.490
0.4	3.33E+02	0.333	5.59E+02	0.559	788.230	0.788	1.03E+03	1.030	1.39E+03	1.390
0.45	2.93E+02	0.293	5.15E+02	0.515	715.230	0.715	9.58E+02	0.958	1.28E+03	1.280
0.5	2.61E+02	0.261	4.73E+02	0.473	648.450	0.648	8.88E+02	0.888	1.18E+03	1.180
0.55	2.39E+02	0.239	4.40E+02	0.440	597.570	0.598	8.21E+02	0.821	1.10E+03	1.100
1	1.48E+02	0.148	2.58E+02	0.258	376.320	0.376	4.92E+02	0.492	6.86E+02	0.686
2	6.76E+01	0.068	1.20E+02	0.120	174.050	0.174	2.32E+02	0.232	3.32E+02	0.332
3	3.59E+01	0.036	7.02E+01	0.070	95.633	0.096	1.32E+02	0.132	1.85E+02	0.185

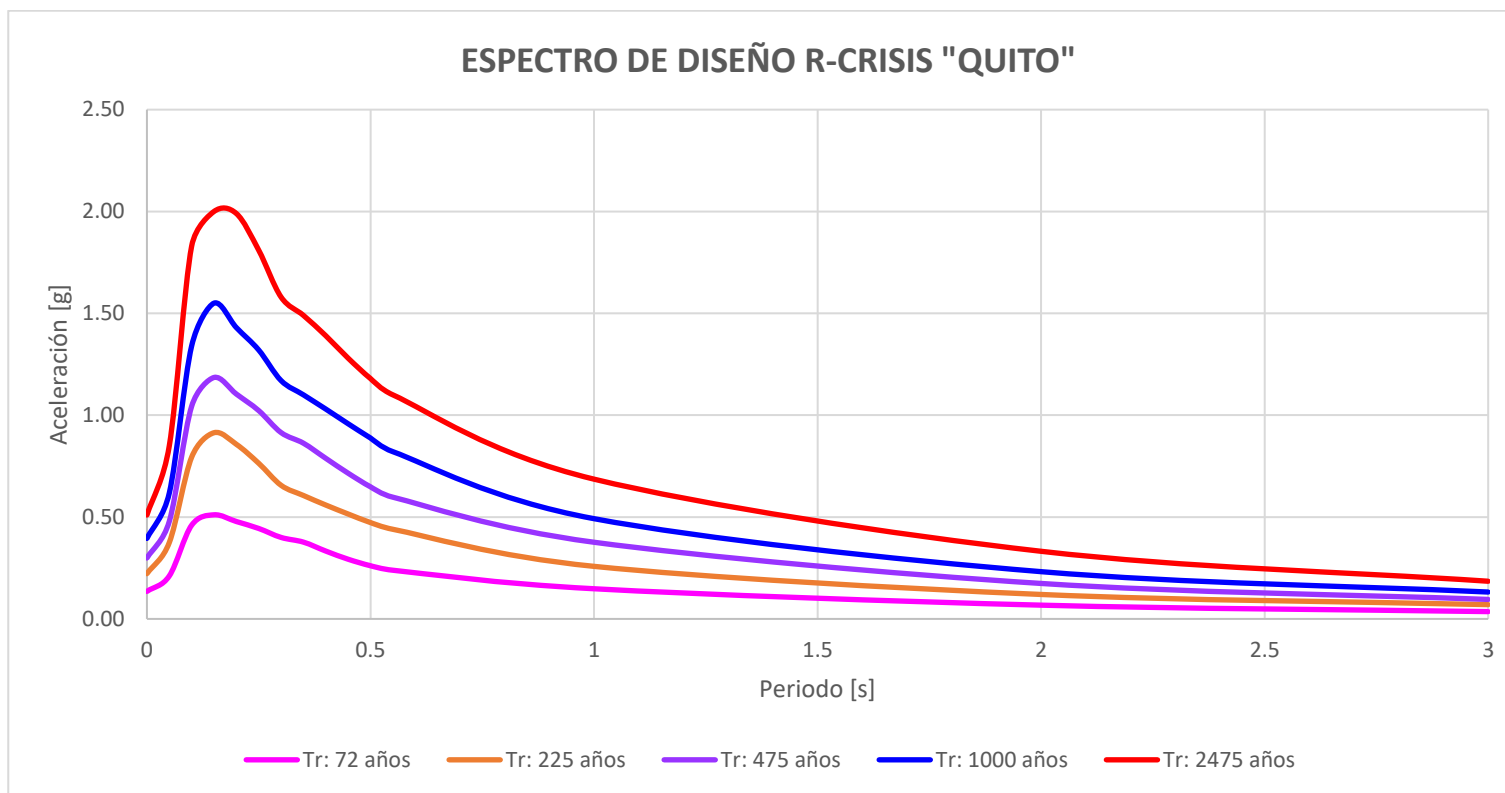
*Nota.* Indica los valores de aceleraciones espectrales de acuerdo a los diferentes periodos de retorno. Elaborado por: Las Autoras

con datos obtenidos de R-Crisis.



**Figura 26.**

*Representación gráfica de los diferentes espectros de peligro uniforme de la ciudad de "Quito"*



*Nota.* Presenta los espectros generados a partir de cada periodo de retorno ingresado al programa R-CRISIS. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

## CAPÍTULO V

### CASO APLICADO PARA 3 CIUDADES DE ECUADOR

El caso aplicado se realizará en 2 cantones y 1 parroquia de la provincia de Pichincha, con datos sismogénicos obtenidos de la página web <https://www.igepn.edu.ec/mapas/peligro-sismico/mapa-peligro-sismico.html> del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, los cuales serán ingresados dentro del programa R-CRISIS de acuerdo a cada parámetro que lo requiera. El análisis que se presenta es de tipo sismológico y sus resultados serán la respuesta de una serie de movimientos telúricos que permitan conocer las aceleraciones del suelo y con ello prever daños a futuros proyectos que se deseen desarrollar.

#### 5.1 Lugar de estudio

Se realizará el estudio en 3 cantones de la provincia de Pichincha:

1. Quito.
2. Mejía.
3. Puerto Quito.

#### 5.2 Coordenadas de las ciudades de estudio

**Tabla 17.**

*Ciudades que serán estudiadas*

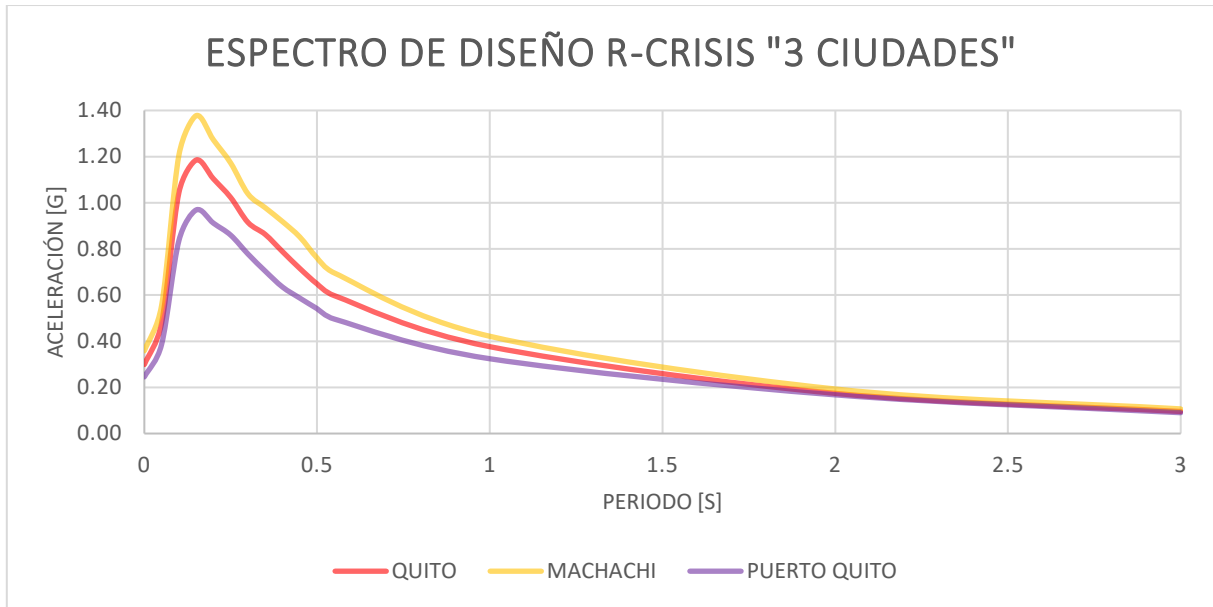
<b>Provincia:</b>	<b>Cantón-Parroquia:</b>	<b>Latitud:</b>	<b>Longitud:</b>
Pichincha	Quito	-0.225219	-78.5248
Pichincha	Machachi	-0.51011	-78.56712
Pichincha	Puerto Quito	0.117	-79.264

*Nota.* Contiene coordenadas de las 3 ciudades de la provincia de Pichincha que se van a estudiar. Elaborado por: Las Autoras con datos de City.com.

### 5.3 Resultado generados por R-CRISIS para el caso aplicado a 3 ciudades de Ecuador

Figura 4727.

*Espectro de amenaza sísmica de Quito, Machachi y Puerto Quito*



*Nota.* Curva de amenaza sísmica para 3 ciudades sometidas a estudio, para un periodo de retorno de 475 años. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

**Tabla 18.***Tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme de la ciudad Machachi*

Aceleración Espectral [gals]	Periodo [s]															
	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	1	2	3	
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
2.327E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
5.415E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
1.260E+01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.997E-01	9.839E-01
2.932E+01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.999E-01	9.520E-01	7.397E-01
6.822E+01	9.871E-01	9.999E-01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.999E-01	9.998E-01	9.605E-01	5.931E-01	2.664E-01
1.587E+02	5.774E-01	8.973E-01	9.997E-01	9.999E-01	9.997E-01	9.991E-01	9.960E-01	9.909E-01	9.806E-01	9.642E-01	9.373E-01	9.068E-01	5.805E-01	1.645E-01	4.148E-02	
3.694E+02	9.374E-02	3.035E-01	8.536E-01	9.082E-01	8.697E-01	8.140E-01	7.189E-01	6.570E-01	5.889E-01	5.212E-01	4.515E-01	3.958E-01	1.436E-01	2.004E-02	2.820E-03	
8.595E+02	4.877E-03	3.016E-02	2.560E-01	3.344E-01	2.847E-01	2.356E-01	1.739E-01	1.468E-01	1.222E-01	9.863E-02	7.802E-02	6.361E-02	1.508E-02	1.062E-03	7.619E-05	
2.000E+03	8.276E-05	1.103E-03	2.435E-02	3.845E-02	2.985E-02	2.290E-02	1.488E-02	1.224E-02	9.960E-03	7.487E-03	5.504E-03	4.258E-03	6.822E-04	2.217E-05	7.242E-07	

*Nota.* Resultados de la tabla de excedencia que proyecta el programa R-CRISIS para un periodo de tiempo de 50 años de los 15 periodos

considerados. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

**Tabla 19.**

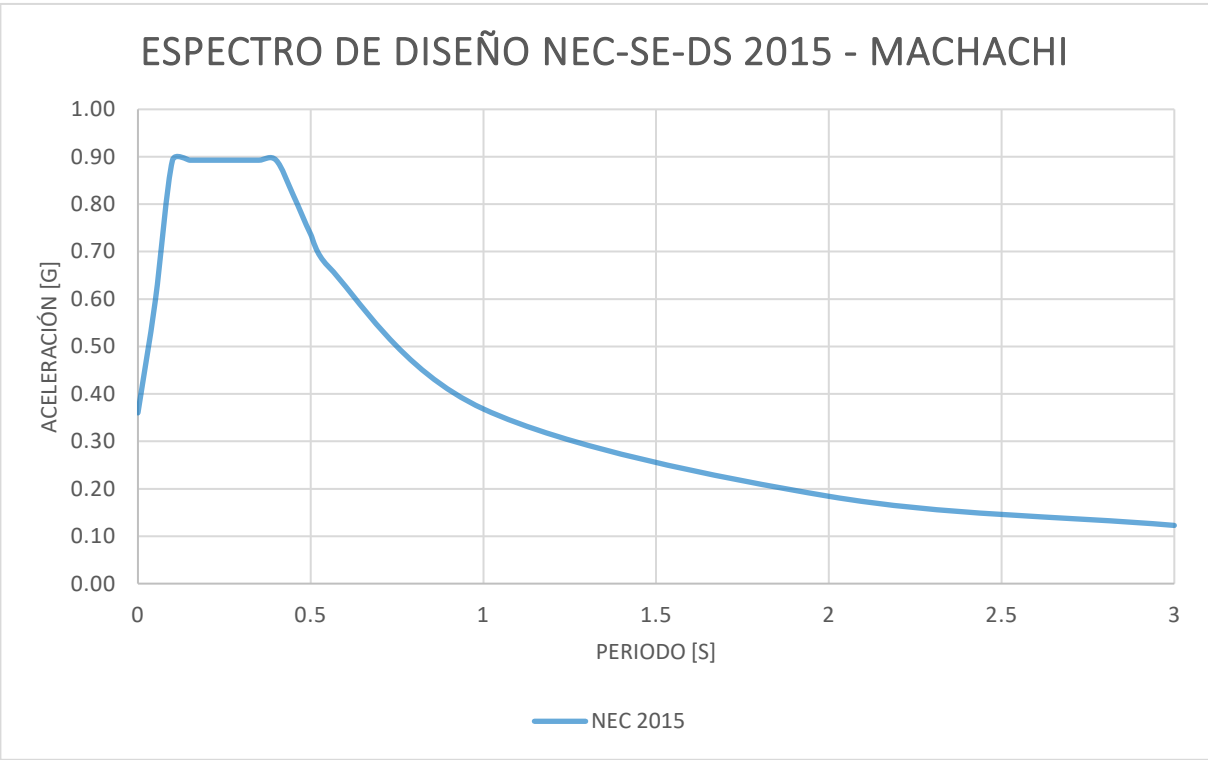
*Parámetros de acuerdo al perfil del suelo de Machachi según NEC-SE-DS 2015*

<b>Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones [NEC-SE-DS]</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Región del Ecuador		Sierra	
Zona Sísmica		V	
Caracterización del peligro sísmico		Alta	
Aceleración máxima esperada en roca	<b>Z</b>	0.4	
Tipo de perfil de suelo		A	
Factor de sitio Fa	<b>Fa</b>	0.90	
Factor de sitio Fd	<b>Fd</b>	0.90	
Factor de comportamiento inelástico	<b>Fs</b>	0.75	
Relación de amplificación espectral	<b>η</b>	2.48	
Factor asociado al período de retorno	<b>r</b>	1.00	
Periodo límite de vibración	<b>To</b>	0.08	[s]
Periodo límite de vibración	<b>Tc</b>	0.41	[s]
Aceleración en T=0	<b>Sa</b>	0.360	[g]
Aceleración en To<T<Tc	<b>Sa</b>	0.893	[g]

*Nota.* Valores asignados de acuerdo a las especificaciones de la NEC-SE-DS 2015, para un factor de zona Z=0.4 para la ciudad de Machachi. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de la NEC-SE-DS.

**Figura 4828.**

*Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS 2015 de la ciudad de Machachi*



*Nota.* Curva de amenaza sísmica de la NEC-SE-DS 2015, para un periodo de retorno de 475 años de la ciudad de Machachi. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de la NEC-SE-DS.

**Tabla 20.**

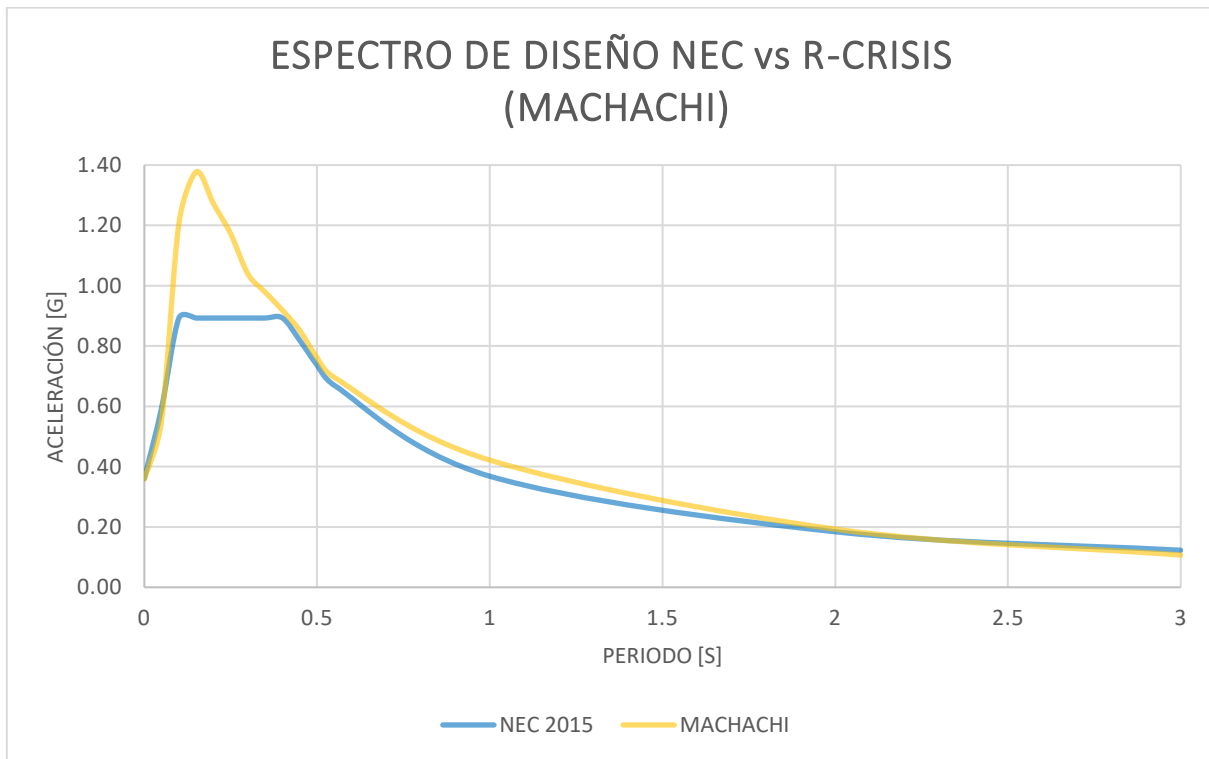
*Aceleraciones espectrales como respuesta de R-CRISIS de la ciudad de Machachi*

<b>Espectro de respuesta de aceleraciones</b>		
<b>R-CRISIS-Machachi</b>		
<b>T[s]</b>	<b>Sa [gals]</b>	<b>Sa [g]</b>
0	358.610	0.359
0.05	555.260	0.555
0.1	1206.100	1.206
0.15	1377.600	1.378
0.2	1272.300	1.272
0.25	1172.000	1.172
0.3	1038.500	1.039
0.35	978.350	0.978
0.4	918.310	0.918
0.45	851.610	0.852
0.5	760.940	0.761
0.55	695.680	0.696
1	421.590	0.422
2	193.030	0.193
3	1.07E+02	0.107

*Nota.* Indica la aceleración esperada en el sitio en base a las diferentes ordenadas espectrales consideradas en el modelo, para 475 años. Elaborada por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

**Figura 29.**

*Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS-2015 vs R-CRISIS de la ciudad de Machachi*



*Nota.* Comparación de Curva de amenaza sísmica de la NEC-SE-DS-2015 vs R-CRISIS de la ciudad de Machachi, para un periodo de retorno de 475 años. Elaborada por: Las Autoras.



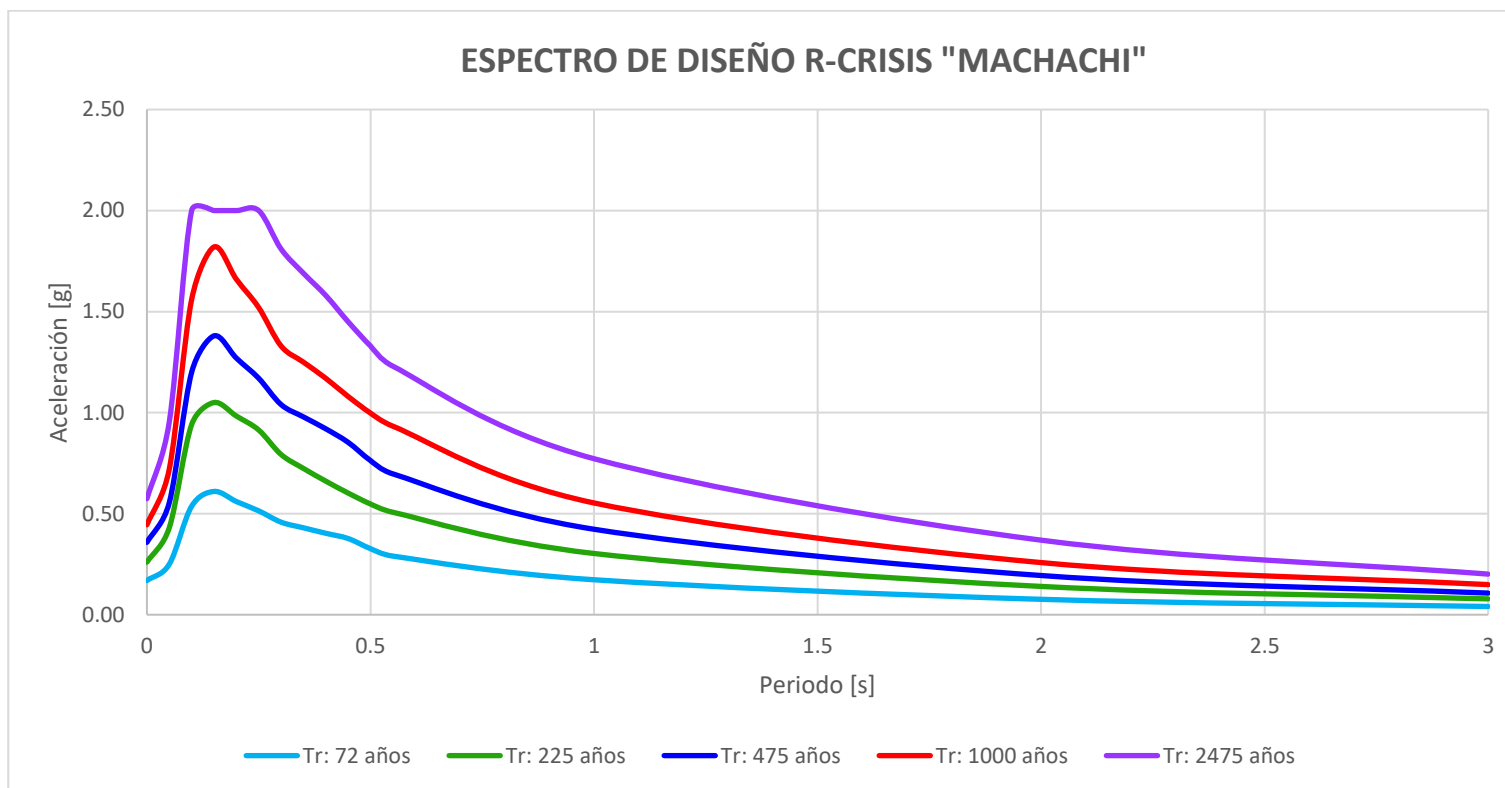
**Tabla 21.***Aceleraciones espectrales para la ciudad de “Machachi”*

T[s]	Tr: 72 años		Tr: 225 años		Tr: 475 años		Tr: 1000 años		Tr: 2475 años	
	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]
0	1.69E+02	0.169	2.60E+02	0.260	3.58E+02	0.358	4.45E+02	0.445	5.74E+02	0.574
0.05	2.50E+02	0.250	4.31E+02	0.431	5.55E+02	0.555	7.21E+02	0.721	9.55E+02	0.955
0.1	5.37E+02	0.537	9.41E+02	0.941	1.20E+03	1.200	1.56E+03	1.560	2.00E+03	2.000
0.15	6.10E+02	0.610	1.05E+03	1.050	1.38E+03	1.380	1.82E+03	1.820	2.00E+03	2.000
0.2	5.60E+02	0.560	9.83E+02	0.983	1.27E+03	1.270	1.66E+03	1.660	2.00E+03	2.000
0.25	5.14E+02	0.514	9.14E+02	0.914	1.17E+03	1.170	1.52E+03	1.520	2.00E+03	2.000
0.3	4.58E+02	0.458	7.93E+02	0.793	1.04E+03	1.040	1.33E+03	1.330	1.81E+03	1.810
0.35	4.30E+02	0.430	7.24E+02	0.724	9.79E+02	0.979	1.25E+03	1.250	1.69E+03	1.690
0.4	4.03E+02	0.403	6.61E+02	0.661	9.20E+02	0.920	1.17E+03	1.170	1.58E+03	1.580
0.45	3.77E+02	0.377	6.02E+02	0.602	8.53E+02	0.853	1.08E+03	1.080	1.45E+03	1.450
0.5	3.27E+02	0.327	5.48E+02	0.548	7.63E+02	0.763	9.98E+02	0.998	1.33E+03	1.330
0.55	2.90E+02	0.290	5.07E+02	0.507	6.97E+02	0.697	9.33E+02	0.933	1.23E+03	1.230
1	1.73E+02	0.173	3.03E+02	0.303	4.23E+02	0.423	5.53E+02	0.553	7.72E+02	0.772
2	7.62E+01	0.076	1.40E+02	0.140	1.94E+02	0.194	2.58E+02	0.258	3.69E+02	0.369
3	4.07E+01	0.041	7.83E+01	0.078	1.07E+02	0.107	1.49E+02	0.149	2.01E+02	0.201

*Nota.* Indica los valores de aceleraciones espectrales de acuerdo a los diferentes periodos de retorno. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

**Figura 5030.**

*Representación gráfica de los diferentes espectros de peligro uniforme de la ciudad de "Machachi"*



*Nota.* Presenta los espectros generados a partir de cada periodo de retorno ingresado al programa R-CRISIS. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

**Tabla 22.***Tasa de excedencia anual para las curvas de peligro uniforme de la ciudad Puerto Quito*

Aceleración Espectral [gals]	Periodo [s]															
	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	1	2	3	
1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
2.327E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00
5.415E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.980E-01
1.260E+01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.889E-01	8.719E-01
2.932E+01	9.987E-01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.933E-01	7.560E-01	4.501E-01
6.822E+01	7.625E-01	9.688E-01	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	1.000E+00	9.999E-01	9.996E-01	9.983E-01	9.957E-01	9.897E-01	9.769E-01	7.570E-01	3.354E-01	1.532E-01	
1.587E+02	2.470E-01	5.003E-01	9.568E-01	9.807E-01	9.661E-01	9.390E-01	8.930E-01	8.450E-01	7.844E-01	7.313E-01	6.723E-01	5.933E-01	3.048E-01	1.061E-01	3.749E-02	
3.694E+02	4.149E-02	1.105E-01	4.733E-01	5.701E-01	5.138E-01	4.523E-01	3.881E-01	3.376E-01	2.892E-01	2.554E-01	2.230E-01	1.770E-01	7.798E-02	2.280E-02	5.220E-03	
8.595E+02	2.951E-03	1.253E-02	9.935E-02	1.397E-01	1.212E-01	1.051E-01	8.829E-02	7.345E-02	6.021E-02	5.135E-02	4.322E-02	3.101E-02	1.158E-02	2.598E-03	3.224E-04	
2.000E+03	6.703E-05	5.931E-04	1.102E-02	1.809E-02	1.497E-02	1.281E-02	1.047E-02	8.187E-03	6.305E-03	5.092E-03	4.042E-03	2.594E-03	7.691E-04	1.271E-04	7.456E-06	

*Nota.* Resultados de la tabla de excedencia que proyecta el programa R-CRISIS para un periodo de tiempo de 50 años de los 15 periodos

considerados. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

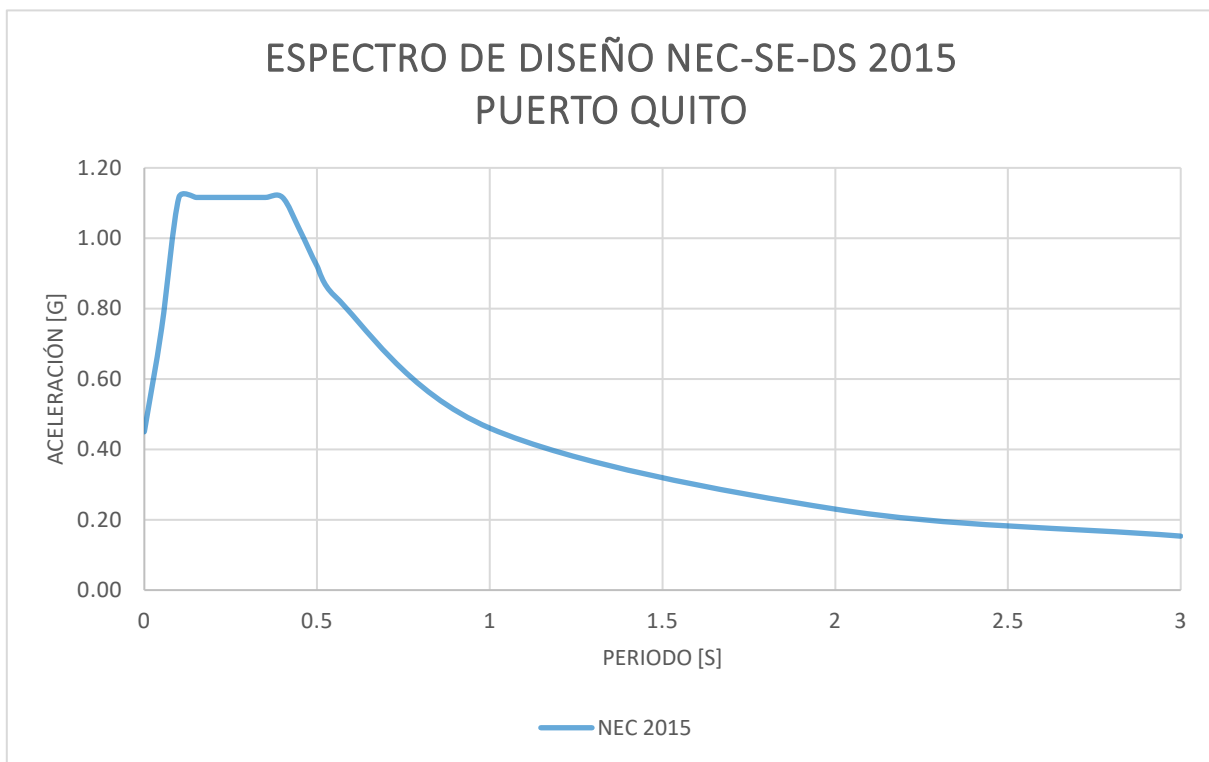
**Tabla 23.***Parámetros de acuerdo al perfil del suelo de Puerto Quito según NEC-SE-DS 2015*

<b>Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones [NEC-SE-DS]</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Región del Ecuador		Sierra	
Zona Sísmica		VI	
Caracterización del peligro sísmico		Muy alta	
Aceleración máxima esperada en roca	<b>Z</b>	0.5	
Tipo de perfil de suelo		A	
Factor de sitio Fa	<b>Fa</b>	0.90	
Factor de sitio Fd	<b>Fd</b>	0.90	
Factor de comportamiento inelástico	<b>Fs</b>	0.75	
Relación de amplificación espectral	<b><math>\eta</math></b>	2.48	
Factor asociado al período de retorno	<b>r</b>	1.00	
Periodo límite de vibración	<b>T<sub>o</sub></b>	0.08	[s]
Periodo límite de vibración	<b>T<sub>c</sub></b>	0.41	[s]
Aceleración en T=0	<b>Sa</b>	0.450	[g]
Aceleración en T <sub>o</sub> <T<T <sub>c</sub>	<b>Sa</b>	1.116	[g]

*Nota.* Valores asignados de acuerdo a las especificaciones de la NEC-SE-DS 2015, para un factor de zona Z=0.5 para la ciudad de Puerto Quito. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de la NEC-SE-DS.

**Figura 5131.**

*Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS 2015 de la ciudad de Puerto Quito*



*Nota.* Curva de amenaza sísmica de la NEC-SE-DS 2015, para un periodo de retorno de 475 años de la ciudad de Puerto Quito. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de la NEC-SE-DS.

**Tabla 24.**

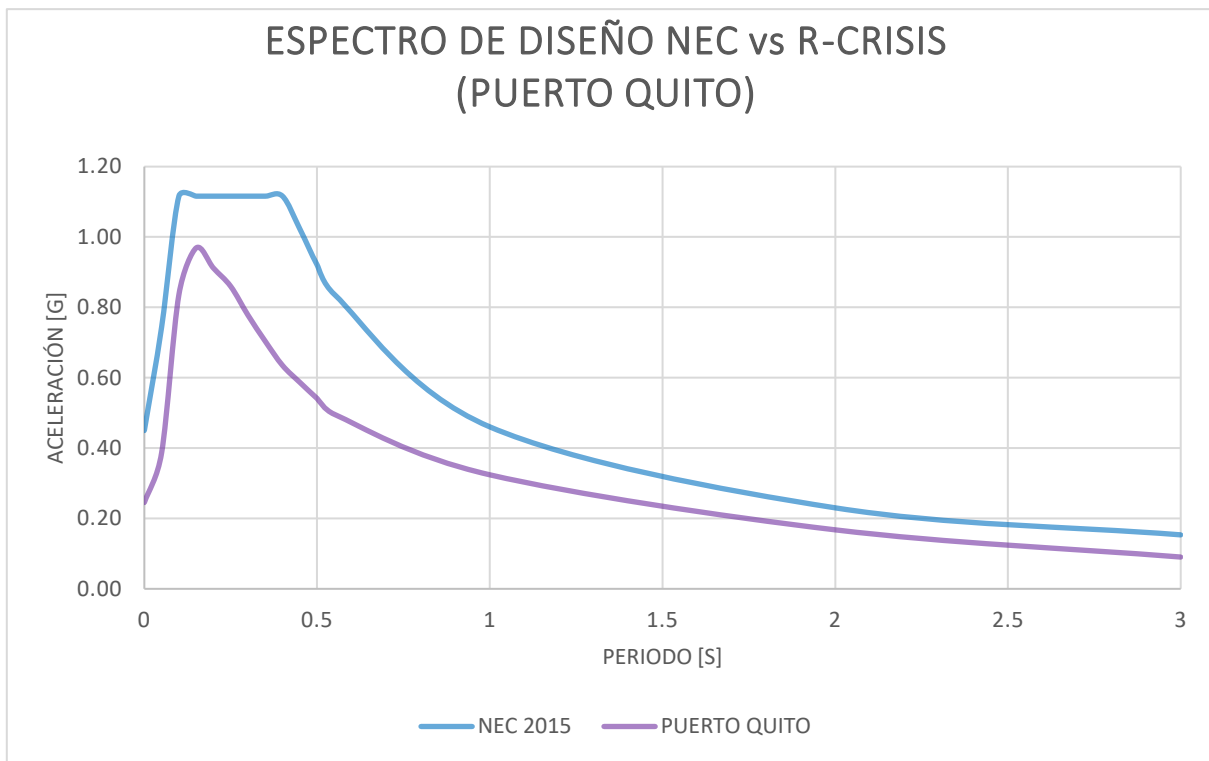
*Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones de la ciudad de Puerto Quito*

<b>Espectro de respuesta de aceleraciones</b>		
<b>R-CRISIS-Puerto Quito</b>		
<b>T[s]</b>	<b>Sa [gals]</b>	<b>Sa [g]</b>
<b>0</b>	245.320	0.245
<b>0.05</b>	386.550	0.387
<b>0.1</b>	836.050	0.836
<b>0.15</b>	968.920	0.969
<b>0.2</b>	911.590	0.912
<b>0.25</b>	859.600	0.860
<b>0.3</b>	777.750	0.778
<b>0.35</b>	703.610	0.704
<b>0.4</b>	634.890	0.635
<b>0.45</b>	586.910	0.587
<b>0.5</b>	540.970	0.541
<b>0.55</b>	496.030	0.496
<b>1</b>	324.120	0.324
<b>2</b>	167.660	0.168
<b>3</b>	9.04E+01	0.090

*Nota.* Indica la aceleración esperada en el sitio en base a las diferentes ordenadas espectrales consideradas en el modelo, para 475 años. Elaborada por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

**Figura 32.**

*Espectro de amenaza del diseño de la NEC-SE-DS-2015 vs R-CRISIS de la ciudad de Puerto Quito*



*Nota.* Comparación de Curva de amenaza sísmica de la NEC-SE-DS-2015 vs R-CRISIS de la ciudad de Puerto Quito, para un periodo de retorno de 475 años. Elaborada por: Las Autoras.

**Tabla 25.***Aceleraciones espectrales para la ciudad de “Puerto Quito”*

T[s]	Tr: 72 años		Tr: 225 años		Tr: 475 años		Tr: 1000 años		Tr: 2475 años	
	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]	Sa [gals]	Sa [g]
0	9.40E+01	0.094	1.77E+02	0.177	2.45E+02	0.245	3.45E+02	0.345	4.69E+02	0.469
0.05	1.59E+02	0.159	2.68E+02	0.268	3.87E+02	0.387	5.11E+02	0.511	7.23E+02	0.723
0.1	3.35E+02	0.335	5.79E+02	0.579	8.37E+02	0.837	1.11E+03	1.110	1.56E+03	1.560
0.15	3.93E+02	0.393	6.80E+02	0.680	9.69E+02	0.969	1.30E+03	1.300	1.88E+03	1.880
0.2	3.69E+02	0.369	6.29E+02	0.629	9.12E+02	0.912	1.22E+03	1.220	1.74E+03	1.740
0.25	3.19E+02	0.319	5.80E+02	0.580	8.60E+02	0.860	1.14E+03	1.140	1.63E+03	1.630
0.3	2.78E+02	0.278	5.28E+02	0.528	7.78E+02	0.778	1.06E+03	1.060	1.51E+03	1.510
0.35	2.51E+02	0.251	4.83E+02	0.483	7.04E+02	0.704	9.83E+02	0.983	1.38E+03	1.380
0.4	2.27E+02	0.227	4.41E+02	0.441	6.35E+02	0.635	9.08E+02	0.908	1.26E+03	1.260
0.45	2.11E+02	0.211	4.11E+02	0.411	5.87E+02	0.587	8.52E+02	0.852	1.18E+03	1.180
0.5	1.95E+02	0.195	3.82E+02	0.382	5.41E+02	0.541	7.78E+02	0.778	1.10E+03	1.100
0.55	1.81E+02	0.181	3.48E+02	0.348	4.96E+02	0.496	7.05E+02	0.705	1.01E+03	1.010
1	1.01E+02	0.101	2.10E+02	0.210	3.24E+02	0.324	4.64E+02	0.464	6.90E+02	0.690
2	4.56E+01	0.046	1.02E+02	0.102	1.68E+02	0.168	2.50E+02	0.250	3.97E+02	0.397
3	2.60E+01	0.026	5.70E+01	0.057	9.04E+01	0.090	1.40E+02	0.140	2.13E+02	0.213

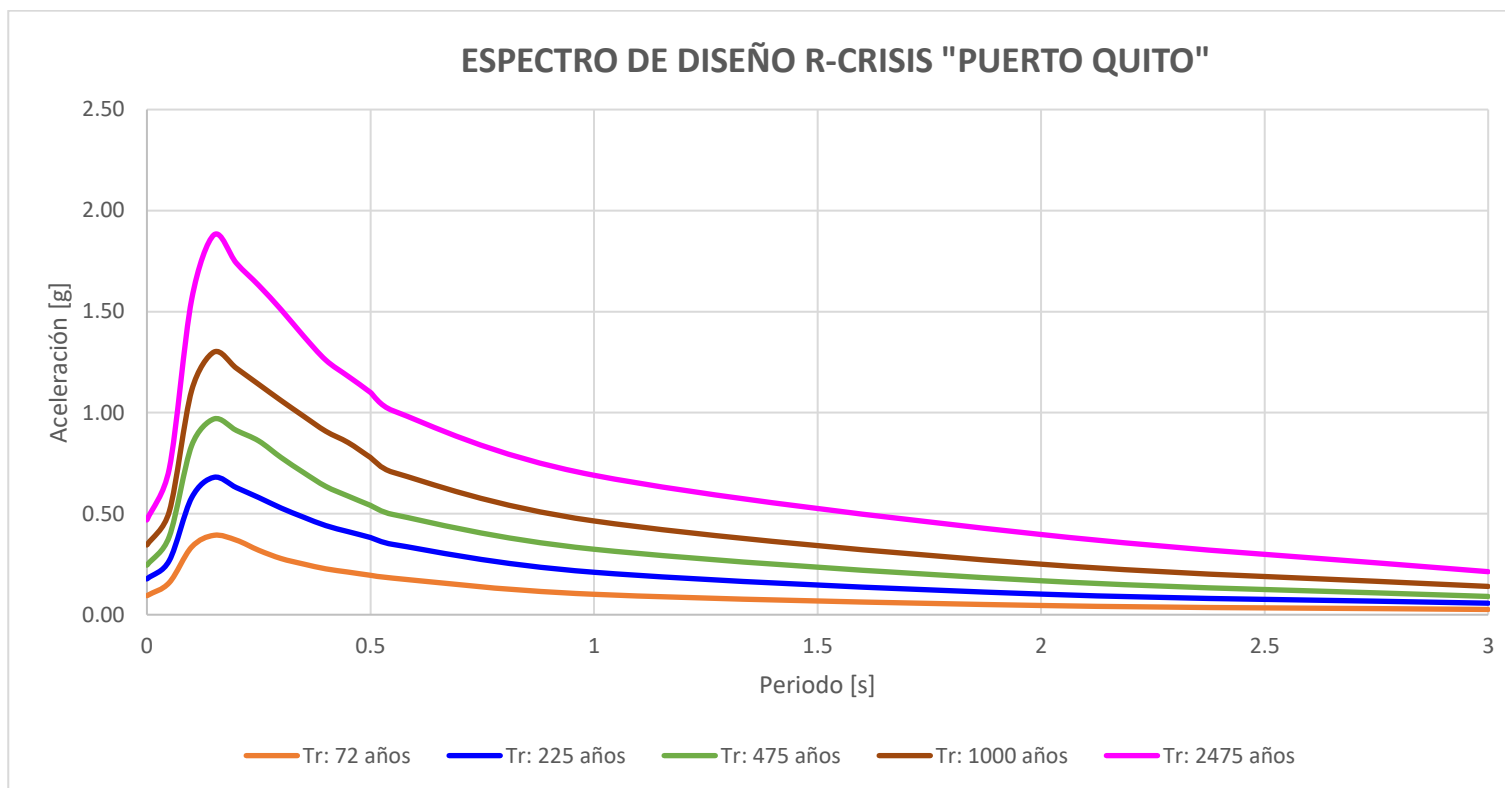
*Nota.* Indica los valores de aceleraciones espectrales de acuerdo a los diferentes periodos de retorno. Elaborado por: Las Autoras

con datos obtenidos de R-Crisis.



**Figura 533.**

*Representación gráfica de los diferentes espectros de peligro uniforme de la ciudad de “Puerto Quito”*

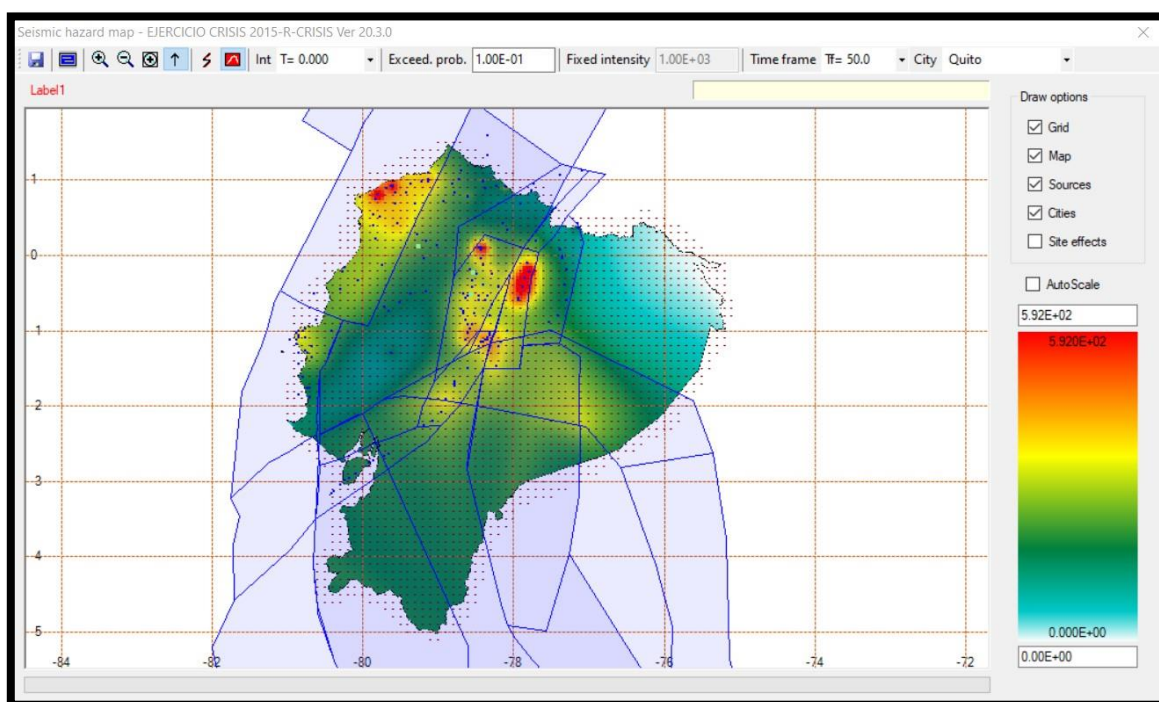


*Nota.* Presenta los espectros generados a partir de cada periodo de retorno ingresado al programa R-CRISIS. Elaborado por: Las Autoras con datos obtenidos de R-Crisis.

### 5.3 Mapa de Amenaza Sísmica

**Figura 344.**

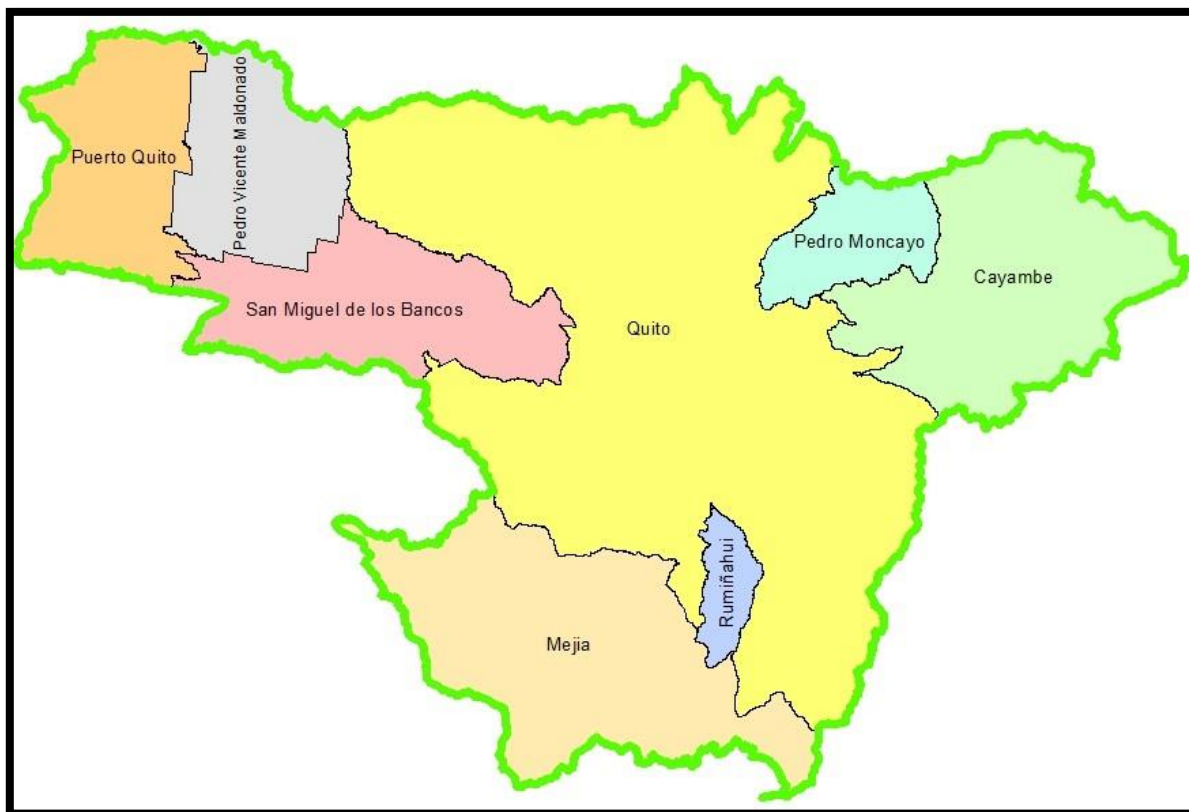
*Mapa de amenaza sísmica de las 3 ciudades estudiadas en Ecuador utilizando el Programa R-CRISIS*



*Nota.* La figura presenta el mapa de amenaza sísmica que se obtiene para un periodo de retorno de 475 años con una ordenada espectral en 0.0 segundos, mostrando así intensidades de aceleración del suelo de acuerdo a diferentes escalas de colores según la zona. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de R-CRISIS.

**Figura 5535.**

*Mapa político de Pichincha*

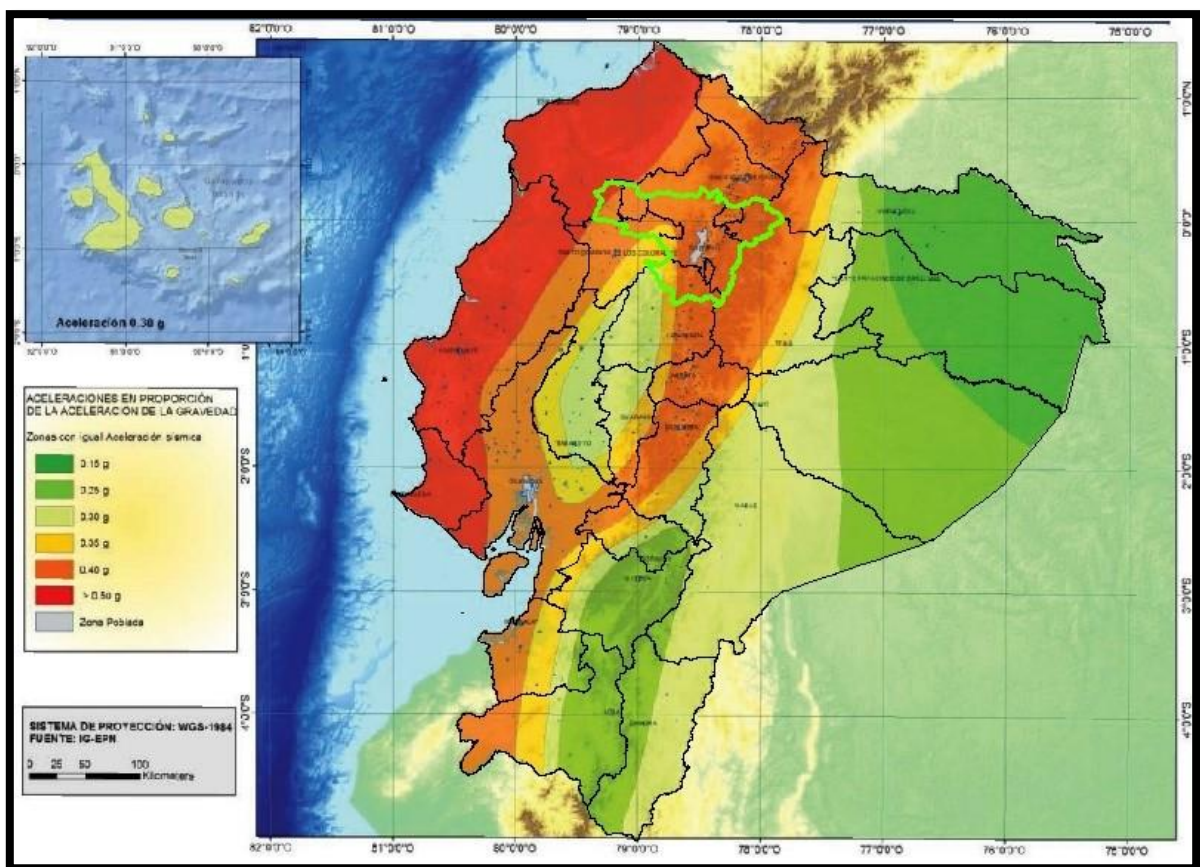


*Nota.* Se presenta el mapa de la provincia de Pichincha con sus respectivos cantones.

Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de ArcGIS.

**Figura 5636.**

*Mapa interactivo de peligro sísmico para Ecuador de acuerdo a la NEC-SE-DS 2015*

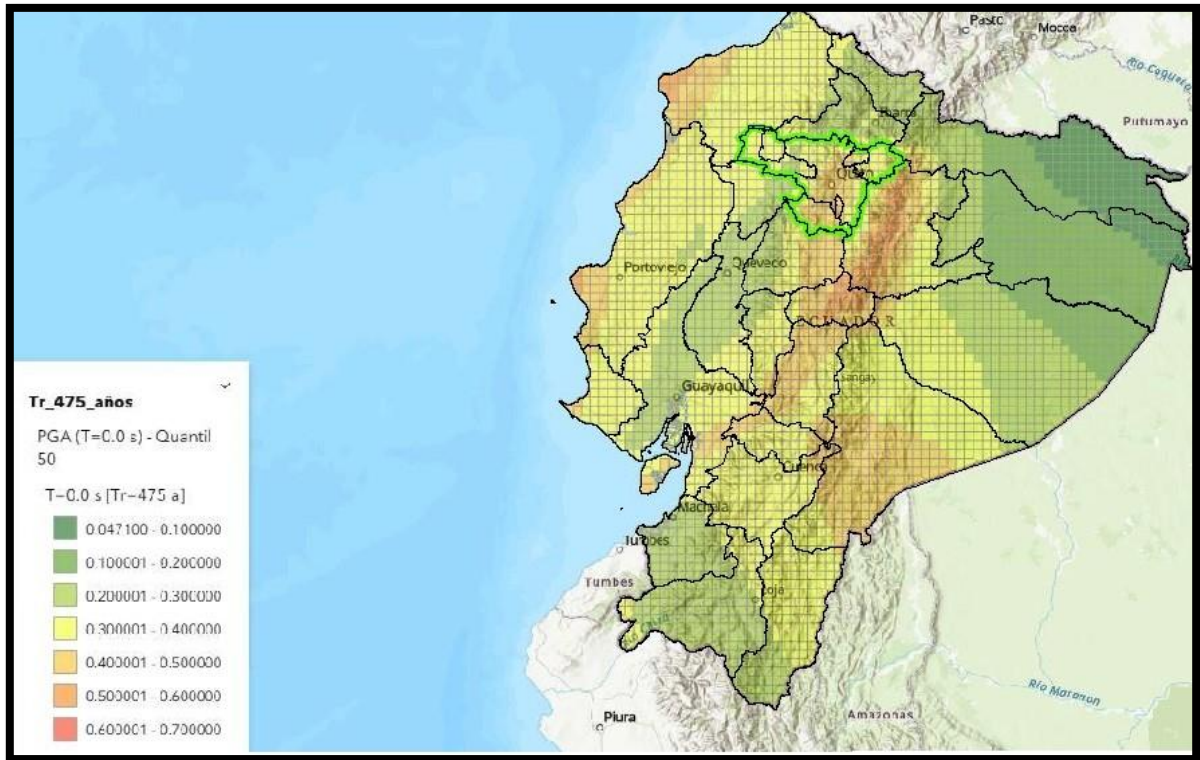


*Nota.* Representación gráfica de aceleraciones en proporción de la aceleración de la gravedad, propuesta por la normativa ecuatoriana de peligro sísmico NEC-SE-SD 2015.

Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida de la NEC-SE-SD 2015.

**Figura 5737.**

*Mapa interactivo de peligro sísmico para Ecuador de acuerdo al IGEPN*



*Nota.* Representación gráfica de aceleraciones en proporción de la aceleración de la gravedad actualizadas, propuesta por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. Elaborado por: Las Autoras en base a la imagen obtenida del IGEPN.

Como se puede notar dentro del espectro de amenaza sísmica generado para las 3 ciudades analizadas (figura 47), se presenta un análisis comparativo donde a simple vista se puede observar que las aceleraciones indicadas en Puerto Quito son inferiores de las otras dos ciudades. Lo cual corresponde con el nuevo mapa de amenaza que presenta el IGEPN para Puerto Quito con aceleraciones entre (0.3-0.4g), para Quito y Machachi valores entre (0.4-0.5g), a diferencia de la NEC-SE-DS 2015 que obedece a una zonificación de tipo territorial normalmente realizada en las normas de diseño donde, Puerto Quito presenta un  $Z=0.5g$  y Quito, Machachi  $Z=0.4g$ .

## CONCLUSIONES

El presente manual de usuario generado cuenta con el paso a paso detallado de como deberá ingresar la data y además de contar con el proceso que permite extraer del programa las tasas de excedencia y el espectro de peligro uniforme para diferentes periodos de retorno.

Al ser un análisis donde se han tomado leyes de atenuación aplicables a roca las respuestas de amenaza obtenidas son aplicables al basamento rocoso. Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, para generar el espectro de la NEC-SE-DS 2015 se consideró un perfil de suelo de tipo A (perfil de roca competente).

Se concluye que visualmente y numéricamente la comparación entre los espectros ( $T_r=475$  años) presentados por R-Crisis para Quito vs el de la NEC-SE-DS 2015 es muy notorio debido a las grandes intensidades que se generan en el sitio de análisis, siendo el pico de la curva que genera el software R-CRISIS de  $1.185 [g]$  a comparación de la NEC con un valor de  $0.893 [g]$ . Sin embargo, exceptuando el valor pico, existe gran correspondencia entre los valores de aceleración derivados de la NEC y el obtenido con el programa Crisis en un amplio rango de frecuencias.

Mediante la ejecución de dos modelos considerandos, el primero únicamente con fuentes sismogénicas (tipo área) y el segundo con fuentes sismogénicas (tipo área) combinados con modelos de falla (tipo puntos), se encontró gran diferencia en cuanto a las intensidades generadas en cada zona. La posible causa sería que al considerar más puntos internos (coordenadas geográficas) de modelos de falla o de sismos ocurridos en el pasado dentro de cada área considerada, se mejora apreciablemente la predicción de las aceleraciones esperadas en un sitio en particular para un periodo de retorno y vida útil prefijado.

R-Crisis permite ingresar las coordenadas geográficas de diferentes maneras como: área, línea, puntos (SSG), área-plana y red (grid), según los requerimientos del usuario. Sin embargo, mediante el análisis realizado como parte fundamental para la creación del manual de manejo fue necesario considerar los diferentes medios, con el fin de definir la manera por la cual se obtengan valores más exactos. No obstante, se pudo observar que el programa no admite la consideración de puntos y líneas o áreas y líneas en un mismo modelo.

La manera correcta para identificar el tipo de falla a considerarse dependerá únicamente del ángulo de la falla (Dip) y de la dirección en la cual se mueve el bloque durante la ruptura (Rake), con lo que es posible clasificarlo como: falla normal, falla inversa o deslizamiento lateral. Por tanto, es más factible considerar los valores de K1 y K2 para cada fuente sismogénica o modelo de falla dentro del software R-CRISIS.

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis sísmico probabilístico para la ciudad de Quito, Machachi y Puerto Quito de acuerdo a los diferentes periodos de retorno considerados se tienen los siguientes valores picos:

<b>Quito:</b>	<b>Machachi:</b>	<b>Puerto Quito:</b>
Tr=72años (0.511g);	Tr=72años (0.610g);	Tr=72años (0.393g);
Tr=225años (0.914g);	Tr=225años (1.050g);	Tr=225años (0.680g);
Tr=475años (1.185g);	Tr=475años (1.380g);	Tr=475años (0.969g);
Tr=1000años (1.550g);	Tr=1000años (1.820g);	Tr=1000años (1.300g);
Tr=2475años (2.000g)	Tr=2475años (2.000g)	Tr=2475años (1.880g)

Mediante la observación hecha entre el mapa interactivo de amenaza sísmica para Ecuador elaborados por: la NEC-SE-DS 2015 y el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, se puede notar la variabilidad que existe en cuanto a las aceleraciones que se presentan en cada zona. Esto se debe a la posible falta de actualización de datos con los que se trabajó la norma ecuatoriana o a la homogenización que se considera en cada sitio desde el punto de vista del mapa político. Siendo así, se concluye que el mapa con aceleraciones más actuales es el generado por el IGEPN.



## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda solicitar al Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, generar una base de datos donde abarque información completa específicamente coordenadas geográficas de las fuentes sismogénicas y de los modelos de falla existentes en Ecuador, además de los parámetros sismogénicos de cada fuente.

Ampliar la información recolectada con el fin de generar un registro más completo que ayude a la obtención de resultados más exactos, favoreciendo a futuras generaciones que les interese ampliar su conocimiento en cuanto al análisis sísmico.

Se sugiere trabajar los modelos mediante áreas o a su vez se puede combinar el formato de áreas y puntos con el objetivo de mejorar la predicción de las aceleraciones en un sitio en particular.

Se aconseja al usuario que considere ingresar las coordenadas de cada fuente en sentido antihorario, tal y como lo recomiendan los creadores del programa, para evitar errores en los cálculos que realiza el software.

Se propone a la Universidad, promover la investigación y algunos trabajos de práctica en favor de la población en estas zonas de alto riesgo sísmico.

Para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema, se recomienda que la computadora donde se instale R-CRISIS cumpla con los siguientes requisitos de hardware: PC con un procesador Intel CORE i5 (o superior), una velocidad de procesador superior a 3,5 GHz, una capacidad libre de disco duro de 10,0 GB y por último 1 GB de memoria extendida (RAM).

## REFERENCIAS

- Aguiar Falconí, R., García, E., & Villamarín, J. (2010). Leyes De Atenuación para Sismos Corticales y de Subducción para el Ecuador. *Revista Ciencia de la Escuela Politécnica del Ejercito*, 13, 1–18.  
[https://www.researchgate.net/publication/266877479\\_LEYES\\_DE\\_ATENUACION\\_PARA\\_SISMOS\\_CORTICALES\\_Y\\_DE\\_SUBDUCCION\\_PARA\\_EL\\_ECUADOR](https://www.researchgate.net/publication/266877479_LEYES_DE_ATENUACION_PARA_SISMOS_CORTICALES_Y_DE_SUBDUCCION_PARA_EL_ECUADOR)
- Aguilar, A., Arboleda, J., D'Amico, V., Martineli, F., Meletti, C & Ordaz, M. (2017). Program for computing seismic hazard. <http://www.r-crisis.com/>
- Alvarado, A., Audin, L., Baize, S., Nocquet, J-M, Jomard, H., Mothes, P. y Jarrin, P. (2014). *Características de la deformación cortical en el Ecuador*.  
<https://www.igeppn.edu.ec/8isag-abstracts/plenary-talks/22777-alvarado-et-al/file>
- Arias, F. G. (Ed.). (2012). *El Proyecto de Investigación*. (6ta ed.). Editorial Episteme.  
[https://www.academia.edu/23573985/El\\_proyecto\\_de\\_investigaci3n\\_6ta\\_Edici3n\\_Fi\\_dias\\_G\\_Arias\\_FREELIBROS\\_ORG](https://www.academia.edu/23573985/El_proyecto_de_investigaci3n_6ta_Edici3n_Fi_dias_G_Arias_FREELIBROS_ORG)
- Barbat, A. H. (2015). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad de edificios de mampostería* [Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas/ ESPE, Ecuador]. Archivo digital.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/27297?locale-attribute=es>
- Calduch Cervera, R. (2018). *Métodos y Técnicas Internacionales*. Repositorio Institucional-UCM.  
[https://www.ucm.es/data/cont/docs/835-2018-03-01-Metodos\\_y\\_Tecnicas\\_de\\_Investigacion\\_Internacional\\_v2.pdf](https://www.ucm.es/data/cont/docs/835-2018-03-01-Metodos_y_Tecnicas_de_Investigacion_Internacional_v2.pdf)

Cañizares Ortega, F. (2017). *Selección de Ecuaciones de Atenuación (GMPES) Compatibles con el Sistema de Fallas de Quito* [Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18981/1/CD-8377.pdf>

Céline Beauval. (2021). *Mapa de peligrosidad sísmica de Ecuador*.

<https://lemag.ird.fr/es/mapa-de-peligrosidad-sismica-de-ecuador>

Chavez Vasquez, G., Chuquiruna Hurtado, W., & Roque Julca, A. (2014). *Análisis de Peligro Sísmico Con R-CRISIS*. Scribd.

<https://es.scribd.com/document/256142709/Estudio-de-Peligro-Sismico-Usando-El-Software-Crisis-2007>

Chica Carvajal, C. A., & Morán Parrales, R. J. (2020). *Determinación del Período de Retorno de Sismos Históricos en Ecuador* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Ecuador]. Archivo digital.

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/15745/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-372.pdf.pdf>

Cronin, V. (2010). *A Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists*.

[http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/structure04/Focal\\_mechanism\\_primer.pdf](http://serc.carleton.edu/files/NAGTWorkshops/structure04/Focal_mechanism_primer.pdf)

Es-academic.com. (s.f.). *Falla*.

<https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/473788>

Gonzales Galindo, L. G. (2016). *“Evaluación de Peligro Sísmico en La Ciudad de Arequipa y el Distrito de Cabanaconde, Provincia de Caylloma, Región Arequipa y su Aplicación en el Diagnostico de Riesgo Sísmico de Cabanaconde”* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María, Peru]. Archivo digital.

<https://1library.co/document/qokvj35y-evaluacion-sismico-arequipa-cabanaconde-provincia-aplicacion-diagnostico-cabanaconde.html>

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2011). *Estudio sísmico de la zona de subducción frente a las costas de Manabí.*

<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/425-estudio-s%C3%ADsmico-de-la-zona-de-subducci%C3%B3n-frente-a-las-costas-de-manab%C3%AD#:~:text=Debemos%20recordar%20que%20la%20zona,al%20sismo%20del%2014%20de>

Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional. [IGEPN] (2022, 14 de diciembre). *Mapa digital interactivo de peligro sísmico para Ecuador.*

<https://www.igepn.edu.ec/mapas/peligro-sismico/mapa-peligro-sismico.html>

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2022). *¿Por qué se producen los sismos en nuestro país.* IGEPN.

<https://www.igepn.edu.ec/preguntas-frecuentes?tmpl=component&faqid=22>

Instituto Geofísico EPN. (2022). *Catálogo actual, catálogo homogenizado e informes sísmicos.* IGEPN.

<https://www.igepn.edu.ec/mapa-ultimos-sismos>

Library.com. (s.f.). *Leyes de Atenuación.*

<https://1library.co/document/z1rvw0dq-leyes-de-atenuacion.html>

- Mariniere, J. (2020). *Improving earthquake forecast models for PSHA with geodetic data, applied on Ecuador*. [Doctoral thesis, University Grenoble Alpes]  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2016000100001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001)
- Ministerio de Educación. (s.f.). *Mapa nacional de coordinaciones zonales y direcciones distritales*.  
<https://educacion.gob.ec/distritos-educativos/>
- NEC-SE-DS. (2015). *Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*. Habitat y vivienda.  
<https://doi.org/10.1533/9781782420477.27>
- Nicomedes, E. (2018). *Tipos de investigación*. CORE.  
[https://core.ac.uk/display/250080756?utm\\_source=pdf&utm\\_medium=banner&utm\\_campaign=pdf-decoration-v1](https://core.ac.uk/display/250080756?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1)
- Ojeda, A. (2020). *Geología de Quito: fallas y sismicidad*. Geotecnia Fácil.  
<https://geotecniafacil.com/geologia-fallas-quito/>
- Quinde Martínez, P y Reinoso Angulo, E. (2016). *Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2016000100001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001)
- Quizanga Martínez, D. M. (2015). *Espectros Específicos para la ciudad de Quito en función de las Fallas Ciegas Inversas*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador]. Archivo digital.  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11856%0A>

- Rivas Medina, A., Aguiar, R., Benito, M. B., Gaspar Escribano, J., & Parra, H. (2014). Determinación el período de recurrencia y magnitud máxima para el control de las estructuras en el rango elástico ante un sismo asociado a las fallas inversas de Quito. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 19.2, 1–20.  
[https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguiar/publication/279205623\\_Determinacion\\_el\\_periodo\\_de\\_recurrencia\\_y\\_magnitud\\_maxima\\_para\\_el\\_control\\_de\\_las\\_estructuras\\_en\\_el\\_rango\\_elastico\\_ante\\_un\\_sismo\\_asociado\\_a\\_las\\_fallas\\_inversas\\_de\\_Quito/links/5590c64](https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguiar/publication/279205623_Determinacion_el_periodo_de_recurrencia_y_magnitud_maxima_para_el_control_de_las_estructuras_en_el_rango_elastico_ante_un_sismo_asociado_a_las_fallas_inversas_de_Quito/links/5590c64)
- Sabías que existen tres tipos de terremotos. (2019, 15 de mayo). *Noticias Ciencia Hoy*.  
<https://www.explora.cl/blog/sabias-que-existen-tres-tipos-de-terremotos/>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2022). *Zona Administrativa de Planificación*.  
<https://hitcloud.planificacion.gob.ec/zona-administrativa-de-planificacion>
- Universidad Autónoma del Estado de México. (2018). *Técnicas de Recopilación y Análisis de Datos*. Repositorio Institucional-UAEMEX.  
[http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108688/secme-27284\\_2.pdf?sequence=2](http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/108688/secme-27284_2.pdf?sequence=2)
- Vidal Villegas, J. A. (2013). ¿Qué es la escala de magnitud Richter?. *Ciencia y Desarrollo*.  
<https://resnom.cicese.mx/sitio/images/Richter.pdf>
- Yepes, H., Beauval, C. y Aguilar, J., (2016). *El Peligro Sísmico en el Ecuador y en Quito*.  
[https://cloud-storage.globalquakemodel.org/public/documents/Projects/TREQ/Presentations/03\\_HUGO\\_YEPES\\_El%20Peligro%20S%C3%ADsmico.pdf](https://cloud-storage.globalquakemodel.org/public/documents/Projects/TREQ/Presentations/03_HUGO_YEPES_El%20Peligro%20S%C3%ADsmico.pdf)

## ANEXOS

**Tabla 26.**

*Fuentes sismogénicas de Ecuador*

Fuente	Longitud	Latitud	Profundidad	Tipo de Fuente
	-79.303	3.522	33	
	-80.169	2.814	15	
	-80.809	1.795	33	
	-80.155	1.39	17	
	-79.984	1.759	33	
	-79.886	1.906	33	
	-79.733	2.142	10	
	-79.66	2.279	33	
<b>Yaquina Shallow</b>	-79.448	2.579	33	<b>INTERFASE</b>
	-79.417	2.616	19.1	
	-79.271	2.905	33	
	-79.027	3.261	26.9	
	-78.948	3.417	33	
	-78.847	3.656	33	
	-78.751	3.821	35	
	-78.672	3.984	17.6	
	-78.749	3.974	10	
	-78.751	3.821	35	
	-78.847	3.656	33	
	-78.948	3.417	33	
	-79.027	3.261	26.9	
	-79.271	2.905	33	
	-79.417	2.616	19.1	
	-79.448	2.579	33	
	-79.66	2.279	33	
	-79.733	2.142	10	
	-79.886	1.906	33	
	-79.984	1.759	33	
	-80.155	1.39	17	
<b>Esmeraldas</b>	-81.092	-0.459	9.8	<b>INTERFASE</b>
	-80.799	-0.644	33	
	-80.596	-0.726	20	
	-80.524	-0.761	12	
	-80.259	-0.867	10.8	
	-79.924	-0.929	52.8	
	-79.234	0.617	6	
	-78.983	1.078	33	
	-78.525	2.036	33	
	-78.387	2.338	33	
	-77.981	3.047	0	
	-77.872	3.254	33	
	-77.8	3.4	0	

	-77.37	3.995	0	
	-78	4	35	
	-78.672	3.984	17.6	
<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
	-81.165	-0.595	12	
	-81.275	-0.971	7	
	-81.338	-1.19	12	
	-81.603	-1.802	10	
	-81.755	-3.224	33	
	-81.257	-2.749	8.5	
	-80.97	-2.601	34	
	-80.796	-2.473	12	
	-80.617	-2.373	12	
<b>La Plata</b>	-80.606	-2.256	12	<b>INTERFASE</b>
	-80.611	-2.21	33	
	-80.57	-1.528	20	
	-80.49	-1.408	12	
	-80.44	-1.265	12	
	-80.259	-0.867	10.8	
	-80.524	-0.761	12	
	-80.596	-0.726	20	
	-80.799	-0.644	33	
	-81.092	-0.459	9.8	
	-81.635	-3.459	34.8	
	-81.728	-3.849	33	
	-81.706	-4.576	33	
	-80.972	-3.912	26	
	-80.63	-3.5	29	
<b>Golfo de Guayaquil</b>	-80.596	-3.244	33	<b>INTERFASE</b>
	-80.574	-2.778	12	
	-80.617	-2.373	12	
	-80.796	-2.473	12	
	-80.97	-2.601	34	
	-81.257	-2.749	8.5	
	-81.755	-3.224	33	
	-82	-5.2	33	
	-81.826	-6.086	35	
	-81.721	-6.759	16.5	
	-80.16	-5.701	71.1	
<b>Talara</b>	-80.363	-5.423	34	<b>INTERFASE</b>
	-80.6	-4.67	33	
	-80.658	-4.08	19.5	
	-80.63	-3.5	29	
	-80.972	-3.912	26	
	-81.706	-4.576	33	



<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
	-78.983	1.078	33	
	-79.234	0.617	6	
	-79.924	-0.929	52.8	
	-80.259	-0.867	10.8	
	-80.44	-1.265	12	
	-80.49	-1.408	12	
	-80.57	-1.528	20	
	-80.611	-2.21	33	
	-80.606	-2.256	12	
	-80.617	-2.373	12	
	-80.574	-2.778	12	
	-80.286	-2.692	27	
<b>BGN</b>	-80.029	-2.573	12	<b>INTERFASE</b>
	-79.836	-2.486	26.6	
	-79.624	-2.426	19.2	
	-79.271	-2.269	19	
	-79.215	-2.026	20	
	-79.05	-1.67	10	
	-78.798	-0.28	11.2	
	-78.773	-0.131	14.4	
	-78.729	0.377	9.5	
	-78.02	0.784	24	
	-77.847	0.899	26	
	-77.359	1.203	12	
	-78.525	2.036	33	
	-80.596	-3.244	33	
	-80.63	-3.5	29	
	-79.758	-2.897	16	
	-79.323	-2.586	12	
	-79.163	-2.484	19	
	-78.963	-2.255	12	
<b>Puna</b>	-79.271	-2.269	19	<b>CORTICAL</b>
	-79.624	-2.426	19.2	
	-79.836	-2.486	26.6	
	-80.029	-2.573	12	
	-80.286	-2.692	27	
	-80.574	-2.778	12	

<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
	-80.658	-4.08	19.5	
	-80.6	-4.67	33	
	-80.363	-5.423	34	
	-80.16	-5.701	71.1	
	-78.992	-5.905	33	
	-78.639	-6.059	30.9	
	-77.191	-6.012	31.6	
	-77.276	-5.888	10	
	-77.741	-5.376	66.8	
	-77.984	-5.08	33	
<b>BGS</b>	-78.075	-4.913	23.3	<b>INTERFASE</b>
	-78.152	-4.681	7.5	
	-78.614	-2.846	33	
	-78.605	-2.608	12	
	-78.541	-2.29	12	
	-78.393	-1.504	33	
	-78.732	-2.012	12.1	
	-78.963	-2.255	12	
	-79.163	-2.484	19	
	-79.323	-2.586	12	
	-79.758	-2.897	16	
	-80.63	-3.5	29	
	-77.847	0.899	26	
	-78.02	0.784	24	
	-78.729	0.377	9.5	
	-78.773	-0.131	14.4	
<b>El Angel</b>	-78.798	-0.28	11.2	<b>CORTICAL</b>
	-78.39	0.28	10	
	-77.869	0.109	6	
	-77.435	0.652	9.5	
	-77.098	1.128	99.3	
	-77.359	1.203	12	
	-77.435	0.652	9.5	
	-77.869	0.109	6	
	-77.667	0.039	12.9	
<b>Chingual</b>	-77.46	0.246	10	<b>CORTICAL</b>
	-77.273	0.543	10	
	-76.786	1.074	0	
	-77.098	1.128	99.3	

<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
<b>Napo</b>	-77.692	-0.065	2.5	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-77.775	-0.316	35	
	-77.872	-1.131	24	
	-77.876	-1.202	12	
	-77.782	-1.186	22.4	
	-77.401	-1.165	13.8	
	-77.3	-0.82	33	
	-77.214	-0.447	6.8	
	-77.073	0.178	24.9	
	-77.148	0.404	6.6	
	-77.273	0.543	10	
	-77.46	0.246	10	
-77.667	0.039	12.9		
<b>Cosanga</b>	-78.056	-0.242	33	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-78.067	-0.358	33	
	-78.257	-1.051	5.8	
	-78.255	-1.01	9	
	-78.292	-1.088	8.9	
	-78.393	-1.504	33	
	-77.92	-1.5	178	
	-77.872	-1.131	24	
	-77.775	-0.316	35	
	-77.692	-0.065	2.5	
-77.667	0.039	12.9		
-77.869	0.109	6		
<b>Quito- Latacunga</b>	-79.05	-1.67	10	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-78.55	-1.089	33	
	-78.472	-1	2	
	-78.255	-1.01	9	
	-78.067	-0.358	33	
	-78.056	-0.242	33	
	-77.869	0.109	6	
	-78.39	0.28	10	
-78.798	-0.28	11.2		
<b>Pallatanga</b>	-78.963	-2.255	12	<b>CORTICAL</b>
	-78.732	-2.012	12.1	
	-78.393	-1.504	33	
	-78.255	-1.01	9	
	-78.472	-1	2	
	-78.55	-1.089	33	
	-79.05	-1.67	10	
-79.215	-2.026	20		
-79.271	-2.269	19		

<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
<b>Cutucú</b>	-78.614	-2.846	33	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-78.152	-4.681	7.5	
	-78.075	-4.913	23.3	
	-77.563	-4.992	18.7	
	-77.26	-3.968	118.2	
	-77.134	-3.178	17.9	
	-77.114	-2.324	33	
	-77.129	-2.185	180	
	-77.137	-1.781	25.2	
	-77.115	-1.347	29.8	
	-77.401	-1.165	13.8	
	-77.876	-1.202	12	
	-77.92	-1.5	178	
	-78.393	-1.504	33	
<b>Moyobamba</b>	-77.984	-5.08	33	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-77.741	-5.376	66.8	
	-77.276	-5.888	10	
	-77.191	-6.012	31.6	
	-77.044	-6.012	34.7	
	-76.732	-6.018	28.1	
	-75.916	-6.067	29.4	
	-76.124	-5.765	21.1	
	-76.512	-5.176	19.3	
	-77.26	-3.968	118.2	
<b>Caldas Cluster</b>	-77.563	-4.992	18.7	<b>INTRAPLACA</b>
	-78.075	-4.913	23.3	
	-77.852	3.078	30.7	
	-77.922	2.977	31	
	-78.525	2.036	33	
	-76.617	2.211	22.9	
	-75.564	3.717	13.9	
-75.438	3.928	33		
-77.37	3.995	0		

<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
	-78.983	1.078	33	
	-79.234	0.617	6	
	-79.924	-0.929	52.8	
	-80.259	-0.867	10.8	
	-80.49	-1.408	12	
	-80.57	-1.528	20	
	-80.577	-1.996	20.9	
	-80.568	-2.377	14	
<b>Sub Volcanic Arc</b>	-80.005	-2.104	14	<b>INTRAPLACA</b>
	-79.728	-1.903	31.4	
	-78.597	-1.293	33.2	
	-78.459	-1.02	1.6	
	-78.296	-0.655	6.8	
	-78.056	-0.242	33	
	-77.869	0.109	6	
	-77.605	0.469	1.4	
	-77.314	1.002	16	
	-76.617	2.211	22.9	
	-78.525	2.036	33	
	-80.63	-3.5	29	
	-80.658	-4.08	19.5	
	-80.625	-4.425	64.5	
	-80.6	-4.67	33	
	-80.596	-4.756	33	
	-80.363	-5.423	34	
<b>Loja</b>	-80.16	-5.701	71.1	<b>INTRAPLACA</b>
	-79.642	-5.906	33	
	-78.74	-5.884	33.7	
	-78.615	-5.913	28.4	
	-78.6	-5.19	33	
	-80.005	-2.104	14	
	-80.112	-2.133	20.5	
	-80.568	-2.377	14	
	-76.118	-4.115	27	
	-75.892	-4.925	73	
	-75.9	-5.4	33	
	-75.916	-6.067	29.4	
<b>Loreto</b>	-74.944	-6.019	22.8	<b>INTRAPLACA</b>
	-75.135	-5.364	63.3	
	-75.185	-3.763	32.6	
	-75.347	-2.619	28.4	
	-76.583	-2.808	132.8	

<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
	-79.485	-1.865	16	
	-78.912	-1.919	4.3	
	-78.234	-2.041	21.8	
	-77.712	-2.143	12	
	-77.039	-2.277	10	
	-76.583	-2.808	132.8	
<b>Puyo</b>	-75.347	-2.619	28.4	<b>INTRAPLACA</b>
	-75.621	-1.931	182.5	
	-77.513	-0.995	20.9	
	-78.036	-1.106	33	
	-78.275	-1.152	0.6	
	-78.338	-1.181	10.8	
	-78.597	-1.293	33.2	
	-79.728	-1.903	31.4	
	-78.6	-5.19	33	
	-78.615	-5.913	28.4	
	-75.916	-6.067	29.4	
	-75.9	-5.4	33	
	-75.892	-4.925	73	
	-76.118	-4.115	27	
<b>Morona Santiago</b>	-76.583	-2.808	132.8	<b>INTRAPLACA</b>
	-77.039	-2.277	10	
	-77.712	-2.143	12	
	-78.234	-2.041	21.8	
	-78.912	-1.919	4.3	
	-79.485	-1.865	16	
	-79.728	-1.903	31.4	
	-80.005	-2.104	14	

*Nota.* Contiene las coordenadas de cada fuente sismogénica. Elaborado por: Las Autoras con datos generados por el IGEPN.

**Tabla 27.***Fallas geológicas de Ecuador*

<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
<b>Napo</b>	-77.399	0.071	63.2	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-77.369	0.007	67	
	-77.349	-0.043	14.8	
	-77.309	-0.177	18.7	
	-77.314	-0.398	6.3	
	-77.3	-0.6	33	
	-77.406	-0.788	12	
	-77.535	-0.886	10.2	
	-77.513	-0.995	20.9	
	-77.098	1.128	99.3	
<b>Chingual</b>	-77.435	0.652	9.5	<b>CORTICAL</b>
	-77.706	0.199	2.2	
	-78.32	-1.029	12.4	
<b>Pallatanga</b>	-78.323	-1.032	8.5	<b>CORTICAL</b>
	-78.329	-1.045	9.9	
	-78.353	-1.1	2.3	
	-78.362	-1.103	33	
	-78.37	-1.11	6	
	-78.38	-1.119	0.8	
	-78.413	-1.153	12.1	
	-78.428	-1.157	17.6	
	-78.458	-1.194	17.5	
	-78.456	-1.3	18	
	-78.6	-1.5	10	
	-78.78	-1.68	10	
	-78.8	-1.7	175	
	-78.8	-1.73	10	
	-78.891	-1.905	103.4	
	-78.968	-2.089	10	
	-79.075	-2.184	101.7	
-79.189	-2.242	18		
<b>UIO 1</b>	-78.451	0.106	3.2	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-78.44	0.095	-1.4	
	-78.429	0.07	-0.1	
	-78.427	-0.039	5	
	-78.396	-0.133	5.5	
	-78.481	-0.247	33	
	-78.544	-0.342	8.1	
	-78.551	-0.425	10.3	
	-78.61	-0.52	10	
	-78.63	-0.55	10	

<b>Fuente</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tipo de Fuente</b>
<b>Cosanga</b>	-78.242	-1.466	150.6	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-78.203	-1.207	129.9	
	-78.166	-1.132	67.7	
	-78.087	-1.011	55.8	
	-77.948	-0.579	8.2	
	-77.932	-0.549	1.6	
	-77.874	-0.425	0	
	-77.874	-0.418	-0.8	
	-77.862	-0.294	-1.2	
	-77.8	-0.2	0	
<b>El Angel</b>	-77.814	-0.087	12	<b>CORTICAL</b>
	-77.382	1.078	15	
	-77.738	0.948	12	
	-77.78	0.87	10	
	-77.92	0.7	10	
	-78.148	0.44	6.7	
	-77.158	0.422	3.2	
<b>Puna</b>	-77.151	0.36	1.4	<b>CORTICAL</b>
	-78.093	0.348	3.9	
	-80.407	-3.158	68	
	-80.383	-3.118	58.5	
	-80.295	-3.039	52	
	-80.254	-2.972	127	
	-80.2	-2.94	65	
	-80.1	-2.89	35	
	-79.923	-2.751	10	
	-79.874	-2.704	65.7	
<b>UIO 2</b>	-79.726	-2.648	12	<b>CORTICAL REVERSE</b>
	-79.657	-2.625	70.1	
	-78.7	-0.71	10	
	-78.683	-0.732	24.2	
	-78.675	-0.733	12.6	
	-78.664	-0.757	17	
	-78.642	-0.859	11.3	
	-78.624	-0.901	16.6	
	-78.59	-0.98	10	
-78.6	-1.04	3		
-78.641	-1.12	4		

*Nota.* Contiene las coordenadas de cada falla geológica. Elaborado por: Las Autoras con datos generados por el IGEPN.