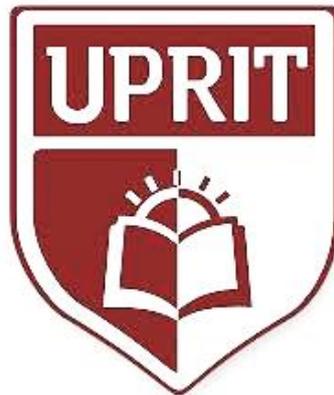


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**CORRELACIÓN ENTRE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO Y LA
ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA CORRESPONDIENTE A LA
SISMICIDAD INSTRUMENTAL EN LA ZONA 3 DEL PERÚ**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:
WILLY JOHANN SOSA AVALOS**

**ASESOR:
ELTON JAVIER GALARRETA MALAVER**

**TRUJILLO - PERU
2019**



El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Nombres y Apellidos**, denominada:

**CORRELACIÓN ENTRE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO Y LA ESCALA DE
MERCALLI MODIFICADA CORRESPONDIENTE A LA SISMICIDAD INSTRUMENTAL EN EL
PERÚ**

Ing. Nombres y Apellidos
ASESOR

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a Dios quien supo guiarme por un buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento , por darme una familia maravillosa y sobre todo salud para poder concluir mi estudios .

A mi querida Madre Mechita quien por ella soy lo que soy, por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar.
Me ha dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi Padre Willy que a pesar de todo siempre me aconsejo me inculco valores para poder avanzar en la vida para no cometer errores siempre me motivo a seguir avanzando a pesar de las adversidades .

A mi Novia Tania que siempre me alentó a avanzar y terminar mi objetivo, por estar presente no solo en esta etapa de mi vida si no en todo momento buscando lo mejor para mi .

A mi Hermana que siempre se preocupo por que termine cuanto antes mi carrera .

A mi Abuelo Carlos que lamentablemente ya no está pero siempre me aconsejo deseándome lo mejor y a siempre perseguir mis sueños, apoyar en lo que uno puede dar.

A mis Tías Acela y Maritza que a pesar que ya no estén siempre quisieron lo mejor para toda la familia.

A mi Tío Carlos que siempre me aconsejo, me hizo ver que la vida no es fácil y siempre le puso humor a las adversidades de la vida .

A mi Tía Lussy por quererme como a un hijo , por ser una persona alegre y me enseñó a mantener el respeto por los mayores .

A mi Familia en general por mantenernos unidos y no desvanecer a pesar de muchas dificultades.

AGRADECIMIENTO

A Dios y San Miguel Arcángel por mantenerme con vida y ayudarme a conseguir este gran logro .

A mi madre y padre por su apoyo incondicional por estar siempre a mí a lado y ayudarme a conseguir esta y todas las metas en mi vida .

A mi novia que siempre que desde que llego a mi vida me brindo un apoyo incondicional y desde ya es participe desde este triunfo.

A mi Universidad por haberme permitido formarme y desarrollar con tranquilidad mi carrera .

A mi Asesor por ser guía y parte fundamental de esta tesis .

A mi familia por su apoyo incondicional .

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|--------------------------------------|
| RESUMEN | 11 |
| ABSTRACT | 12 |
| 1.2. Formulación del problema..... | 20 |
| 1.3. Justificación..... | 20 |
| 1.4. Objetivos | 21 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos..... | 21 |
| 1.5. Antecedentes..... | 21 |
| 1.6. Bases Teóricas..... | 25 |
| 1.7. Definición de términos básicos..... | 42 |
| 1.8. Formulación de la hipótesis..... | 43 |
| II. MATERIAL Y MÉTODOS..... | 44 |
| 2.1. Material: | 44 |
| 2.2. Material de estudio..... | 44 |
| 2.2.2. Muestra..... | 46 |
| 2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos..... | 49 |
| 2.3.2. Para procesar datos..... | 49 |
| 2.4. Operacionalización de variables..... | 53 |
| RESULTADOS | 54 |
| III. DISCUSIÓN..... | 59 |
| IV. CONCLUSIONES..... | 64 |
| V. RECOMENDACIONES..... | 65 |
| VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| ANEXO B: DESARROLLO..... | 74 |
| ANEXO D: ANALISIS DE DATOS | 103 |
| A. B..... | 104 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| <i>Tabla 2. Categoría de las construcciones</i> | 28 |
| <i>Tabla 3. Escala de Mercalli Modificada</i> | 28 |
| <i>Tabla 4. Clasificación de las variables IMM y PGA</i> | 43 |
| <i>Tabla 5. Operacionalización de variable 1:IMM</i> | 57 |
| <i>Tabla 6. Operacionalización de variable 2: Aceleración máxima del suelo</i> | 57 |
| <i>Tabla 7. Transformación de números romanos a números arábigos de los valores de IMM</i> | 54 |
| <i>Tabla 8. Correlación entre PGA(Cm/s²) y IMM por otros autores</i> | 59 |
| <i>Tabla 9. Rangos propuestos de PGA para cada IMM en Perú</i> | 62 |
| <i>Tabla 10. Parámetros estadísticos de la regresión lineal</i> | 63 |
| <i>Tabla A1: Ficha resumen-matriz de categorías N°1 (Registro de estaciones acelerograficas)</i> | 75 |
| <i>Tabla A2: Ficha resumen-matriz de categorías N°2 (Registro de evento sísmico)</i> | 77 |
| <i>Tabla A2: Peso unitario de masa promedio de los agregados</i> | 77 |
| <i>Tabla C1. Estaciones</i> | 88 |
| <i>Tabla C2. Eventos</i> | 102 |
| <i>Tabla D1. Media y desviación estándar(σ) del PGA (cm/s²) del conjunto de datos para cada IMM</i> | 108 |
| <i>Tabla D.2. Prueba de normalidad-PGAmáx-grupo (IMM I)</i> | 113 |
| <i>Tabla D.3. Prueba de normalidad-PGAmáx-grupo (IMM II)</i> | 114 |
| <i>Tabla D.4. Prueba de normalidad-PGAmáx-grupo (IMM III)</i> | 115 |
| <i>Tabla D.5. Prueba de normalidad-PGAmáx-grupo (IMM IV)</i> | 116 |
| <i>Tabla D.6. Prueba de normalidad-PGAmáx-grupo(IMM V)</i> | 116 |
| <i>Tabla D.7. Prueba de normalidad-PGAmáx-grupo(IMM VI)</i> | 117 |
| <i>Tabla D.8. Prueba de normalidad-PGAmáx-grupo (IMM VII)</i> | 118 |

| | |
|--|-----|
| Tabla D.16. Resumen de parámetros del modelo de regresion..... | 118 |
| Tabla D.17. Prueba de hipótesis con ANOVA..... | 119 |
| Tabla D.18. Coeficientes de la ecuación de regresión lineal..... | 120 |
| Tabla D.19: Coeficientes de la ecuacion de regresión lineal para IMM(I-IV)..... | 121 |
| Tabla D.20: Coeficientes de la ecuacion de regresión lineal para IMM(IV- VII)..... | 121 |
| Tabla D.21: Resumen de parámetros del modelo de regresión..... | 123 |
| Tabla D.22. Prueba de hipótesis con ANOVA | 124 |
| Tabla D.23: Coeficientes de la ecuacion de regresión lineal para IMM(I-IV)..... | 125 |
| Tabla D.24: Coeficientes de la ecuacion de regresión lineal para IMM(I-IV)..... | 125 |
| Tabla D.25: Coeficientes de la ecuacion de regresión lineal para IMM(IV-VIII)..... | 126 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| <i>Figura 1.</i> Sismicidad de Perú para el período 1960-1995..... | 26 |
| <i>Figura 2.</i> Ilustración de la Escala de Intensidades..... | 30 |
| <i>Figura 2.</i> Distribución de hipocentros en América del Sur..... | 32 |
| <i>Figura 3</i> Esquema que muestra la distancia que corresponde a la profundidad del hipocentro..... | 33 |
| <i>Figura 4.</i> Historia del movimiento registrada en el El Centro durante el terremoto de Imperial Valley..... | 34 |
| <i>Figura 5.</i> Acelerogramas registrados..... | 34 |
| <i>Figura 6.</i> Correccion por línea base..... | 35 |
| <i>Figura 7.</i> Filtrado de la señal (Hudson, 1979)..... | 35 |
| <i>Figura 8.</i> Historias de aceleración, velocidad y desplazamiento..... | 36 |
| <i>Figura 9.</i> Espectro de Amplitudes de Fourier – Estacion CIP Tumbes Sismo del 20/03/2017..... | 36 |
| <i>Figura 10.</i> Espectro de Respuesta de Seudoaceleracion del sismo del 20 de marzo del 2017- Estacion CIP Tumbes..... | 37 |
| <i>Figura 11.</i> Esquema neurona en RNA y analogía con neurona biológica..... | 38 |
| <i>Figura 12.</i> Ejemplos funciones de activación..... | 38 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 13.</i> Esquema RNA tipo feed-forward backpropagation..... | 39 |
| <i>Figura 14.</i> Modelo Cuadrático..... | 42 |
| <i>Figura 15.</i> Mapa sísmico del Peru , Periodo 1960 – 2017..... | 45 |
| <i>Figura 16.</i> Informe Acelerográfico para el sismo de Yauca.Arequipa..... | 46 |
| <i>Figura 17.</i> Reporte sísmico realizado por el IGP..... | 48 |
| <i>Figura 18.</i> Reporte sísmico realizado por la Red Acelerográfica en el año 2018..... | 48 |
| <i>Figura 19.</i> Tabla estadística en la que se ingresara los datos acelerograficos y de intensidad..... | 50 |
| <i>Figura 20.</i> Comparación relación entre PGA-IMM con y sin uso de logaritmo en base 10. | 51 |
| <i>Figura 21.</i> Modelo de histograma para la IMM y cantidad de eventos sísmicos..... | 51 |
| <i>Figura 24.</i> Modelo de histograma para la IMM y cantidad de eventos sísmicos..... | 51 |
| <i>Figura 25.</i> Grafica de normalidad de datos (Q-Q)..... | 52 |
| <i>Figura 29.</i> Regresión con Valor máximo de Aceleración PGA (Todos los Registros)..... | 57 |
| <i>Figura B1.</i> Correlación PGAmáxima vs MMI para la región de Costa Rica. Los círculos indican los datos y las líneas negras la regresión para la media para una unidad de intensidad dada..... | 58 |
| <i>Figura B2.</i> Correlación PGAmémedia vs MMI para la región de Costa Rica. Los círculos indican los datos y las líneas negras la regresión para la media para una unidad de intensidad dada.. | 59 |

| | |
|---|------|
| <i>Figura B3.</i> MMI vs. PGA máx. Y línea de regresión para la media geométrica de intensidades inferiores (I> MMI> IV)..... | 60 |
| <i>Figura B4.</i> MMI vs. PGA máx. Y línea de regresión para la media geométrica de intensidades más altas (IV> MMI> VII)..... | 60 |
| <i>Figura B5.</i> MMI vs. PGA media Y línea de regresión para la media aritmetica de intensidades inferiores (I> MMI> IV)..... | 61 |
| <i>Figura B6.</i> MMI vs. PGA media Y línea de regresión para la media geométrica de intensidades más altas (IV> MMI> VII)..... | 61 |
| <i>Figura B7.</i> Comparación de las correlaciones de PGAmáx y MMI | 65 |
| <i>Figura B8.</i> Comparación de las correlaciones de PGAmédia y MMI para las cuales se calcularon las líneas de regresión sobre la media aritmética de PGAmédia para cada unidad de intensidad | 66 |
| <i>Figura B1.</i> Modelo de informe reportado por la Red Acelerográfica del Perú..... | 80 |
| <i>Figura B10.</i> Total de eventos sísmicos recopilados para el estudio de la presente tesis..... | 81 |
| <i>Figura B11.</i> Estaciones acelerograficas instaladas por la Red Acelerográfica y acelerómetros instaladas por el IGP..... | 82 |
| <i>Figura B12.</i> Mapa de intensidades del USGS de la Zona del sismo de Pucara(Peru) del 14 de setiembre del 2018. Epicentro en la estrella..... | 83 |
| <i>Figura B13.</i> Reporte de sismos, Mapa de intensidades de Mercalli y de Peligro sísmico..... | 84 |
| <i>Figura B14.</i> Epicentro y IMM del sismo de Yura..... | 85 |
| <i>Figura B15.</i> : PGA y MMI observados en tres estaciones de movimiento fuerte debido al terremoto del 20 de diciembre de 2016 en Armuelles..... | 86 |
| <i>Figura D1.</i> Histograma respecto a la Intensidad de Mercalli..... | 109 |
| <i>Figura D2.</i> Histograma respecto a la Magnitud del sismo | 109 |
| <i>Figura D3.</i> Histograma respecto a la Distancia Epicentral (Km)..... | 109 |
| <i>Figura D4.</i> Histograma respecto a la Profundidad (Km)..... | 109 |
| <i>Figura D5.</i> Histograma respecto al tipo de suelo de la estación..... | 109. |
| <i>Figura D6.</i> Histograma para IMM muy débil (I)..... | 110 |
| <i>Figura D7.</i> Histograma para IMM débil (II)..... | 110 |
| <i>Figura D8.</i> Histograma para IMM leve (III) | 111 |
| <i>Figura D9.</i> Histograma para IMM moderado (IV)..... | 111 |
| <i>Figura D10.</i> Histograma para IMM poco fuerte (V)..... | 111 |
| <i>Figura D11.</i> Histograma para IMM fuerte (VI)..... | 111 |
| <i>Figura D12.</i> Histograma para IMM muy fuerte (VII)..... | 112 |

| | |
|--|------|
| <i>Figura D13.</i> Q-Q normal de PGA max del suelo para IMM=Muy débil..... | 113 |
| <i>Figura D14.</i> Q-Q normal de PGA max del suelo para IMM=débil..... | 114 |
| <i>Figura D15.</i> Q-Q normal de PGA max del suelo para IMM=Leve..... | 115 |
| <i>Figura D16.</i> Q-Q normal de Resistencia PGA para IMM=Moderado..... | 116 |
| <i>Figura D17.</i> Q-Q normal de Resistencia PGA para IMM=Poco fuerte..... | 117 |
| <i>Figura D.18</i> Q-Q normal de Resistencia PGA para IMM= fuerte..... | 117. |
| <i>Figura D.19</i> Q-Q Q-Q normal de Resistencia PGA para IMM= muy fuerte..... | 118 |

RESUMEN

La primera correlación entre la intensidad Mercalli Modificada (MMI) y la componente horizontal de la aceleración pico del suelo (PGA) fue desarrollada para Perú a partir de la regresión de 360 sismos ($2.7 < M_w < 6.8$) que ocurrieron entre 2016 y 2018. Para cada PGA registrado instrumentalmente, un único valor de MMI fue asignado basado en la proximidad geográfica del PGA observado. Un total de 683 valores de la aceleración más alta entre las dos componentes horizontales (PGAmáx) y del promedio de las dos componentes horizontales (PGAave) fue asociado con MMI. Las correlaciones obtenidas son: $IMM = 2.19 \log(PGAmáx) + 0.91$ y $IMM = 2.19 \log(PGAmedia) + 1.12$ para MMI I-IV y $IMM = 2.97 \log(PGAmáx) + 0.37$ y $IMM = 2.73 \log(PGAmedia) + 1.01$ para MMI IV-VII. Con base en estas ecuaciones fueron propuestos intervalos de PGA para cada unidad de intensidad. La correlación entre PGAmáx y MMI encontrada en este estudio es casi similar a la correlación calculada por Linkimer Lepolt. (2007) para Costa Rica.

ABSTRACT

The first correlation between the modified Mercalli intensity (MMI) and the horizontal component of the peak ground acceleration (PGA) was developed for Perú from the regression of 360 earthquakes ($2.7 < M_w < 6.8$) that occurred between 2016 and 2018. For each instrumentally recorded PGA, a single MMI value was assigned based on the geographic proximity of the observed PGA. A total of 683 values of the highest acceleration between the two horizontal components (PGAm_{ax}) and the average of the two horizontal components (PGA_{ave}) was associated with MMI. The obtained correlations are: IMM =

$2.19 \log(\text{PGAm}_{\text{ax}}) + 0.91$ and $\text{IMM} = 2.19 \log(\text{PGAm}_{\text{media}}) + 1.12$ for MMI I-IV and IMM

$= 2.97 \log(\text{PGAm}_{\text{ax}}) + 0.37$ and $\text{IMM} = 2.73 \log(\text{PGAm}_{\text{media}}) + 1.01$ for MMI IV-VII. Based on these equations, PGA intervals were proposed for each unit of intensity. The correlation between PGAm_{ax} and MMI found in this study is almost similar to the correlation calculated by Linkimer Lepolt. (2007) for Costa Rica

I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Realidad problemática.

La Ingeniería Sismorresistente es una rama de la ingeniería cuyo principal objetivo es el proyecto y construcción de obras civiles, de manera tal que puedan tener un comportamiento satisfactorio durante los sismos.

Para el logro de este objetivo, concurren muchas disciplinas, que no necesariamente pertenecen al ámbito propio de la ingeniería misma siendo algunas de estas la Geología, la Sismología y la Mecánica de Suelos. Estas disciplinas y en particular la sismología son la parte básica y fundamental al momento de formar los criterios que comprende la norma sismorresistente de un país determinado ya que se encargan de conocer la frecuencia y severidad de los terremotos que afectaran a un proyecto de toda obra en zonas de sismicidad elevada. Por lo tanto es necesario contar con instrumentos sismográficos y acelerograficos que nos permita realizar estudios para determinar la respuesta de una cierta zona geográfica o distrito ante un evento sísmico.

A continuación, daremos un enfoque global de lo que ocurre con la aceleración máxima del suelo y la intensidad de Mercalli modificado en distintos lugares del mundo y así entender la problemática que muchos países tienen respecto al tema de investigación.

Por ejemplo la aproximación probabilística de la amenaza sísmica en Colombia presenta limitaciones, principalmente por la escasez de datos, sin embargo desde los años setenta se han venido haciendo estudios de peligrosidad sísmica como la obtención de mapas de amenaza sísmica con resultados aproximados y curvas de isoaceleración para un periodo de retorno de 475 años obtenidas a partir de diferentes modelos como son: modelo AS08, modelo de BA08, modelo de CB08, modelo de CY08, modelo de I08, en donde los resultados en cada uno de los nodos representan valores promedios de las aceleraciones predichas por el modelo de sismicidad y las leyes de atenuación aplicadas en cada zona sísmica, considerando los valores de la media más una desviación estándar (figura 1). De estos mapas de aceleraciones se puede ver que en la parte de la costa pacífica y suroeste se alcanza los máximos valores de aceleración y que ira decreciendo hacia el centro del país y la dirección este. (Díaz Hernández & Alfaro Castillo, 2014, págs. 9-12).

Asimismo la historia de la sismicidad colombiana han ocurrido terremotos con intensidades epicentrales (10) de hasta X y XI grados en la escala Modificada de Mercalli. El eje mayor de las isosistas de los terremotos del "Nido de Bucaramanga" está orientado principalmente de SW a NE, el cual estaría asociado con una estructura de fallas que puede pensarse sería la continuación de la falla de Bocono. También se observa en algunas de las isosistas de estos terremotos una elongación

orientada en dirección NW a SE que puede estar asociada con la falla de Bucaramanga; se nota, además la presencia de otra elongación en las isosistas menores que V, orientada en dirección un poco más al este-oeste respecto a la anterior. Las isosistas de los terremotos ocurridos en la zona del Choco también varían en dependencia al lugar de ocurrencia. Es decir, como la: zona sísmica del Choco se localiza cerca de la zona de subducción, ocurren en ella terremotos con hipocentro tanto en la parte continental como en el océano y dependiendo de esto observamos formas de isosistas diferentes. (Salcedo Hurtado & Coral Gomez, 1995)

De igual modo en Chile, Ingenieros civiles de la Pontificia Universidad Católica de Chile mencionan en su artículo científico denominado “Nuevo Peligro Sísmico para Chile” la estimación del peligro sísmico mediante modelos de atenuación para sismos subductivos, las cuales tienen diferentes características y rangos de aplicación. Para incorporar el caso local, se utilizan las leyes de atenuación desarrolladas por Contreras y Boroschek (2009, 2012)[20, 21] que usan registros de acelerogramas obtenidos en Chile, e incluyen los datos del terremoto del Maule 2010 Mw=8.8. Para los resultados obtenidos de los diferentes modelos de geometría y leyes de atenuación se hizo uso de un árbol lógico para hacer una ponderación, para finalmente mediante la utilización de los parámetros de recurrencia del método de máxima verosimilitud obtener un mapa de peligro sísmico para todo el país de Chile, mostrando las aceleraciones máximas del suelo con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años obtenidas para $T = 0.2$ segundos. (I. Nuñez, R. Boroschek, D. Comte, & V. Contreras, 2015, págs. 18-20)

Por otra parte, la severidad de los sismos en Chile es medido mediante la intensidad de Mercalli Modificado en Chile, en donde en 1961 se presentó la 1era edición de la norma chilena oficial “NCh 3 of 61. La norma chilena oficial NCh3.Of61 es la que establece la escala de grados para apreciar la intensidad de los fenómenos sísmicos que constan de 12 grados de intensidades, cuyas definiciones de las distintas escalas se basan de los estudios realizados por Mercalli en 1902. (Norma Chilena Oficial (NCh3.Of61), 1989, págs. 2,5)

Igualmente en Cuba como afirma (Alvarez, Villalon, & Lindholm, 2015):

Las primeras incursiones en la estimación de la peligrosidad sísmica en Cuba fueron hechas en términos de intensidad sísmica por métodos determinísticos, siendo el más importante el incluido en la norma de construcciones sismorresistentes de 1985 (Norma Cubana, 1985). Desde mediados de los 80 fue realizado el análisis de la peligrosidad sísmica probabilística por métodos modernos, tanto en términos de intensidad como de PGA para diferentes zonas del país, siendo los más detallados los realizados con vistas a posibles emplazamientos de CEN. Estos fueron unidos en un mapa, ver figura 3, que fue incluido en una nueva versión de código de construcciones sismorresistente de Cuba (Norma Cubana, 1999). Para esos estudios fue usado un programa

confeccionado al efecto (Álvarez y Bune, 1985, Álvarez, 1995. Un nuevo estudio de peligrosidad sísmica probabilística, en términos de PGA fue realizado después, esta vez usando el programa de cómputo seisrisk3. En dicho estudio fue aplicado un enfoque de 28 árbol lógico que se caracterizó por el uso de dos enfoques diferentes para la zonación sismotectónica, dos leyes de atenuación, dos métodos diferentes de estimación de los parámetros de la sismicidad y 3 métodos de estimación de Mmax (pág. 28).

En nuestro país vecino, Ecuador, Aguiar y Castro (2009) encontraron una ley de atenuación de Intensidades al trabajar con la información macrosísmica para sismos registrados hasta 1996. La ley de atenuación de intensidades encontrada por Aguiar y Castro (2009) es la siguiente.

$$I = 3.3577 + 1.0013 M - 0.8856 \ln (D + 10)$$

Donde I es la intensidad en la escala de Mercalli Modificada; MW es la magnitud de Kanamori o momento sísmico y D la distancia hipocentral.

Se han incorporado nuevas curvas de isosistas, que no fueron consideradas en el estudio de Aguiar y Castro (2009). Las nuevas curvas corresponden a los sismos de Manabí del 13 de mayo de 1942 que causó mucho daño en edificios de hormigón armado ubicados en la ciudad de Guayaquil y se llegó a pensar de que el hormigón armado no es un material adecuado para zonas sísmicas pero con el tiempo se vio todas las deficiencias constructivas que se habían cometido, se encontró que en lugar de estribos los hierros longitudinales de las columnas habían sido amarrados con sogas y cosas similares, de ahí que tuvieron un mal comportamiento. (Aguilar Falconi, Garcia, & Villamarin, 2010).

A nivel nacional los valores más altos de aceleraciones máximas están localizados a lo largo de toda la costa y van disminuyendo a medida que se avanza hacia al Este. Así, las zonas de Tumbes, Piura, Ica, Tacna y el Norte de Chile tienen los valores más altos de aceleración, 0.50g y 0.60g para 50 y 100 años de vida útil respectivamente. Debe considerarse que en estas zonas se han producido históricamente sismos muy grandes y además son las zonas que presentan una mayor tasa de ocurrencia de sismos. Los valores obtenidos en el Norte de Chile coinciden con los encontrados por Aiquel (1990) para los mismos periodos de vida útil. Se observa también altas aceleraciones en las zonas de Moyobamba, norte del departamento de Amazonas y en la zona ecuatoriana de Cuenca con 0.32g y 0.38g en 50 y 100 años respectivamente. Los valores más bajos de aceleración están localizados en la zona oriental, en el departamento de Loreto, con valores de 0.06g y 0.08g. Otra región con valores bajos de aceleración es la zona de Madre de Dios con valores de 0.10g y 0.14g. En las figuras 4 y 5 se presentan los mapas de isoaceleraciones con un 10% de excedencia para 50 y 100 años de vida útil, las cuales tienen una buena correlación con el mapa de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas (Alva et al, 1984), en el cual se observa que las zonas de Tumbes, Piura, Lima, Arequipa, Tacna y el Norte de Chile tienen intensidades entre VIII y IX Mercalli Modificada y las intensidades más bajas se presentan en la zona oriental con valores por debajo de V MM. (Castillo Aedo & Alva Hurtado, 1993, pág. 8)

Asimismo, como afirma (Tavera, Agüero, & Fernández, Catálogo General de Isosistas Para Sismos Peruanos, 2016):

Uno de los principales retos en los estudios de atenuación de la intensidad sísmica y la respuesta dinámica de los suelos, es la construcción de una base de datos que considere, al menos todos los mapas de isosistas para sismos históricos e instrumentales. En el presente catálogo se presenta los mapas de isosistas recopilados para sismos ocurridos en Perú desde el año 1500 a la fecha, todos publicados en artículos científicos, informes técnicos, monografías, tesis profesionales, entre otros. Para sismos recientes, los autores elaboraron los mapas de isosistas utilizando la información contenida en la base de datos del Centro Nacional de Monitoreo Sísmico – Acelerométrico (CENSIS) a cargo de la Dirección de Ciencias de la Tierra Sólida del Instituto Geofísico del Perú. (pág. 6)

Por otra parte con lo que refiere a las instituciones que monitorean las variables a estudiar se encuentran, actualmente el Centro Nacional de Monitoreo Sísmico está a cargo del Área de Investigación en Sismología y cumple la función de monitorear de manera continua la actividad sísmica que ocurre en nuestro país, haciendo uso de la información sísmica proveniente de la Red Sísmica Nacional (RSN) y la Red Sísmica Satelital para la Alerta Temprana de Tsunamis (REDSSAT). Ocurridos los sismos, se procede al análisis de las señales sísmicas registradas y al cálculo de los parámetros hipocentrales que caracterizan a los sismos (Fecha, tiempo origen, coordenadas del epicentro, profundidad del foco, magnitud e intensidades sísmicas evaluadas). Esta información es enviada a la Dirección de Hidrografía de la Marina de Guerra del Perú (DHN) para las posibles alarmas sobre la ocurrencia de tsunamis y al Instituto Nacional de Defensa Civil para fines de mitigación del posible daño causado por los sismos. La información, es puesta a disposición de la ciudadanía y medios de comunicación a través de nuestra página Web y servicios de redes sociales

Además la implementación de la institución de la Red Acelerográfica, cuyo instrumental se viene instalando en Universidades y Consejos Departamentales del Colegio de Ingenieros del Perú, permite generar información de acelerogramas de distribución y uso abierto, lo cual contribuirá con los ingenieros colegiados, docentes de universidades y estudiantes de las diferentes especialidades para desarrollar investigaciones orientadas a la actualización de las normas E.030 Diseño Sismorresistente y E.050 Suelos y Cimentaciones, así como para la definición de criterios base para estudios de micro y macro zonificación, evaluación de la respuesta de las obras civiles y del daño en edificaciones y obras de infraestructura ante eventos sísmicos severos y generación de información necesaria para la evaluación de la amenaza sísmica por parte de las instituciones vinculadas a la prevención, mitigación y alerta frente a eventos sísmicos.

Estudios anteriores han sugerido que las relaciones empíricas entre los parámetros de movimiento del suelo y el MMI son específicas de la región y, por lo tanto, deben calcularse cuidadosamente para una región en particular (Kaka & Atkinson, 2004); (Murphy & O'Brien, 1977). Cancani presentó uno de los primeros intentos de correlacionar la intensidad del terremoto y los parámetros de movimiento fuerte instrumentales, quienes propusieron un rango de PGA para cada grado de intensidad. Desde entonces, se han publicado numerosas correlaciones para regiones particulares, como las que se presenta a continuación.

(Linkimer, 2008) Realizaron La primera correlación entre la intensidad Mercalli Modificada (MMI) y la componente horizontal de la aceleración pico del suelo (PGA) desarrollada para Costa Rica. Las correlaciones obtenidas fueron: $MMI=2,30\log(PGA_{max})+0,92$ y $MMI=2,33\log(PGA_{ave})+0,76$ para MMI II-V y $MMI=3,82\log(PGA_{max})-1,78$ y $MMI=4,60\log(PGA_{ave})-3,38$ para MMI V-VII. Con base en estas ecuaciones fueron propuestos intervalos de PGA para cada unidad de intensidad.

También (Wald, Quitoriano, Heaton, & Kanamori, 1999) encontraron que una regresión combinada basada en la velocidad pico para la intensidad > VII y en la aceleración máxima para la intensidad <VII es la más adecuada para reproducir los patrones observados de I mm, consistente con intensidades altas relacionadas con el daño (proporcional a velocidad del suelo) y con intensidades menores determinadas por cuentas de fieltro (más sensibles a la aceleración del suelo de mayor frecuencia).

Asimismo (Oviedo Vega, 2017) Encontraron que dentro de los 16 parámetros utilizados $\log(PGA)$, $\log(PGV)$, $\log(I_a)$, $\log(SI)$ e IJMA son los que presentan alguna relación con el valor de la escala de la Intensidad de Mercalli Modificada, los demás parámetros no presentan relación o tendencia clara con la IMM. Esta relación se traduce en un mayor aporte de información a los modelos, cuestión que se refleja en loading plot realizado mediante Mínimos Cuadrados Parciales (PLS).

Por consiguiente la determinación de la escala de Mercalli Modificada es muy importante ya que nos permite cuantificar la severidad de la sacudida en una determinada ubicación geográfica, y por lo tanto tener una idea por cual métodos constructivos optar al momento de diseñar una obra, esto a la vez dependerá de acuerdo a la intensidad de la zona visualizados en un mapa de distribución de intensidades. Pero esta escala es un tanto subjetiva, sobretodo para los primeros grados de libertad donde tiene que ver mucho el nivel de percepción humana; es así que en los últimos años se está realizando estudios en donde la escala de Mercalli Modificada se pueda objetivar correlacionándola con parámetros instrumentales (PGA, PGV, Intensidad de Arias, distancia al epicentro, profundidad, espectro de respuesta, etc) y así obtener resultados de la IMM más confiable y con mayor rapidez.

Actualmente, tanto a nivel nacional como internacional, existen instituciones que se encargan de publicar reportes acelerograficos de los sismos ocurridos, que consideren Acelerogramas, Espectros de Fourier, Espectros de respuesta y otros parámetros.

En Perú la institución encargada de ejercer dichas funciones es la **Red Acelerográfica** la cual permite generar información de acelerogramas de distribución y uso abierto, así como para la definición de criterios base para estudios de micro y macro zonificación, estudios de riesgo sísmico, evaluación de la respuesta de las obras civiles y del daño en edificaciones y obras de infraestructura

ante eventos sísmicos severos, generación de información necesaria para la evaluación de la amenaza sísmica y la generación de información para las instituciones vinculadas a la prevención, mitigación y alerta frente a eventos sísmicos.

El Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) es la institución que se encarga de procesar y analizar la información reportada por la red acelerográfica realizando diversos trabajos de microzonificación sísmica de un gran número de ciudades a nivel nacional y contribuyendo con investigaciones sobre materiales y tecnologías de construcción de viviendas sismorresistentes de interés social.

Por otra parte el **Instituto Geofísico del Peru** realiza reportes de los distintos eventos sísmicos que ocurre donde a parte de determinar las características del sismo también determinan la intensidad sísmica que se ha sentido en las zonas cerca del epicentro mediante la escala de Mercalli modificada.

Enfocándonos mas a la problemática que se presenta en nuestra localidad, ante un evento sísmico en Perú, el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional COEN necesita identificar de forma rápida y precisa la intensidad de los daños producidos por el sismo, para así entregar los recursos necesarios de forma efectiva en los sectores más afectados. Esta información, actualmente se obtiene de instituciones como Red Acelerográfica del Perú o el Instituto Geofísico del Perú (IGP), los cuales indican la Intensidad de Mercalli Modificada para su localidad, información que se recopila y se entrega en reportes de sismos del Servicio Sismológico. Es así que resulta muy importante dar una rápida representación de los efectos sísmicos así como proporcionar la información mas precisa de las regiones dañadas potencialmente, para así brindar la ayuda oportuna con una respuesta de emergencia por parte del COEN y publicada por los medios a través de la información pública.

Pues bien actualmente en el Peru no hay un estudio en la cual se generalice el valor de la IMM mediante una ecuación correlacionándola con un parámetro instrumental, en lugar de ello las instituciones competentes la determinan a partir de la realización de encuestas sobre la manera en que percibieron el sismo a los habitantes en las regiones del desastre, por lo que seguir este procedimiento produce un atraso en las tomas de decisiones por parte del COEN para brindar ayuda

humanitaria y constructiva en las zonas mas afectada. Además otra forma en la que se determina la intensidad de Mercalli en las distintas regiones luego de un sismo por parte del IGP y la Red Acelerografica es mediante las correlaciones que existen entre la Intensidad y la aceleración máxima propuestas por ingenieros de países extranjeros con lo que nos permite hallar de una forma automática la IMM asi como estudiar la distribución de los efectos sísmicos en la región afectada representándose mediante un mapa de la zona; pero sin embargo tomar referencias de correlaciones que fueron estudiadas a partir de un conjunto de sismos ocurridos en otros países no representa realmente la distribución de intensidad en territorio peruano. Por consiguiente se hace necesario hacer un análisis estadístico concreto y conciso para el establecimiento de una ecuación en la cual correlacione la intensidad y un parámetro instrumental que correspondan a la sismicidad instrumental en el Peru, proporcionando así, un nivel mayor de precisión y rapidez al momento de determinar la intensidad de Mercalli en las zonas mas afectadas producto de un sismo.

Por lo tanto investigar la correlación que existe entre la Intensidad de Mercalli Modificada y la aceleración máxima del suelo para una zona definida es muy importante ya que nos permitirá establecer una aproximación más racional acerca de la severidad de los sismos ya no siendo una medida subjetiva, así mismo resultaría compatible utilizar estas dos variables para la correlación ya que el PGA como la Intensidad de Mercalli Modificado son parámetros que se atenúan con la distancia. No obstante la carencia de estas correlaciones que se intentan encontrar en este estudio produciría un retraso en ubicar las zonas que han sufrido los mayores daños geológicos como estructurales de las viviendas después de ocurrido un sismo ya que actualmente para obtener dichos resultados primero es necesario hacer una encuesta a las personas que habitan en dichos lugares, por lo que las respuestas de emergencia y de información pública no se haría con la mayor brevedad posible. Asimismo, otro punto a considerar debido a la falta de un estudio como la que se trata desarrollar en la presente tesis es la forma subjetiva en la determinación de la Intensidad de Mercalli Modificada, especialmente para las intensidades VI o menores, en las cuales el efecto del sismo es difícil de identificar y de caracterizar, dado que no existe daño observable por lo que tienen mucho que ver con el nivel de percepción humana.

Por otra parte la elaboración de mapas de distribución de máximas intensidades sísmicas ayudaría a predecir el máximo daño o fuerza que experimentaría una localidad frente a un sismo, en donde la confiabilidad de estos resultados es importante para implementar medidas de prevención y mitigación en las zonas con mayor riesgo sísmico, por lo que la el nivel de intensidad debe ser hallado de la manera más racional posible, siendo una de ellas la determinación de la Intensidad de Mercalli Modificada a partir de la correlación entre dicha variable y la aceleración máxima del suelo.

1.2. Formulación del problema.

¿Cuál es la correlación entre la aceleración máxima del suelo y la escala de Mercalli Modificada para sismos ocurrido en Perú en la etapa de la sismicidad instrumental?

1.3. Justificación.

Un tema importante en el ámbito de la sismología y la ingeniería sísmica es la determinación del daño y/o pérdidas en un sitio determinado ocurridos como consecuencia de un terremoto. Para esto se han desarrollado las escalas de intensidades, siendo la más utilizada en el mundo la Intensidad de Mercalli Modificada (MMI), como un medio que permite identificar en primera instancia y rápidamente el nivel de severidad del movimiento y así poder dar una representación rápida de las regiones dañadas que se encuentren en estado de emergencias y difundir la información pública a través de los medios.

Justificación Teórica:

Los niveles de intensidades mostrados en los mapas de isosistas reportados por la Red Acelerográfica para un sismo determinado, son hallados a partir de la interpolación en una gráfica de IMM vs PGA, grafica obtenida a partir de la regresión lineal de solo 3 sismos ocurridos en el Perú, por lo que nos podemos dar cuenta que es un estudio escaso para encontrar una correlación entre ambas variables, pudiendo arrojar resultados de IMM no tan precisos.

Justificación Aplicativa o practica:

La importancia de encontrar la relación entre la Intensidad de Mercalli Modificada(IMM) y la aceleración máxima del suelo es poder identificar rápidamente las zonas más afectadas debido a un sismo mediante un mapa de intensidad sísmica y así poder brindar ayuda lo más pronto posible. Otro punto a tomar en cuenta es la precisión de evaluar la IMM en cada zona, ya que normalmente su evaluación depende de la percepción de la persona por lo que es un tanto subjetivo, este estudio objetivara la IMM mediante la correlación con el PGA (aceleración máxima del suelo)

Justificación valorativa:

Esta tesis seria de buen aporte para las actualizaciones de la norma E.030 (Diseño sismorresistente) que se hace cada cierto periodo, ya que a partir de este trabajo se podría profundizar en el factor R(zonificación) que está definido para cierta zona del Perú, la cual es un parámetro que se utiliza en la norma.

Justificación Académica:

Este estudio podrá servir como una guía para futuras investigaciones de las metodologías a seguir para llegar a los resultados esperados, asimismo esta tesis puede ser tomado como base para otros tesis para una comparación de la relación que encuentren entre la IMM y el PGA para región

Peruana.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Determinar la Correlación entre la aceleración máxima del suelo y la escala de Mercalli Modificada correspondiente a la sismicidad instrumental en el Perú.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Considerar la aceleración máxima del suelo como un indicador más confiable de la fuerza con que un sismo sacude un sitio específico, a partir de una selección detallada de datos y registros acelerográficos obtenidos en el Perú desde 1900 hasta la actualidad por las redes Acelerograficas del Perú.
- Seleccionar detalladamente los datos y registros acelerográficos obtenidos en Perú desde 1900 hasta la actualidad por las instituciones “Red Acelerográfica del Perú” y el Instituto Geofísico del Perú.
- Encontrar una regresión lineal que pueda relacionar la variable independiente (aceleración máxima del suelo) y la variable dependiente (IMM) mediante la herramienta de métodos estadísticos a través de software como Matlab o Excel
- Utilizar el método de clasificación “Redes Neuronales Artificiales” como instrumento para poder realizar una clasificación de datos observados (set de datos de prueba) estimando la posibilidad que una observación se encuentre en una categoría particular.

1.5. Antecedentes.

Titulo: “RELATIONSHIP BETWEEN PEAK GROUND ACCELERATION AND MODIFIED MERCALLI INTENSITY IN COSTA RICA

(Linkimer, 2008), Encontrar una correlación entre la intensidad Mercalli Modificada (MMI) y la componente horizontal de la aceleración pico del suelo (PGA) desarrollada para Costa Rica a partir de la regresión de 108 sismos ($2,8 < M_w < 7,7$) que ocurrieron entre 1983 y 2004.

Para cada PGA registrado instrumentalmente, un único valor de MMI fue asignado basado en la proximidad geográfica del PGA observado. Un total de 330 valores de la aceleración más alta entre las dos componentes horizontales (PGAm_{ax}) y del promedio de las dos componentes horizontales (PGA_{ave}) fue asociado con MMI. Las correlaciones obtenidas son: **MMI=2,30log(PGAm_{ax})+0,92 y MMI=2,33log(PGA_{ave})+0,76 para MMI II-V y MMI=3,82log(PGAm_{ax})-1,78 y MMI=4,60log(PGA_{ave})-3,38 para MMI V-VII.**

Con base en estas ecuaciones fueron propuestos intervalos de PGA para cada unidad de intensidad.

Uno de los aportes generados en este estudio seria la motivación para el desarrollo en Costa Rica

de mapas de intensidad de temblor como esos creado en los Estados Unidos en unos pocos minutos de la ocurrencia de terremotos a partir de las las relaciones empíricas encontradas en este estudio, la cual facilitaría ubicar de una manera más rápida y precisa las zonas donde hubieron mas daños producto del sismo.

Aporta a mi tesis por que gracias a estas ecuaciones fueron propuestos mis intervalos de PGA .

Titulo: “Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California

(Wald, Quitoriano, Heaton, & Kanamori, 1999), Desarrollar relaciones de regresión entre la Intensidad de Mercalli Modificada (Imm) y la aceleración de picos de terreno (PGA) y la velocidad (PGV) comparando los movimientos horizontales de picos de terreno con las intensidades observadas para ocho terremotos de California significativos.

Para el rango limitado de intensidades modificadas de Mercalli (Imm), encontramos que para la aceleración máxima con $V \leq Imm \leq VIII$, $Imm = 3.66 \log (PGA) - 1.66$, y para la velocidad máxima con $V \leq Imm \leq IX$, $Imm = 3.47 \log (PGV) + 2.35$.

Se determinó que la regresión combinada basada en la velocidad pico para la intensidad > VII y en la aceleración pico para la intensidad <VII es la más adecuada para reproducir los patrones Imm observados, consistente con altas intensidades relacionadas con el daño (proporcional al suelo velocidad) y con intensidades menores determinadas por cuentas de fieltro (más sensibles a la aceleración de tierra de mayor frecuencia).

Este estudio seria de buen aporte para la prevención y mitigación inmediata de las zonas sísmicas en California más propensas a sufrir los mayores daños de un sismo, a través de mapas de intensidades o isosistas con un grado de confiabilidad alto.

Este estudio aporta a mi tesis a tener una prevención de las zonas sísmicas en nuestro país .

Titulo: “CLASIFICACIÓN MEDIANTE PARÁMETROS INSTRUMENTALES DE LA INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA”

(Oviedo Vega, 2017), Objetivar la Intensidad de Mercalli Modificada mediante el uso de parámetros instrumentales,

Se trabajó con dos métodos estadísticos: Redes Neuronales Artificiales y Regresión Logística Multinomial . De esta forma se tendrán dos modelos y se podrá determinar cuál es el que se acerca más al valor buscado (variable dependiente),

Se generan tablas de resumen para hacer más fácil el análisis de cada método, la determinación del desempeño, y la comparación entre ambos métodos utilizados.

De los resultados se observa que el conocimiento a priori del tipo de suelo no es influyente en los resultados.

Este estudio aporta un análisis adicional de si existe alguna relación entre los valores de PGA y PGV

dependiendo del valor de la Intensidad de Mercalli Modificada. Es decir, encontrar si, por ejemplo, para las escalas menores existe mayor relación con uno de estos dos parámetros, y para las escalas mayores con el otro, como se ha establecido en otros trabajos.

Este dato lo utilizo en la Pag. 53 .

Título: “Relationships between Felt Intensity and Instrumental Ground Motion in the Central United States and California”

(Atkinson & Kaka, 2007) Desarrollar relaciones empíricas entre instrumental los parámetros de movimiento de suelo y la Intensidad Mercalli Modificada (MMI) observada mediante el uso de datos de terremotos moderados en el centro de los Estados Unidos (CUS),

La metodología se realizó mediante el uso de datos de terremotos moderados en el centro de los Estados Unidos (CUS) que también fueron grabado en redes sismográficas de banda ancha y grabadoras de movimiento fuerte en el Región CUS.

Se determinó la siguiente ecuación, con una desviación estándar de 0.8 unidades MMI a partir de la velocidad máxima registrada en tierra (PGV), en cm / seg,

$$\text{MMI} = 4.37 + 1.32 (\log \text{PGV}) \log \text{PGV} < 0.48$$

$$\text{MMI} = 3.54 + 3.03 (\log \text{PGV}) \log \text{PGV} > 0.48$$

Hay tendencias de débil magnitud y dependientes de la distancia en los residuos para esta relación. Estas tendencias, si no se eliminan, pueden conducir a aparentes dependencias regionales en MMI versus relaciones de amplitud de movimiento en tierra.

Esta tesis aportaría y sería de gran ayuda para futuras investigaciones a tener un enfoque más claro de como determinar si existe alguna relación entre los valores de PGA y PGV dependiendo del valor de la Intensidad de Mercalli Modificada. Es decir, encontrar si por ejemplo, para las escalas menores existe mayor relación con uno de estos dos parámetros, y para las escalas mayores con el otro, como se ha establecido en otros trabajos.

Título: “CORRELACIONES A PARTIR DE LA INTENSIDAD DE ARIAS PARA DATOS ACELEROGRÁFICOS DE COSTA RICA”

(Schmidt Díaz, 2008), Relacionar la Intensidad de Arias (IA) con la aceleración pico del suelo (PGA) para datos acelerográficos de Costa Rica.

El banco de datos utilizado consta de 1018 registros acelerográficos de campo libre obtenidos entre 1983 y el 2006 por el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica y por el Instituto Costarricense de Electricidad. Luego de definir una serie de criterios de selección, el grupo de datos se reduce a 734 registros provenientes de 320 sismos sentidos. Después de una serie de pruebas, se obtuvieron las siguientes relaciones:

$$\text{IA} = 8\text{E}-6 * (\text{PGA})^{1.9956}, r^2 = 0,923, (\text{IA en m/s y PGA en cm/s}^2), \text{Ln(IA)} = -13,799 + 2,685 * \text{Mw}$$

$1,611 \cdot \ln(D) - 0,0034 \cdot D + 0,945 \cdot S$, $r^2 = 0,71$ (IA en m/s y D en km, Mw y S son adimensionales), $IMM = 0,5719 \cdot \ln(IA) + 7,1952$, $r^2 = 0,9905$ (IMM es adimensional e IA en m/s). Los resultados muestran altos coeficientes de correlación, así como similitud en algunos casos con ecuaciones propuestas por otros autores, obtenidas a partir de datos de otras partes del mundo.

Este trabajo aportara correlaciones que permitan considerar la Intensidad de Arias como un

indicador más confiable de la fuerza con que un sismo sacude un sitio específico, a partir de una selección detallada de datos y registros acelerográficos obtenidos en Costa Rica desde 1983 hasta el 2006 por las redes del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) y el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

Título: “DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA PARA CHILE”

(Poblete Rojas, 2008), Proponer un parámetro instrumental para estimar en forma objetiva y rápida Intensidad Sísmica, basándose en parámetros instrumentales, para los eventos sísmicos en Chile. Recolección de estudios realizados similares. Se procedió a realizar las rutinas computacionales que logren obtener los parámetros instrumentales mencionados anteriormente para cada registro sísmico, utilizando para esto el programa computacional MATLAB, Con los registros obtenidos de las redes de acelerógrafos del Departamento de Ingeniería Civil, RENADIC, y la Red Conjunta RAGIC, se seleccionarán los registros a analizar, escogiendo los sismos que generan MMI iguales o menores a VI, distinguiendo en el análisis eventos por 6 tipos de fallas distintas que ocurren generalmente en Chile. Con los sismos seleccionados se recolectarán las Intensidades reportadas para todos ellos, obteniendo la MMI en la localidad donde se obtuvo el registro de aceleraciones para el evento; utilizando las rutinas de MATLAB, se calculan las intensidades instrumentales para los distintos parámetros seleccionados para el análisis. Finalmente se establecen las regresiones estadísticas que mejor representan la

relación entre cada intensidad instrumental calculada con la MMI reportada. Se obtuvieron las distintas regresiones utilizando los valores medios de MMI, para MMI entre II y V, utilizando todos los registros, sólo los registros de carácter Subducción Interplaca y sólo los Subducción Intraplaca Profundidad Intermedia, para los parámetros instrumentales utilizados en el presente trabajo:

$$MMI = - 3.53 + 4.91 \cdot \log_{10} (PGA) \quad r^2 = 0.882 \text{ Todos los Registros}$$

$$MMI = -3.51 + 4.91 \log_{10} (PGA) \quad r^2 = 0.974 \text{ Subducción Interplaca}$$

$$MMI = -1.81 + 3.62 \cdot \log_{10} (PGA) \quad r^2 = 0.675 \text{ Sub. Intraplaca Prof. Inter.}$$

Los valores de regresiones para los valores originales (no media), son particularmente bajos, teniendo para todos los parámetros instrumentales estudiados, coeficiente de determinación. Por esto se propone en un futuro realizar estudios estadísticos generando intervalos de confianza para MMI.

Esta correlación sería de gran aporte para el estudio de microzonificación y peligro sísmico en el mundo, ya que para elaborar mapas de riesgo sísmico se tiene que tener datos confiables de

parámetros instrumentales, así como de la Intensidad de Mercalli Modificada, y este estudio permitiría obtener datos más precisos y confiables de la IMM, ya no siendo subjetivo como se viene determinando normalmente hasta la actualidad.

Este estudio aporta a mi tesis para obtener precisos y confiables de la IMM.

1.6. Bases Teóricas.

1.6.1. SISMICIDAD EN EL PERU

A. SISMICIDAD HISTORICA EN EL PERU

(Tavera & Buforn, Sismicidad y sismotectónica de Perú, 1998) La sismicidad histórica en el Perú empieza con la conquista y colonización de los españoles y depende fundamentalmente de la concentración de población ya que fueron transmitidas en forma oral. Silgado (1968, 1978, 1985) fue uno de los pioneros en este trabajo y realizó una de las más importantes aportaciones a la historia sísmica del Perú. Otros investigadores como Dorbath et al. (1990), analizaron los grandes sismos históricos del Perú y obtuvieron estimaciones de parámetros como la longitud de ruptura y la magnitud momento, y caracterizaron la actividad sísmica en el norte, centro y sur del país. Alva et al. (1984) confeccionaron un mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú, en el que se representan los niveles de daños producidos por los terremotos peruanos. El mapa se ha basado en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes. La historia sísmica peruana ha sido evaluada por Dorbath en las regiones norte, central y sur. Cada una se muestra a continuación. Zona Norte El único sismo histórico registrado en esta zona destruyó la ciudad de Trujillo en 1619. Este evento presentó una longitud de ruptura no muy bien definida de 100-150 km, obtenida con datos de microsismicidad. No se encontró referencias sobre ocurrencia de tsunamis. El mayor sismo desde los inicios de la sismicidad instrumental en esta zona corresponde al del 31 de Mayo de 1970, que produjo más de 50,000 muertes. Debido a los escasos eventos registrados en la zona Norte no es posible estimar el tiempo de recurrencia de grandes eventos. (pag. 191)

B. SISMICIDAD INSTRUMENTAL EN EL PERU

(Tavera & Buforn, Sismicidad y sismotectónica de Perú, 1998). menciona en la figura 1 de su informe publicada en la Universidad Complutense de Madrid donde se muestra el mapa de sismicidad de Perú para el periodo 1960-1995 con $m_b = 5$ según el National Earthquake Information Center (NEIC). Atendiendo a la profundidad de los focos, los terremotos pueden clasificarse tres tipos: terremotos con foco a profundidad superficial ($h = 60$ km), a profundidad intermedia ($60 < h = 350$ km) y foco profundo ($h > 350$ km). La sismicidad con

foco a profundidad superficial (figura 3a), se localiza en la zona oceánica en dirección paralela a la línea de costa (Stauder, 1975; Barazangi y Isacks, 1976), produciendo terremotos de magnitud elevada con relativa frecuencia (13 de enero de 1960, $M_s = 7,5$; 17 de octubre de 1966, $M_s = 8,0$; 31 de mayo de 1970, $M_s = 7,8$; 3 de octubre de 1974, $M_s = 7,6$). El terremoto de 1970 localizado en esta zona, es considerado uno de los más catastróficos en el mundo por haber producido la muerte de 67.000 personas, 250.000 desaparecidos y 18(1000 heridos (Plafker et al., 1971; Abe, 1972; Silgado, 1978). Otro grupo importante de terremotos son los producidos por la subsidencia del escudo brasileño bajo la Cordillera Andina, estando la mayor parte de estos sismos localizados en la zona de transición entre la Cordillera Oriental y el margen occidental de la zona Subandina (entre 3o~13oS). En la zona del Altiplano también existen sismos superficiales, pero son menos numerosos y más dispersos. En general, los terremotos que ocurren en esta zona presentan magnitudes moderadas (24 de julio de 1969, $m_b = 5,6$; 1 de octubre de 1969, $m_b = 5,8$; 30 de mayo de 1990, $m_b = 6,1$ y 5 de abril de 1991, $m_b = 6,5$). Asimismo, se observa la existencia de zonas de bajo índice de sismicidad entre la línea de costa y la Cordillera Occidental (4~S 13~S) y en la región Sur de Perú (13QS~160S), mostrando que en estas zonas el régimen de deformación cortical probablemente es menor o que existen períodos mayores de recurrencia para terremotos de magnitud elevada. (pag. 194)

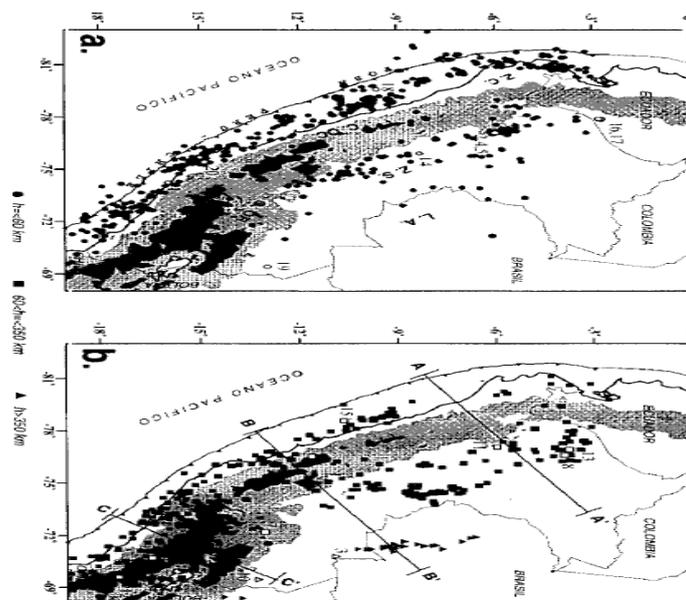


Figura 1. Sismicidad de Perú para el período 1960-1995, $m_b = 5$ (NEIC). a) Distribución de epicentros con foco superficial

Fuente: Sismicidad y sismotectónica de Perú. Tavera y Buforn

1.6.2. MEDICION DE TERREMOTOS

(Elnashai & Di Sarno, 2008) refiere en su libro que hay varias maneras de medir el tamaño de un terremoto, las cuales se dividen en 2 grupos Cualitativa o no instrumental y cuantitativa o medición instrumental; este último puede basarse en calibraciones regionales o aplicables en todo el mundo.

Asimismo, las mediciones instrumentales son esenciales en la compilación de catálogos históricos de terremotos para fines de análisis de peligro. Para los terremotos que se han registrado instrumentalmente, las escalas cualitativas son complementarias a los datos instrumentales. El periodo de observación durante el cual se emplean los datos para determinar las proyecciones futuras es un tema de gran importancia ya que para las regiones donde hubiera escases de los catálogos utilizados en el análisis de peligros a un corto periodo de tiempo se podría sobrestimar o subestimar el peligro proyectado.

El parámetro más importante a considerar en la presente tesis se presenta a continuación:

A. INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA (IMM)

Es una evaluación cualitativa de la clase de daños causados por un sismo, debe su nombre al físico italiano Giuseppe Mercalli. Generalmente, un gran terremoto producirá valores de mayor intensidad que uno pequeño, pero hay otros factores capaces de afectar como la cantidad de energía liberada, la distancia del epicentro, la profundidad focal del sismo, la densidad de la población, la geología local del área, el tipo de construcción de los edificios así como la duración del sacudimiento. (Elnashai & Di Sarno, 2008) pag 87.

Según (Muñoz Pelaez, 2017), la escala más reconocida mundialmente para definir el grado de severidad de un sismo es la escala de *Mercalli Modificada (MM)*, presentada en 1902 por Mercalli, modificada en 1931 por Wood y Neumann, y por Richter en 1956. Hay otras escalas que también que se emplean como la MSK (Europa), propuesta en 1964 por Medvedev, Sponheuer y Karnik. Del I al V grado de la escala de Mercalli es el resultado de la percepción humana y del efecto que causa el sismo en los. Los grados intermedios reflejan definen las respuestas estructurales frente a un daño en alguno de sus componentes estructurales, como por las alteraciones en la superficie. Los grados altos corresponden fundamentalmente a cambios severos en la naturaleza.

A continuación, se presenta la definición utilizada en la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada, la cual establece la escala de grados para apreciar la intensidad de los fenómenos sísmicos.

Tabla N°2

Categoría de las construcciones

Categoría de las construcciones

| | |
|---------------|---|
| Tipo A | Estructuras de acero y concreto armado diseñadas para resistir fuerzas sísmicas y que han sido construidas adecuadamente. |
| Tipo B | Estructuras de concreto armado sin diseño sismorresistente detallado, pero con buena calidad de construcción. |
| Tipo C | Estructuras sin diseño sismorresistente y con calidad de construcción regular. |
| Tipo D | Estructuras de materiales pobres, como adobe, y sin resistencia lateral. |

Fuente: Ingeniería Sismoresistente. Muñoz

Tabla N°3

Escala de Mercalli Modificada

| Grado | Escala de Mercalli Modificada, 1956 |
|--------------|--|
| | Descripcion |
| I | Sentido sólo por algunas personas en condiciones sumamente favorables. |
| II | Percibido por personas en descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios |
| III | Percibido en el interior de los edificios, pero sin reconocerse como sismo. |
| IV | Percibido en el interior de edificios y por algunas personas en las calles. Objetos colgantes que oscilan. Vibración perceptible en puertas, ventanas y vajilla. Los vehículos detenidos oscilan. |
| V | Percibido por la mayoría de personas. Algunas personas despiertan. Objetos inestables se vuelcan. Es posible estimar la dirección del movimiento. |
| VI | Percibido por todos. Personas que huyen hacia exteriores. Caminar inestable. Se rompen vidrios, caen objetos de los armarios y muros. Muebles desplazados. Algunas grietas en revestimientos y construcciones tipo D. Pequeñas campanas que tañen. Árboles sacudidos visiblemente. |

- VII** Dificultad para mantenerse en pie. Percibido por conductores de automóviles en marcha. Tañen las campanas. Grietas en edificaciones tipo D. Algunas grietas en edificaciones tipo C. Algunas chimeneas caen. Ondas en los lagos. Pequeños deslizamientos y hundimientos en terraplenes y taludes de arena y grava. Daños en canales de concreto para regadío.
- VIII** Manejo inseguro de vehículos. Daños y hasta colapsos parciales en edificios tipo C. Daños menores en construcciones tipo B. Ningún daño en construcciones tipo A. Caen chimeneas, monumentos, torres y depósitos elevados. Desprendimiento de tabiques. Se quiebran las ramas de los árboles. Cambios en las corrientes de agua. Grietas en suelos húmedos y pendientes escarpadas.
- IX** Pánico general. Destrucción de construcciones tipo D. Daños serios en edificaciones tipo C, inclusive algunos colapsos. Daños importantes en edificaciones tipo B y en depósitos de agua. Ruptura de tuberías subterráneas. Grietas grandes en suelos secos. Pequeñas eyecciones de arena y barro en suelos aluviales.
- X** Gran destrucción de edificaciones. Grandes daños en malecones, represas, diques y terraplenes. Grandes desplazamientos de tierra en taludes y orillas de los ríos. Agua de canales, ríos y lagos sale hacia las playas. Rieles de las vías férreas deformados.
-
- XI** Pocas edificaciones quedan en pie. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. Puentes destruidos. Grandes grietas en el suelo. Rieles de vías férreas muy retorcidos. Hundimientos y desplazamientos en suelos blandos.
- XII** Destrucción casi total. Cambios en la topografía. Desplazamiento de grandes masas de roca. Líneas de mira y niveles distorsionados. Objetos lanzados al aire.

Fuente: Ingeniería Sismoresistente. Muñoz

(Tavera & Buforn, Sismicidad y sismotectónica de Perú, 1998) Esta intensidad resulta en cierta medida subjetiva ya que su determinación tiene que ver con el nivel de percepción humana, básicamente para las primeras escalas, y los grados intermedios con la evaluación de daños en las edificaciones. De todas maneras la intensidad nos permite cuantificar de manera sencilla la severidad del movimiento y establecer comparaciones entre diferentes puntos de

una región afectada, o entre los efectos de diferentes sismos en un lugar determinado. (Muñoz Pelaez, 2017)

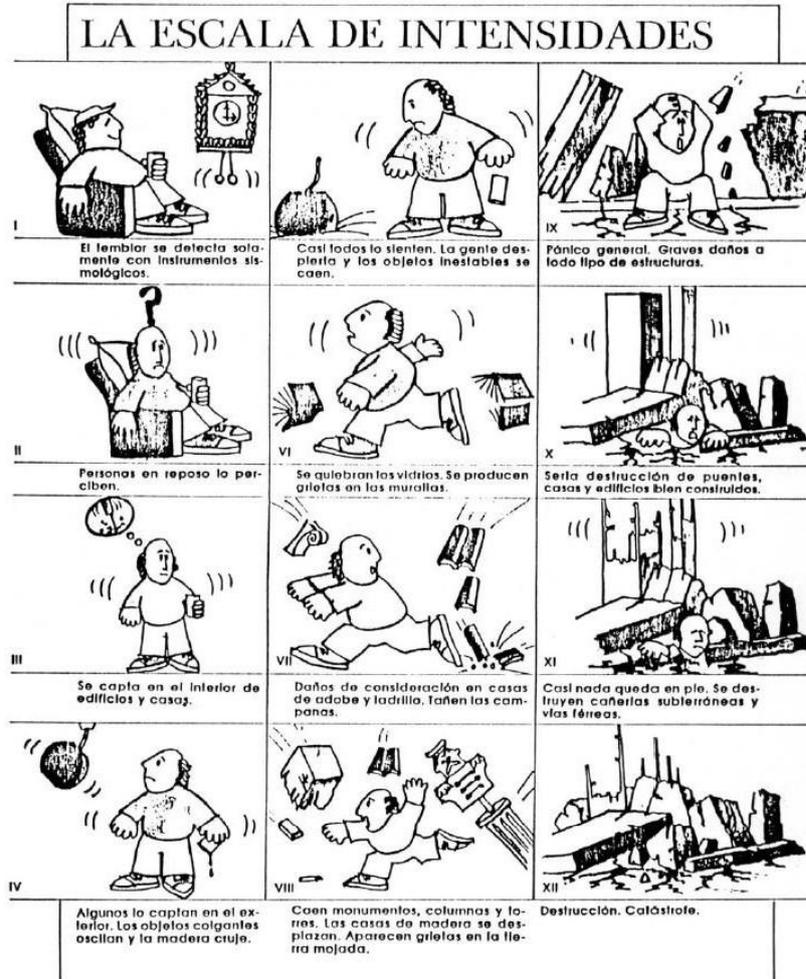


Figura 2. Ilustración de la Escala de Intensidades

Fuente: CHILE Escala de Intensidades Escala de Intensidad y Magnitud CI 52S DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS, 2006

B. TAMAÑO DE UN TERREMOTO

(Muñoz Pelaez, 2017) afirma así como es importante determinar la severidad de un terreno mediante la Escala de Mercalli, es preciso magnificar el tamaño de un terremoto visto como un fenómeno tectónico completo que se relacione con la cantidad de energía liberada durante el evento, a esto se denomina magnitud.

(Elnashai & Di Sarno, 2008) afirma, esta magnitud se basa en las amplitudes máximas de ondas sísmicas de la superficie. Por lo tanto, es un instrumento, cuantitativo y escala objetiva. Los primeros intentos de definir escalas de magnitud fueron hechos en Japón por Wadati y en California por Richter en la década de 1930 expresando la magnitud(M) de los terremotos en el sur de California, en función de la amplitud del desplazamiento registrado a 100 Km del

epicentro. Muchas de estas escalas dependen de la frecuencia porque miden amplitudes de ondas sísmicas con diferentes propiedades. Las escalas de magnitud más comunes se describen aquí:

- **Magnitud local (o Richter) (M_L):** Expresa la magnitud(M) de los terremotos en función de la amplitud del desplazamiento (A en micrones) registrado a 100Km. Mas tarde se le agrego un término de corrección (A_o) según la siguiente expresión:

$$M = \log (A) - \log (A_o)$$

- **Magnitud de la onda de cuerpo (M_b):** mide la amplitud de las ondas P con un período de aproximadamente 1.0 segundo, es decir, menos de 10 km de longitud de onda. Esta escala es adecuada para terremotos profundos que tienen algunas ondas superficiales. Además, m_b puede medir eventos distantes, p. distancias epicentrales no menos de 600 km.

- **Magnitud de onda superficial (M_s):** Se usan para sismos lejanos, la cual el tipo de onda a emplear es la onda de superficie. La M_s se determina en función de la amplitud (A) y la distancia al foco R, medida en grados latitud-longitud, como:

$$M_s = \log (A) + 1.66 R + 2$$

- **Momento sísmico (M_o):** Se determina a partir del área de ruptura (S), el desplazamiento de la falla(Δ) y el módulo de rigidez de la roca(G), como

$$M_o = S \Delta G$$

C. DISTANCIA AL HIPOCENTRO

La distancia al hipocentro se calcula como la distancia euclidiana entre el hipocentro y la estación que registra el sismo.

Conociendo la latitud y longitud de la estación, y la latitud, longitud y profundidad del hipocentro, se puede determinar el radio de la tierra en esta posición específica. Luego, con el radio, la latitud y longitud, se calculan las coordenadas cartesianas de ambos puntos (distancia en km). Por último, con estos dos valores se calcula la distancia entre estos.

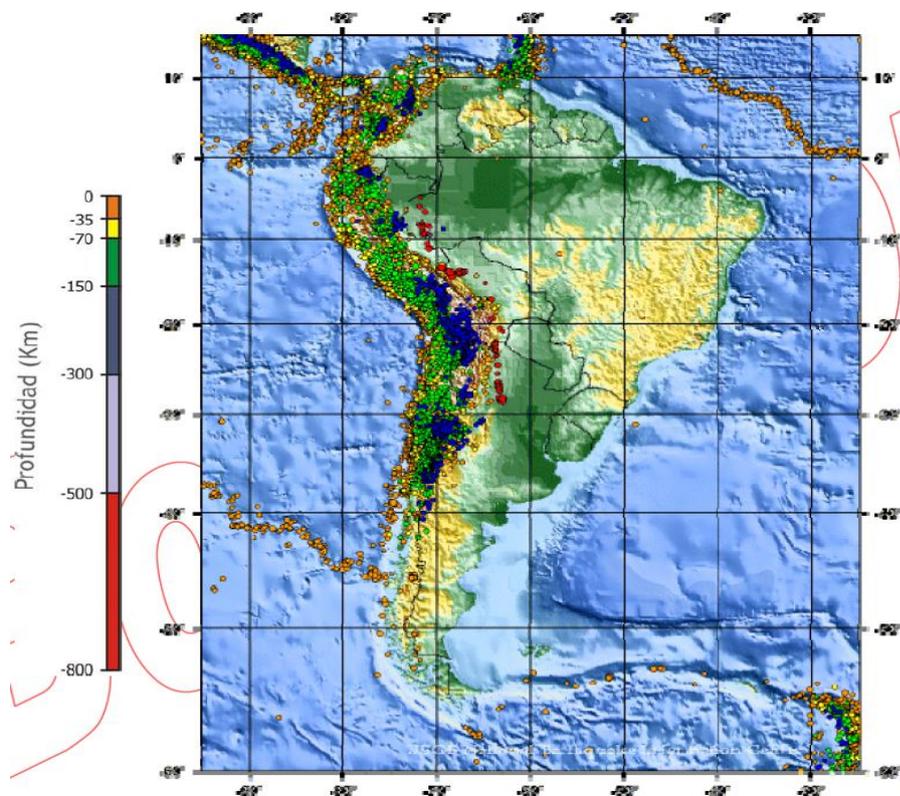


Figura 2. Distribución de hipocentros en América del Sur.
Fuente: Cortesia del United States Geological Survey (USGS).

PROFUNDIDAD HIPOCENTRO

La profundidad del hipocentro es la distancia entre este y el epicentro. Esta información es obtenida de páginas de internet donde se encuentra la información del sismo. Las páginas utilizadas son las del Centro Sismológico Nacional (CSN). En el esquema mostrado a continuación se muestra a que distancia corresponde la profundidad del hipocentro.

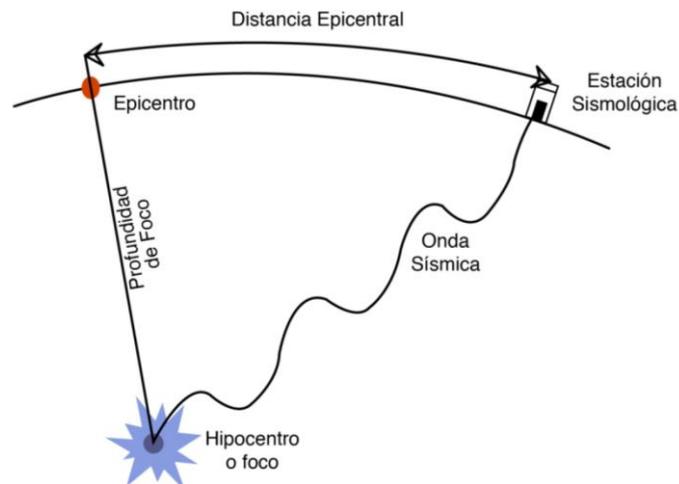


Figura 3: Esquema que muestra la distancia que corresponde a la profundidad del hipocentro.

(Fuente: universobservado.blogspot.cl)

D. ACELERACION Y VELOCIDAD MAXIMA (PGA y PGV)

Estos parámetros se conocen mayormente por sus siglas en inglés PGA (Peak Ground Acceleration) y PGV (Peak Ground Velocity) respectivamente.

La Aceleración Máxima del Suelo está relacionada con la fuerza de un movimiento sísmico y se define como la amplitud máxima absoluta del registro de aceleraciones del suelo. El PGV, como lo dice su nombre, corresponde a la velocidad máxima del suelo, considerando los valores absolutos y se obtienen luego de integrar los registros de aceleración

Estas dos definiciones son las más utilizadas para relacionar la Escala de Mercalli Modificada con parámetros instrumentales mediante el uso de regresiones estadísticas.

E. REGISTRO DEL MOVIMIENTO DEL SUELO

(Muñoz Pelaez, 2017) afirma, es casi indeterminable evaluar el movimiento de los distintos trenes de ondas en un punto de la superficie en donde se registra la aceleración o el desplazamiento en tres direcciones mutuamente perpendiculares. Estas direcciones son 2 componentes horizontales y una vertical del movimiento.

Los instrumentos que registran los desplazamientos y las aceleraciones se denominan

sismómetros y **acelerómetros**, respectivamente.

La figura 4 muestra la componente N-S del movimiento registrado en El Centro durante el terremoto de Imperial Valley, California, el 18 de mayo de 1940. El valor máximo de la aceleración fue de 313 cm/seg². Las historias de velocidad y desplazamiento se obtuvieron por integración numérica.

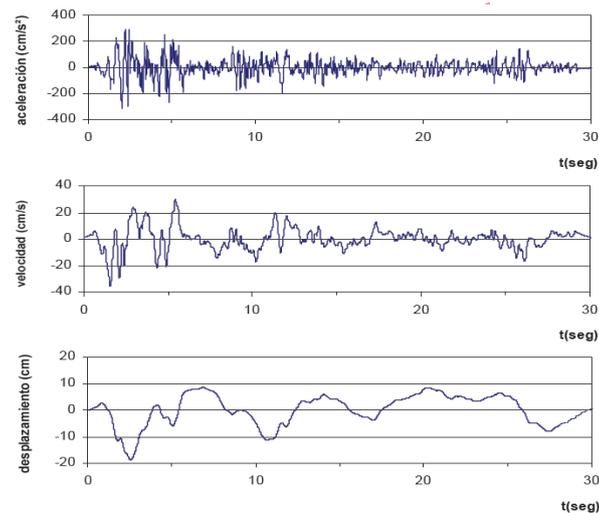


Figura 4. Historia del movimiento registrada en el El Centro durante el terremoto de Imperial Valley, EEUU, en 1940.

❖ Metodología –Red Acelerográfica del Perú:

(Red Acelerografica del Peru, 2018)El procesamiento de la información consta de 4 partes, las cuales fueron incluidas en el desarrollo del programa SIPA v1.0.0⁵. El programa SIPA (Sistema Inteligente para Procesamiento Acelerográfico) hace uso de algoritmos inteligentes (redes neuronales) para diferenciar los archivos que son sismos de los que no lo son, luego de este reconocimiento el programa busca la información de los sismos de diferentes fuentes, procesa los acelerogramas corrigiendo previamente por línea base y filtrado, determina el tiempo-historia de aceleraciones, velocidades, desplazamientos, espectros de fourier y de respuesta y finalmente reporta los resultados en un informe.

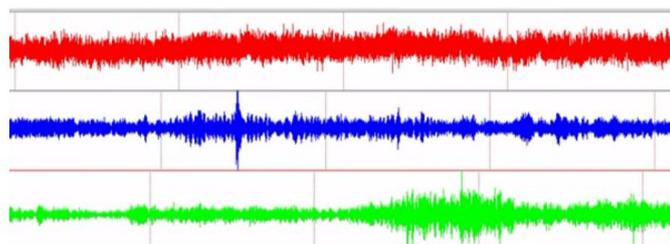


Figura 5. Acelerogramas registrados. Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Peru.

1. Corrección por línea base

Generalmente los valores del acelerograma se encuentran desplazados respecto a la línea cero de aceleración. Este error puede ocurrir porque el acelerógrafo no se encuentra nivelado adecuadamente, lo cual también distorsiona la velocidad y el desplazamiento que se determinan por integración, por ello es necesario corregir el acelerograma a partir del promedio de sus valores registrados.

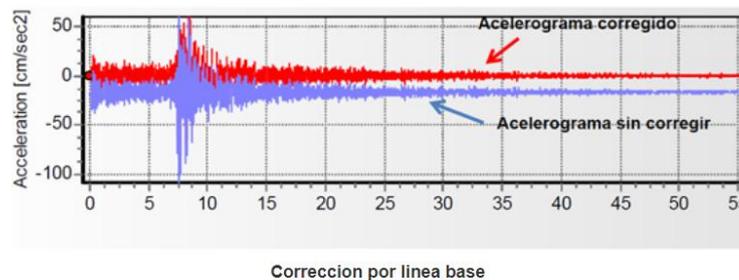


Figura 6. Corrección por línea base. Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Perú.

2. Filtrado de la señal

Se debe tener en cuenta la repercusión que el ruido tiene sobre el acelerograma. Este ruido puede estar causado tanto por fenómenos naturales y artificiales como el viento, tránsito de vehículos y personas.

Para poder filtrar la señal del ruido de alta y baja frecuencia se limita la banda de frecuencia de trabajo desde 0.1 Hz a 25 Hz, debido a que los sismos se encuentran en este rango y así evitar los errores que puede contener la señal.

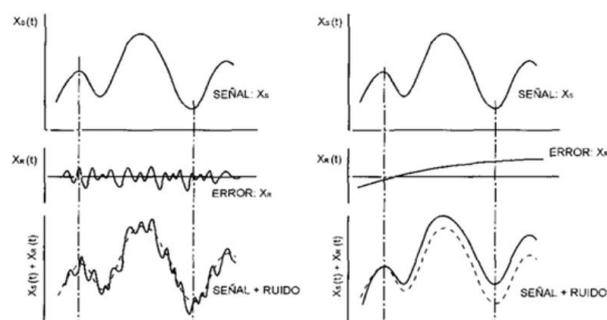


Figura 7. Filtrado de la señal (Hudson, 1979). Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Perú.

3. Obtención de las historias de velocidad y desplazamiento.

Con el acelerograma ya corregido se procede a determinar la velocidad y el desplazamiento mediante la integración de la aceleración y posteriormente la integración de la velocidad, considerando la velocidad y desplazamiento inicial cero.

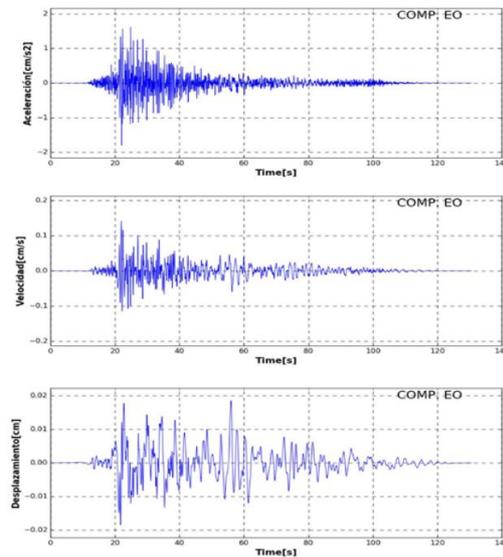


Figura 8. Historias de aceleración, velocidad y desplazamiento. Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Perú.

4. Obtención de los espectros de Fourier y el de Seudoaceleración

Una vez que se han obtenido los registros de velocidad y desplazamiento, es necesario hacer un análisis del contenido en frecuencias del acelerograma mediante el Espectro de Amplitudes de Fourier, en el intervalo de 0.1 hertz a 100 hertz.

Los espectros de seudoaceleración se definen para un amortiguamiento del 5% de acuerdo a la norma E030 a fin de tener una representación gráfica de la respuesta elástica máxima del suelo.

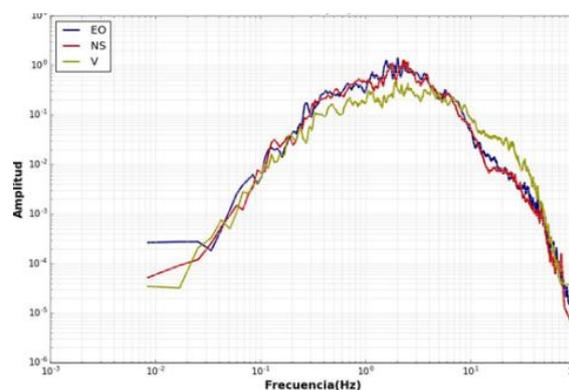


Figura 9. Espectro de Amplitudes de Fourier – Estacion CIP Tumbes Sismo del 20/03/2017 . Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Peru.

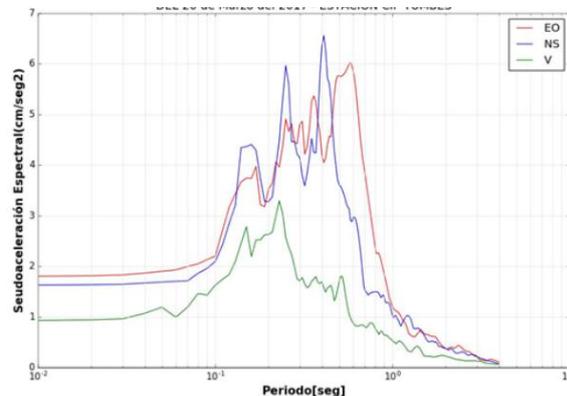


Figura 10. Espectro de Respuesta de Pseudoaceleración del sismo del 20 de marzo del 2017- Estacion CIP Tumbes.
Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Perú.

1.6.3. METODOS DE REGRESION Y/O CLASIFICACION

(Sancho Caparrini, 2017) Los métodos que se utilizan en este trabajo están dentro de lo que se conoce como Aprendizaje Automático (AA). El AA es una rama de la Inteligencia Artificial que tiene como objetivo desarrollar técnicas que permitan a los computadores/ordenadores aprender. Lo anterior, creando algoritmos capaces de generalizar comportamientos y reconocer patrones a partir de información suministrada en forma de ejemplos. Por lo descrito en este párrafo se puede decir que el AA es un proceso de inducción del conocimiento.

La aplicación del Aprendizaje Automático es muy amplia, siendo sus usos más comunes los siguientes: motores de búsqueda, diagnósticos médicos, detección de fraude en el uso de tarjetas de crédito, análisis del mercado de valores, clasificación de secuencias de ADN, reconocimiento del habla y del lenguaje escrito, juegos y robótica.

(Sancho Caparrini, 2017) refiere que dentro del AA se puede hacer una distinción entre métodos, según la forma en que los datos son presentados al sistema de aprendizaje:

- Aprendizaje Supervisado: “Predicen un dato (variable objetivo) desconocido a priori, a partir de otros conocidos. Los algoritmos utilizados en este caso requieren que cada una de las instancias de los datos se encuentre etiquetados con un atributo objetivo”.
- Aprendizaje No Supervisado: “Descubren patrones y tendencias en los datos. Los algoritmos utilizados en este caso no requieren que los datos se encuentren etiquetados con el atributo objetivo.”

También se pueden clasificar según la función del algoritmo y la salida: regresión, clasificación, agrupamiento (“Clustering”), recomendación y aprendizaje profundo (“Deep Learning”). Se describe brevemente los que son utilizados en este trabajo.

- Regresión: Aquellos modelos que intentan predecir un valor real.
- Clasificación (binaria o multiclase): Aquellos modelos que intentan predecir la clasificación de objetos sobre un conjunto de clases prefijadas.

A. Redes Neuronales Artificiales

Las Redes Neuronales Artificiales (RNA) es una técnica de análisis predictivo que se basa en el comportamiento y/o estructura del sistema nervioso de los seres vivos, en particular en el funcionamiento del cerebro: neuronas conectadas entre sí mediante sinapsis.

(Ochoa, 2003) La arquitectura de una RNA se refiere a la estructura de esta (Figura 9). A cómo son ordenados los nodos (neuronas) y las conexiones entre sí (sinapsis), que en general se suelen agrupar en unidades estructurales llamadas capas. Dentro de los diferentes tipos de RNA uno de los más utilizados es el llamado Multi-Layer Perceptron el cual es una estructura en capas.

Cada capa está formada por un número determinado de neuronas. Las capas son las siguientes:

Capa de entrada: El número de neuronas en esta capa corresponde al número de parámetros predictores.

Capa oculta (puede existir o no): Esta capa recibe información de la capa de entrada y luego transmite información a la capa de salida. El número de neuronas en esta capa, que puede ser una o más, ayuda a controlar que no se produzca sobre-entrenamiento (*overfitting*).

Capa de salida: La capa de salida es la que recibe la información de la capa oculta. El número de neuronas en esta capa depende del número de variables dependientes.

(Parada, 2016) refiere que la neurona es la unidad básica, el elemento procesador de una Red Neuronal Artificial. Cada una de ellas recibe información de la capa de neuronas anterior la cual ha sido ponderada por un peso. Esta información ponderada es generalmente sumada y luego se hace pasar por una función de activación con lo que se obtiene una señal que es transmitida a la próxima neurona. La ponderación refleja la fuerza de la conexión entre las neuronas.

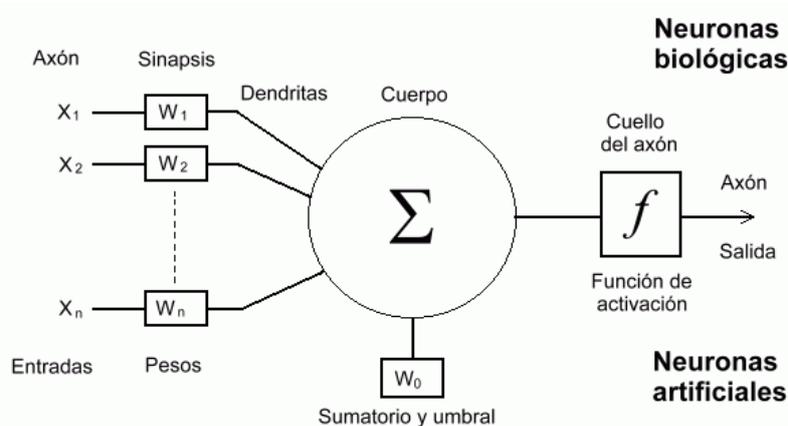


Figura 11: Esquema neurona en RNA y analogía con neurona biológica. (Fuente: Universidad de Sevilla)

(Larrañaga, Inza, & Moujahid, 2017) La función de activación, como su nombre lo dice, se encarga de calcular el nivel o estado de activación de la neurona en función de la entrada total. Esta función es aplicada para obtener la señal (peso) que es transmitida a la próxima neurona. Si el valor del peso es positivo quiere decir que activará a la neurona siguiente, en caso que el valor sea negativo desactivará o inhibirá la neurona siguiente. En el caso que este peso sea igual a cero, quiere decir que no existe conexión entre ambas neuronas. En general, para la capa oculta se utiliza una función no lineal, entre las más comunes está la tangente sigmoideal (tansig). Y en este trabajo, para la capa de salida se utiliza una función lineal (purelin).



Figura 12: Ejemplos funciones de activación. (Fuente: Universidad de Sevilla)

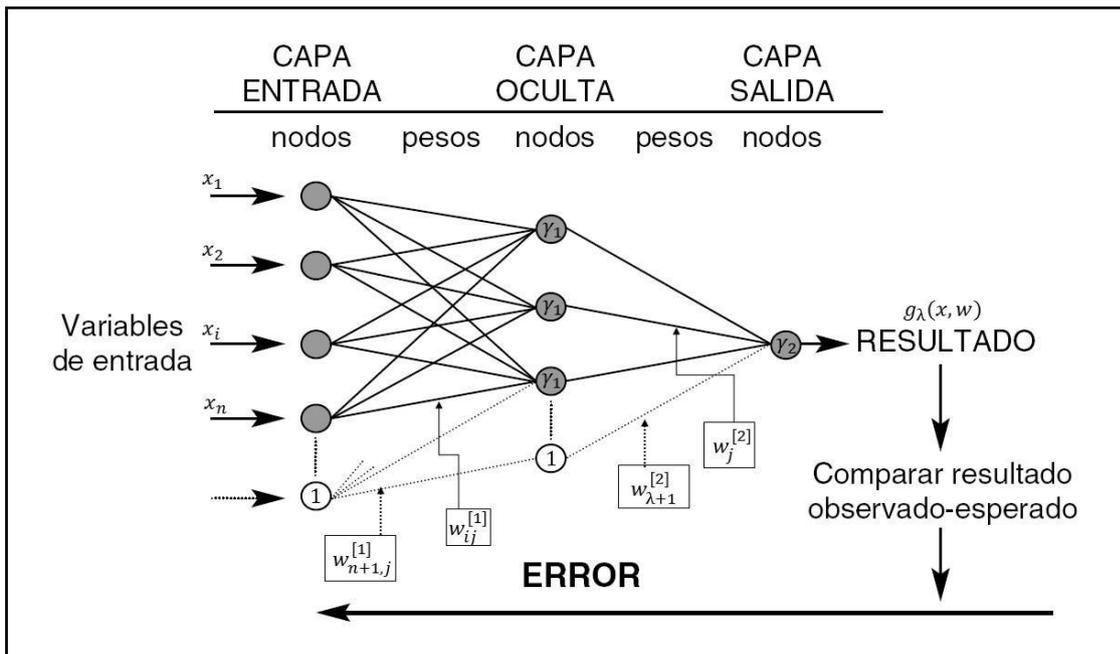


Figura 13: Esquema RNA tipo feed-forward backpropagation.
(Fuente: www.medicinaintensiva.org)

Dado un conjunto de observaciones, la tarea del aprendizaje neuronal es construir un estimador $g_\lambda(x, w)$:

$$g_\lambda(x, w) = \gamma_2 \left(\sum_{j=1}^{\lambda} w_j^{[2]} \gamma_1 \left(\sum_{i=1}^n w_{ij}^{[1]} x_i + w_{n+1,j}^{[1]} \right) + w_{\lambda+1}^{[2]} \right)$$

donde:

$W_i[1]$: Vector paramétrico a ser estimado que equivale a las ponderaciones de las conexiones entre las neuronas de la capa de entrada y la capa oculta.

$W_{n+1,j} [1]$: Ponderación de conexiones entre la neurona bias de la capa de entrada y las neuronas de la capa oculta.

$W[2]$: Vector paramétrico a ser estimado que equivale a las ponderaciones de las conexiones entre las neuronas de la capa oculta y la capa de salida.

$W_{\lambda+1}[2]$: Ponderación de conexiones entre la neurona bias de la capa oculta y las neuronas de la capa de salida.

γ_1 : Función no lineal acotada y diferenciable

γ_2 : Función que puede ser lineal o no lineal

λ : Parámetro de control que indica el número de neuronas en la capa oculta

$i=1, n$ con n número de neuronas de la capa de entrada

$j= 1, \lambda$ con λ número de neuronas de la capa oculta

B. Regresión Lineal Simple

La regresión lineal simple examina la relación lineal entre dos variables continuas: una respuesta (Y) y un predictor (X). Cuando las dos variables están relacionadas, es posible predecir un valor de respuesta a partir de un valor predictor con una exactitud mayor que la asociada únicamente a las probabilidades.

La regresión proporciona la línea que "mejor" se ajusta a los datos. Esta línea se puede utilizar después para:

- Examinar cómo cambia la variable de respuesta a medida que cambia la variable predictora.
- Predecir el valor de una variable de respuesta (Y) para cualquier variable predictora (X).

Regresión de mínimos cuadrados ordinarios:

Para hacer una estimación del modelo de regresión lineal simple, trataremos de buscar una recta de la forma:

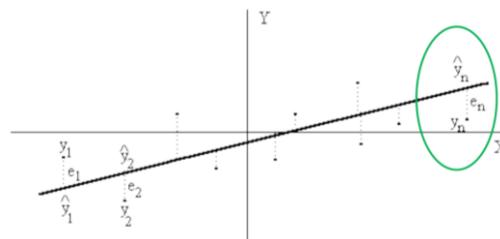
$$\hat{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X = a + bX$$

de modo que se ajuste a la nube de puntos.

Para esto utilizaremos el método de mínimos cuadrados. Este método consiste en minimizarla suma de los cuadrados de los errores:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Es decir, la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores reales observados (y_i) y los valores estimados (\hat{y}_i).



Con este método, las expresiones que se obtiene para a y b son las siguientes:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}, \quad b = \frac{S_{XY}}{S_X^2}$$

En donde \bar{x} y \bar{y} denotan las medias muestrales de X e Y (respectivamente), S_X^2 es la varianza muestral de X y S_{XY} es la covarianza muestral entre X e Y.

Estos parámetros se calculan como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad S_X^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}, \quad S_Y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}, \quad S_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}.$$

La cantidad b se denomina coeficiente de regresión de Y sobre X, lo denotamos por $b_{Y/X}$. (Departamento de Estadística e Investigación Operativa, 2012)

Supuestos deben cumplirse para regresión OLS

La regresión OLS proporciona las estimaciones sin sesgo más precisas solo cuando se cumplen los siguientes supuestos:

El modelo de regresión es lineal en los coeficientes. Los mínimos cuadrados pueden modelar la curvatura al transformar las variables (en lugar de los coeficientes). Se debe especificar la forma funcional correcta para poder modelar cualquier curvatura.

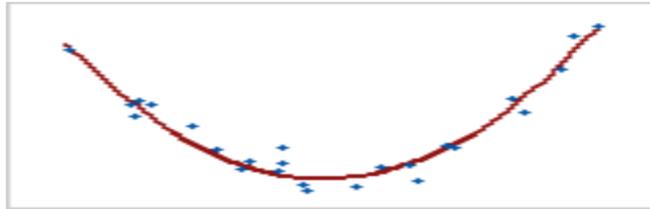


Figura 14: Modelo Cuadrático

Fuente: Sitio web: Minitab – Análisis de Regresión

En este caso, la variable predictora, X, se eleva al cuadrado para modelar la curvatura. $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$

- Los residuos tienen una media de cero. La inclusión de una constante en el modelo hará que la media sea igual a cero.
- Todos los predictores no están correlacionados con los residuos.
- Los residuos no están correlacionados entre sí (correlación en serie).
- Los residuos tienen una varianza constante.
- Ninguna variable predictora está correlaciona perfectamente ($r=1$) con una variable predictora diferente. También es mejor evitar las correlaciones imperfectamente altas (multicolinealidad).
- Los residuos están distribuidos normalmente.

Puesto que la regresión OLS proporcionará las mejores estimaciones solo cuando se cumplan todos estos supuestos, es muy importante evaluarlos. Los métodos comunes incluyen examinar gráficas de residuos, usar pruebas de falta de ajuste y ver la correlación entre los predictores usando el factor de inflación de la varianza (FIV). (Minitab Corporation, 2017)

1.7. Definición de términos básicos.

- **Aceleración máxima del suelo (PGA):** Está relacionada con la fuerza de un movimiento sísmico y se define como la amplitud máxima absoluta del registro de aceleraciones del suelo.
Fuente : Instituto Geofísico del Perú (IGP).
- **Correlación** La correlación estadística constituye una técnica estadística que nos indica si dos variables están relacionadas o no.
Fuente : Instituto Geofísico del Perú (IGP).
- **Escala de Mercalli Modificada**
Es una evaluación cualitativa de la clase de daños causados por un sismo.
Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP).
- **Sismicidad instrumental**
Son el conjunto de la actividad sísmica ocurrida en Perú durante el periodo 1960-actualidad ($M>5$) según el catálogo del NEIC (Centro Nacional de Informaciones Sobre Terremotos) .
- **Sismo**
Es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas.
Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP).

1.8. Formulación de la hipótesis.

1.8.1. Planteamiento de la hipótesis.

La presente tesis no presenta una formulación de hipótesis debido que el diseño de la investigación es del tipo no experimental descriptiva

1.8.2. Variables

Las investigaciones experimentales usualmente constan de una variable dependiente y una variable independiente; esta investigación al ser una investigación no experimental de tipo transversal correlacional, consta de dos variables dependientes con la cual se trabajará el desarrollo de la misma.

Diseño no experimental transversal correlacional

• Dos variables dependiente.

Intensidad de Mercalli Modificada (IMM)

Definición

Es una evaluación cualitativa de la clase de daños causados por un sismo.

Aceleración máxima del suelo (PGA)

Definición

La Aceleración Máxima del Suelo está relacionada con la fuerza de un movimiento sísmico y se define como la amplitud máxima absoluta del registro de aceleraciones del suelo.

Clasificación de variables:

| Clasificación | Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) | Aceleración máxima del suelo |
|----------------------------|---|------------------------------|
| Por su naturaleza | Cualitativa | Cuantitativa |
| Por su escala de medición | Ordinal | Nominal |
| Por su relación | Dependiente | Dependiente |
| Por el numero de variables | Unidimensional | Unidimensional |
| Por su forma de medición | Directa | Directa |

II. MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1. Material:

a) Materiales

Materiales de oficina

- Tinta para impresora
- Papel Bond A4 -80g
- Correctores
- Cds
- Usb 8Gb Hp
- Bolígrafos
- Lápiz
- Folder
- Sobre manila

Máquinas y equipos para oficina

- Laptop Hp. core i5
- Software Matlab, Excel, Word.

b) Humano.

Willy Johann Sosa Avalos

Elton Javier Galarreta Malaver.

Ingenieros encargados del área de Tecnología de la Información de la Red Acelerográfica del Perú.

c) Servicios.

Laboratorio del área de tecnología de la información de la Red Acelerográfica del Perú.

d) Otros

2.2. Material de estudio.

2.2.1. Población.

La población relacionada al presente estudio se considerará todos los sismos registrados instrumentalmente (1960 – actualidad) con anterioridad a este estudio, por parte de la Red Acelerográfica del Perú y el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

En la figura N°14 se presenta el Mapa Sísmico del Perú, en donde se puede apreciar la distribución espacial de los eventos ocurridos durante el periodo 1960-2017.

Esta información permite delimitar las zonas sismogénicas presentes en el Perú, siendo información básica para los diversos estudios que conlleve a la prevención sísmica.

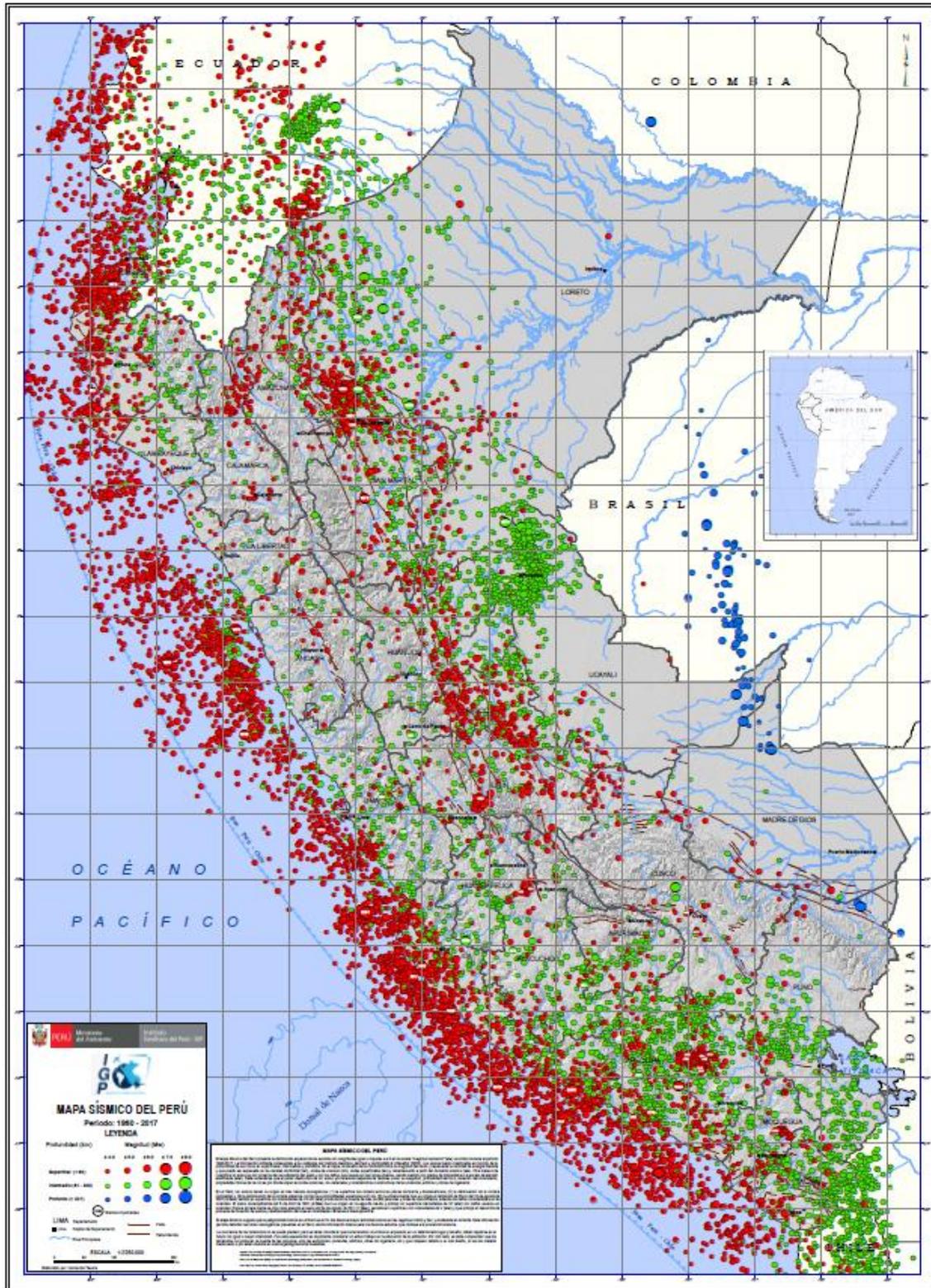


Figura 15: Mapa sísmico del Perú , Periodo 1960 – 2017

Fuente : LIMA , Sismología Mapa Sísmico , Publicacion de informe sísmico, Instituto Geofísico del Perú, 2017

2.2.2. Muestra.

Para encontrar un parámetro que relacione el registro de un sismo, en este caso para la investigación será el PGA, con la Intensidad de Mercalli que este provoca, se utilizará todos los sismos registrados en las cuales se hayan identificado para una cierta estación acelerográfica la Intensidad de Mercalli informada así como aceleración máxima del suelo, para así con una cantidad aceptables de datos poder encontrar correlaciones con la variable independiente.

La presente investigación tiene como característica de muestreo, un **muestreo no probabilístico**, donde los elementos son seleccionados a juicio del investigador.

Asimismo, el tipo de muestreo no probabilístico a seleccionar, será el **muestreo por conveniencia**, pues la elección de los parámetros instrumentales (Intensidad de Mercalli y aceleración máxima del suelo) se realizará de tal forma que sea factible realizar el análisis y correlación en ellos, ya que el ingreso individual de una de nuestras variables al análisis estadístico podría producirse un alto nivel de error de los datos calculados.

Las características del reporte de un evento sísmico imitado por la Red Acelerográfica tiene el siguiente formato :



Jorge Alva Hurtado
 Carmen Ortiz Salas
 Michael Chipana Inti



INFORME PRELIMINAR SISMO DE YAUCA-AREQUIPA DEL 30 DE ENERO DEL 2018

ML = 5.5 (IGP)

1. UBICACIÓN

El 30 de Enero del 2018, se registró un evento sísmico. La ubicación del sismo según el IGP (Instituto Geofísico del Perú) se presenta en la Tabla N° 1 y Figura N° 1.

Tabla N° 1 Ubicación y hora epicentral del sismo según el IGP

| Fuente | Coordenadas geográficas (°) | | Profundidad (Km) | Hora Epicentral UTC |
|--------|-----------------------------|----------------|------------------|---------------------|
| | Latitud Sur | Longitud Oeste | | |
| IGP | -16.1 | -74.81 | 48.00 | 14:23:48 |

Figura N° 1. Epicentro según IGP y ubicación de las estaciones acelerográficas



Figura 16: Informe Acelerográfico para el sismo de Yauca.Arequipa

Fuente: *Publicación, informe de la Red Acelerográfica Perú, 2018*



Referente al tamaño muestral dependera de que ocurrido un evento sismico se haya registrado por medio de las estaciones acelerograficas las dos variables de estudio (PGA y IMM). Teniendo en cuenta este criterio la cantidad muestral a tomar en cuenta para analisis de datos sera la totalidad de eventos sismicos que han sido registrado en la Red Acelerografica la cual es 111 eventos sismicos ya que es la unica entidad que puede proporcionar el parametro de la aceleracion maxima del suelo de un sismo especifico, a parte que es un subconjunto de elementos seleccionados convenientemente de la poblacion de tal manera que puede hacerse inferencias de ella. Cabe resaltar que algunos eventos sismicos reportados por la Red Acelerografica no registraran la IMM, por lo que es necesario recurrir a la Instituto Geofisico del Peru para que nos puedan proporcionar dicha informacion.

En las figuras 16 y 17 podemos ver los informes de los sismos reportados por el IGP y la Red Acelerografica, la cual vendria a ser el marco muestral.

Sismos Reportados

Mapa **Lista**

Puede seleccionar a continuación los sismos de los meses que quiere visualizar

| | |
|--------------|-------------------------------------|
| Enero (54) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Febrero (36) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Marzo (39) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Abril (51) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Mayo (46) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Junio (49) | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Julio (37) | <input checked="" type="checkbox"/> |

[Archivo con los sismos reportados de los meses seleccionados](#)

[Archivo con los sismos reportados de este año](#)

| Fecha Local | Hora Local | Latitud° | Longitud° | Profundidad | Magnitud | Referencia | Intensidad | Mapas temáticos |
|-------------|------------|----------|-----------|-------------|----------|---|----------------|-----------------|
| 21/07/2018 | 20:15 | -8.10 | -74.37 | 181 km | 4.2 | 34 km al Norte-NE de Pucallpa, Coronel Portillo-Ucayali | | |
| 18/07/2018 | 17:00 | -12.27 | -76.87 | 83 km | 4.2 | 42 km al Sur-SO de Chosica, Lima - Lima | III Lima | |
| 17/07/2018 | 23:49 | -8.64 | -77.71 | 12 km | 3.6 | 13 km al Sur-Oeste de Sihuas-Ancash | II Sihuas | |
| 17/07/2018 | 20:29 | -5.55 | -76.68 | 160 km | 4.7 | 62 km al Norte-NE de Moyobamba-San Martín | | |
| 17/07/2018 | 06:27 | -5.42 | -77.57 | 95 km | 4.3 | 57 km al Norte-NE de Jumbilla, Bongara - Amazonas | | |
| 16/07/2018 | 19:10 | -17.69 | -70.71 | 23 km | 4.0 | 11 km al Sur-SE de Locumba, Basadre - Tacna | II-III Locumba | |
| 16/07/2018 | 14:15 | -5.12 | -80.15 | 17 km | 3.5 | 3 km Sur-SE de Chulucanas, Morropon - Piura | II Chulucanas | |
| 16/07/2018 | 06:37 | -9.60 | -77.69 | 11 km | 4.0 | 19 km al Oeste-SO de Huaraz, Huaraz - Ancash | II Huaraz | |
| 13/07/2018 | 05:49 | -5.87 | -77.93 | 27 km | 4.0 | 19 km al Oeste de Jumbilla, Bongara - Amazonas | | |
| 13/07/2018 | 03:41 | -9.12 | -79.32 | 27 km | 4.0 | 80 km al Oeste de Chimbote, Santa - Ancash | | |

← 1 2 3 4 5 6 7 8 9 ... 32 →

Magnitud de sismos reportados: ML (≤6.5), Mw (>6.5)

Figura 17: Reporte sísmico realizado por el IGP
 Fuente: *Publicación, Reportes del IGP, PERU 2018*

| Fecha | Magnitud | Latitud | Longit... |
|----------|----------|---------|-----------|
| 2018-... | 4 | -12.21 | -76.7 |
| 2018-... | 3.6 | -8.64 | -77.72 |
| 2018-... | 4.5 | -5.4 | -76.62 |
| 2018-... | 4.3 | -5.43 | -77.64 |
| 2018-... | 3.8 | -17.69 | -70.71 |
| 2018-... | 3.9 | -9.6 | -77.68 |
| 2018-... | 4.1 | -5.86 | -77.96 |
| 2018-... | 4 | -9.13 | -79.28 |
| 2018-... | 3.7 | -12.81 | -76.93 |
| 2018-... | 3.6 | -16.87 | -71.48 |
| 2018-... | 3.5 | -13.54 | -71.72 |
| 2018-... | 4 | -13.81 | -75.86 |

Información

Sismo de 4 ML a 31 km al S de Chosica, Lima - Lima

Detalles: Ver
 Informe: Informe.pdf
 Fecha : 2018-07-18 17:00:54
 Latitud : -12.21
 Longitud : -76.7

Figura 18: Reporte sísmico realizado por la Red Acelerográfica
 Fuente: *Publicación Red Acelerográfica, PERU 2018*

2.3. Técnicas, procedimientos e instrumentos.

2.3.1. Para recolectar datos.

A. Técnica de recolección de datos:

La técnica de recolección de datos que se usará en el presente proyecto, será la de revisión documental, pues la fuente de información donde están los datos que se necesitan para la investigación será a través de 2 instituciones, en las que se recurrirá a los reportes que realizan cada cierto movimiento sísmico, y así poder recopilar toda esa información en software para su posterior análisis.

B. Instrumento de recolección de datos:

Se elaborará 2 formatos ficha resumen que resumirá la estructura que contiene:

Registros: Contiene la información obtenida del registro sísmico de la base de datos de la red de acelerógrafos, con las características del instrumento que registró el sismo, la Intensidad de Mercalli Modificada MMI en donde se obtuvo el registro (informe de sismo) y característica propia del sismo, además de información calculada relacionando el evento y la estación asociada al registro (distancia hipocentral, distancia epicentral).

➤ **Estaciones:** contiene información referida a las características propias de la estación de registro (Tabla 5), como es la ubicación de ésta, zona sísmica y tipo de suelo

Esta ficha instrumental se puede ver en la parte de anexos.

2.3.2. Para procesar datos.

En esta etapa de la metodología se detallará los métodos y las técnicas necesarias para realizar el proceso de investigación con cada uno de los datos obtenidos de los parámetros instrumentales y la IMM.

A. Métodos de análisis de datos.

En este proyecto de tesis para poder interpretar de la mejor manera los datos obtenidos, se hará uso de estadística descriptiva para poder realizar el análisis de datos y procesarlos y así en cierta manera tener una idea cual es el comportamiento o la tendencia de cambio de una variable con respecto a otra. Para ello la recopilación de datos se obtendrá de 2 entidades que se encargan de monitorear las características de suelo y intensidad para un determinado movimiento sísmico.

B. Técnicas de análisis de datos

Debido a que el proyecto de investigación según el diseño es no experimental del tipo



correlacional se usara la técnica de estadística descriptiva. Mediante la técnica de análisis cuantitativo se describirá y analizará los datos, las cuales nos servirá para interpretar la relación que existen entre los distintos parámetros instrumentales y la intensidad de Mercalli modificada, en la que entre todos los parámetros instrumentales nos enfocaremos principalmente en la aceleración máxima del suelo.

Tipos de gráficos que se usara en esta investigación (Técnica de análisis de datos):

Tablas estadísticas:

Los registros deben ser asociados a un valor de la Intensidad de Mercalli Modificada, para esto se contará con un archivo Excel con la lista de los registros y la estación a la cual pertenecen, así como todos los eventos sensibles, es decir, aquellas que tienen intensidad registrada. Por lo tanto, con la fecha y hora del registro, se asocia la IMM de la ciudad correspondiente a la ubicación de la estación. Esta tabla estadística que contendrá la lista de registros y la estación tendrá el siguiente formato:

| 1 | Fecha | Hora | Mec.Focal | Tc [seg] (periodo corte) | Lugar Estacion | Lat EST | Lon EST | Prof. [km] | d hip [km] |
|----|------------|----------|-----------|--------------------------|----------------------------------|---------|---------|------------|------------|
| 75 | 2009-04-16 | 17:43:31 | IPI | 10 | Arica | -18,48 | -70,31 | 70,2 | 130,58 |
| 76 | 2009-04-16 | 17:43:31 | IPI | 10 | Iquique- Escuela Chipana | -20,25 | -70,13 | 70,2 | 118,03 |
| 77 | 2009-04-16 | 17:43:31 | IPI | 10 | Iquique- Hospital | -20,21 | -70,14 | 70,2 | 114,77 |
| 78 | 2009-04-16 | 17:43:31 | IPI | 10 | Pisagua- Retén de Carabineros | -19,60 | -70,21 | 70,2 | 78,47 |
| 79 | 2009-04-16 | 17:43:31 | IPI | 10 | Poconchile- Retén de Carabineros | -18,45 | -70,07 | 70,2 | 128,18 |
| 80 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 8 | ● Alto Hospicio | -20,27 | -70,10 | 37,2 | 97,14 |
| 81 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 10 | ● Arica | -18,49 | -70,31 | 37,2 | 141,06 |
| 82 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 10 | ● Arica | -18,48 | -70,31 | 37,2 | 141,79 |
| 83 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 10 | ● Arica- Chacalluta | -18,31 | -70,31 | 37,2 | 159,22 |
| 84 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 8 | Baquedano | -20,13 | -69,75 | 37,2 | 115,74 |
| 85 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 10 | Iquique- Escuela Chipana | -20,25 | -70,13 | 37,2 | 94,54 |
| 86 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 10 | Iquique- Hospital | -20,21 | -70,14 | 37,2 | 90,92 |
| 87 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 10 | ● Pica- Consultorio Municipal | -20,49 | -69,33 | 37,2 | 171,92 |
| 88 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 10 | Pisagua- Retén de Carabineros | -19,60 | -70,21 | 37,2 | 62,04 |
| 89 | 2009-04-17 | 02:08:08 | ITT | 10 | Poconchile- Retén de Carabineros | -18,45 | -70,07 | 37,2 | 153,79 |
| 90 | 2009-04-26 | 08:03:36 | IPI | 10 | Santiago- Estación mirador | -33,51 | -70,61 | 138,4 | 179,81 |

Figura 15: Excel con lista de los 1122 registros

| 1 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|-----|------------|------------|----------|-------------|-------------|--------------|------------------|------------|-------------|--------------|
| 1 | Fecha | Hora (UTC) | Magnitud | Profundidad | Latitud [°] | Longitud [°] | Ciudades | Intensidad | Latitud [°] | Longitud [°] |
| 218 | 2009-04-17 | 1:11:35 | 4.0 | 58.5 | -29.863 | -71.390 | Coquimbo | IV | 29°57' | 71°20' |
| 219 | 2009-04-17 | 2:08:08 | 6.0 | 37.2 | -19.666 | -70.600 | Alto Hospicio | V | 20°15' | 70°07' |
| 220 | | | | | | | Cuya | V | 19°07' | 70°08' |
| 221 | | | | | | | Huara | V | 19°59' | 69°47' |
| 222 | | | | | | | Pisagua | V | 19°36' | 70°13' |
| 223 | | | | | | | ● Arica | IV | 18°28' | 70°18' |
| 224 | | | | | | | Camiña | IV | 19°18' | 69°26' |
| 225 | | | | | | | ● Pica | IV | 20°04' | 69°14' |
| 226 | | | | | | | ● Pozo Almonte | IV | 20°16' | 69°48' |
| 227 | | | | | | | Putre | IV | 18°12' | 69°35' |
| 228 | 2009-04-17 | 3:34:19 | 4.9 | 101.5 | -29.040 | -70.581 | Chañaral | III | 29°02' | 71°26' |
| 229 | | | | | | | Copiapó | III | 27°22' | 70°20' |
| 230 | | | | | | | Coquimbo | III | 29°57' | 71°20' |
| 231 | | | | | | | Tierra Amarilla | III | 27°29' | 70°17' |
| 232 | | | | | | | Vallenar | III | 28°34' | 70°45' |
| 233 | | | | | | | Diego de Almagro | II | 26°22' | 70°03' |
| 234 | | | | | | | La Serena | II | 29°54' | 71°15' |

Figura 19: Tabla estadística en la que se ingresara los datos acelerograficos y de intensidad
 Fuente : Renadic y ONEMI

Diagrama de Dispersión

Una vez que los parámetros son calculados se realizan algunos gráficos para observar la relación que existe entre cada uno de ellos y la Intensidad de Mercalli Modificada (Anexo B), la relación entre cada parámetro y los demás.

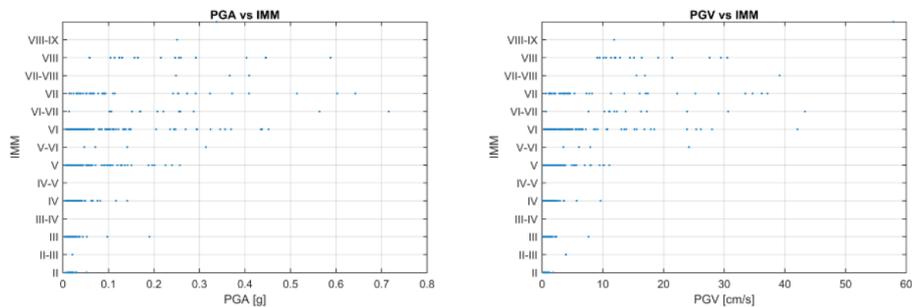


Figura 20: Comparación relación entre PGA-IMM con y sin uso de logaritmo en base 10

Histograma

Con este tipo de gráficos se podrá apreciar el número de datos que se tiene para los distintos valores de las intensidades respecto a un parámetro instrumental a relacionar, y así poder ver cuales eventos sísmicos se podrá añadir al estudio y así haiga una uniformidad de la cantidad de datos para las distintas escalas de Mercalli. Así también podremos visualizar mejor la cantidad de eventos sísmicos en un año determinado

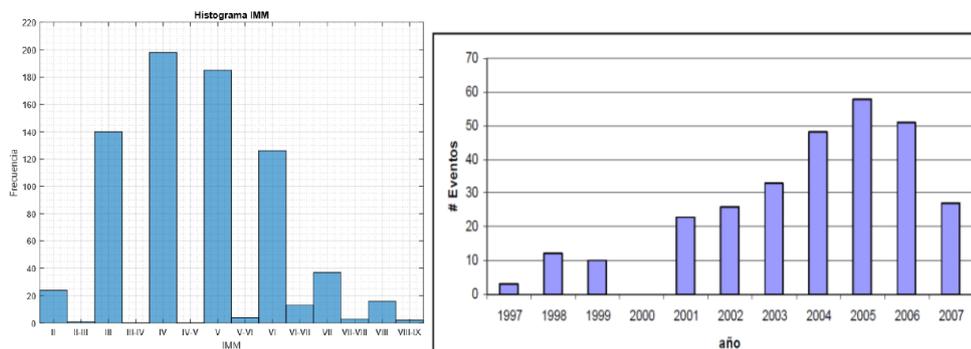


Figura 21: Modelo de histograma para la IMM y cantidad de eventos sísmicos

Correlacion de Pearson-Regresion Lineal

El mayor de las dos componentes horizontales de aceleración máxima y el promedio de estas 2 componentes fueron calculados para determinar su relación con con la intensidad Mercalli Modificado usando elmetodo de minimos cuadrados.

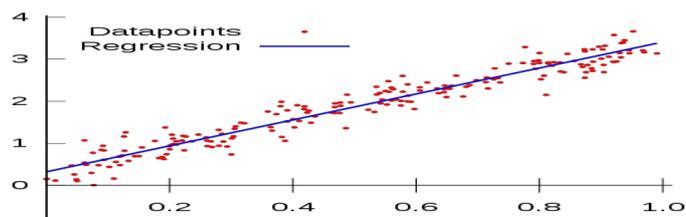
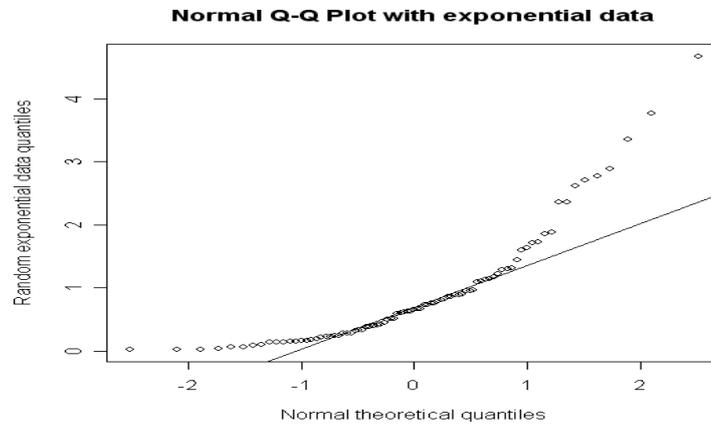


Figura 24: Modelo de histograma para la IMM y cantidad de eventos sísmicos
Fuente: Blog: Metodología de la Investigación

Grafica Q-Q plot

En estadística, un gráfico Q-Q ("Q" viene de cuantil) es un método gráfico para el

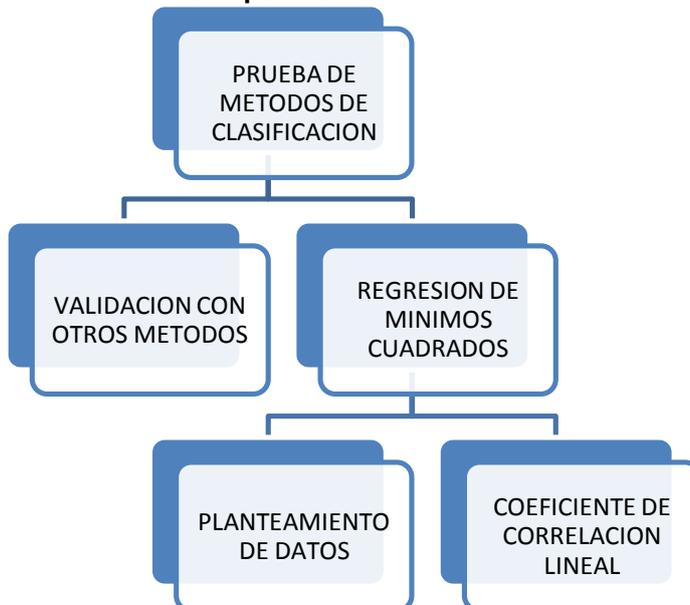


diagnóstico de diferencias entre la distribución de probabilidad de una población de la que se ha extraído una muestra aleatoria y una distribución usada para la comparación. Una forma básica de gráfico surge cuando la distribución para la comparación es una distribución teórica.

Figura 25: Grafica de normalidad de datos (Q-Q).

Fuente: Wikipedia

Procedimiento Experimental



REGRESION DE MINIMOS CUADRADOS

Su expresión general se basa en la ecuación de una recta $y = mx + b$. Donde m es la pendiente y b el punto de corte, y vienen expresadas de la siguiente manera

$$m = \frac{n \cdot \Sigma(x \cdot y) - \Sigma x \cdot \Sigma y}{n \cdot \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2}$$

$$b = \frac{\Sigma y \cdot \Sigma x^2 - \Sigma x \cdot \Sigma(x \cdot y)}{n \cdot \Sigma x^2 - |\Sigma x|^2}$$

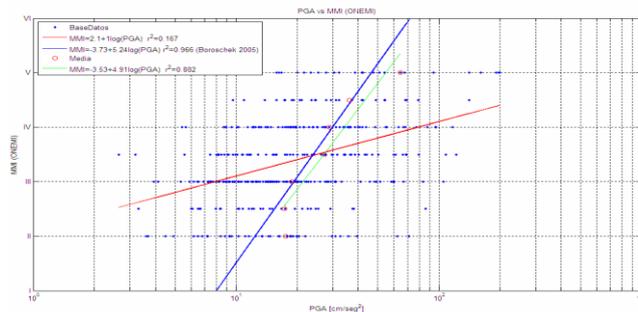


Figura 59. Regresión con Valor máximo de Aceleración PGA (Todos los Registros)

2.4. Operacionalización de variables.

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEM |
|--|---|--|---|--|---|
| Intensidad de Mercalli Modificada | Es una evaluación cualitativa de la clase de daños causados por un sismo. | Se determina a partir de una escala de 12 grados, en la que a partir de la descripción informada por las personas se determinara la IMM en dicho lugar | Lo que se necesita saber de esta variable es saber cómo se relaciona este parámetro con la aceleración máxima del suelo a partir de un estudio estadístico. | - Redes Neuronales Artificiales - Regresión Lineal Simple | Sistema de normas y estándares estadísticos |
| Aceleración máxima del suelo | Se define como la amplitud máxima absoluta del registro de aceleraciones del suelo. | A partir de la obtención del acelerograma que se registra en una estación acelerográfica, se procede a identificar los picos máximos de aceleración. | Lo que se necesita saber de esta variable es saber cómo se relaciona esta variable con la intensidad de Mercalli Modificada a partir de un estudio estadístico. | - Redes Neuronales Artificiales - Regresión Lineal Simple | Sistema de normas y estándares estadísticos |

RESULTADOS

En el territorio peruano peruano, MMI y PGA pueden relacionarse por las ecuaciones (Fig. 5,6):

$$\text{IMM} = 2.35 \log(\text{PGAmax}) + 0.86$$

$$S = 0.352, R^2 = 0.881 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{IMM} = 2.36 \log(\text{PGAmax}) + 1.09$$

Donde S es el error estándar de la estimación de la línea de regresión, y R^2 es el coeficiente de determinación.

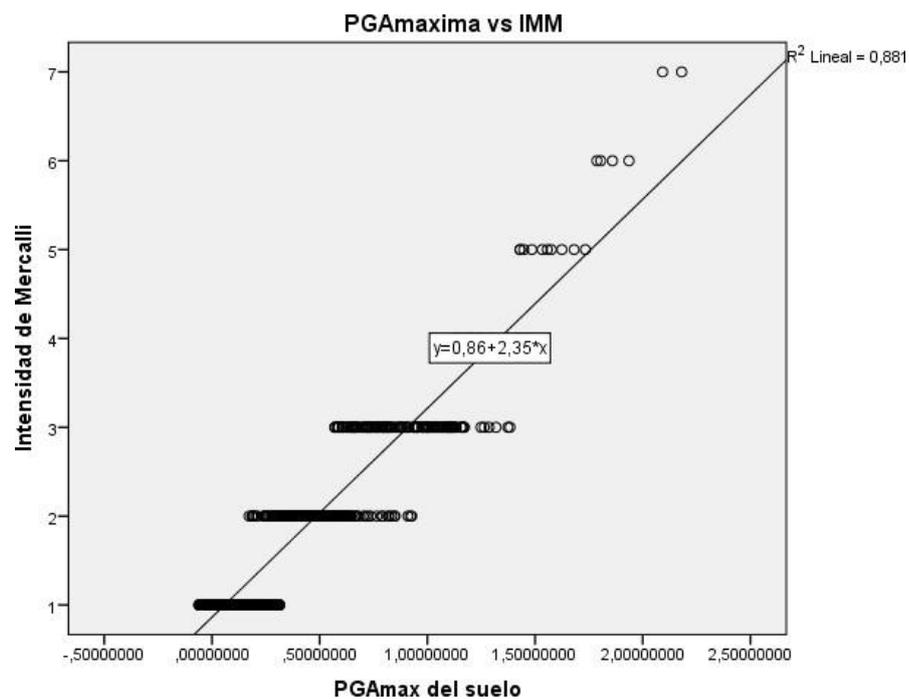


Figura 33: Correlación PGAmaxima vs MMI para la región de Peru. Los círculos indican los datos y las líneas negras la regresión para la media para una unidad de intensidad dada.

Fuente: propia (SPSS)

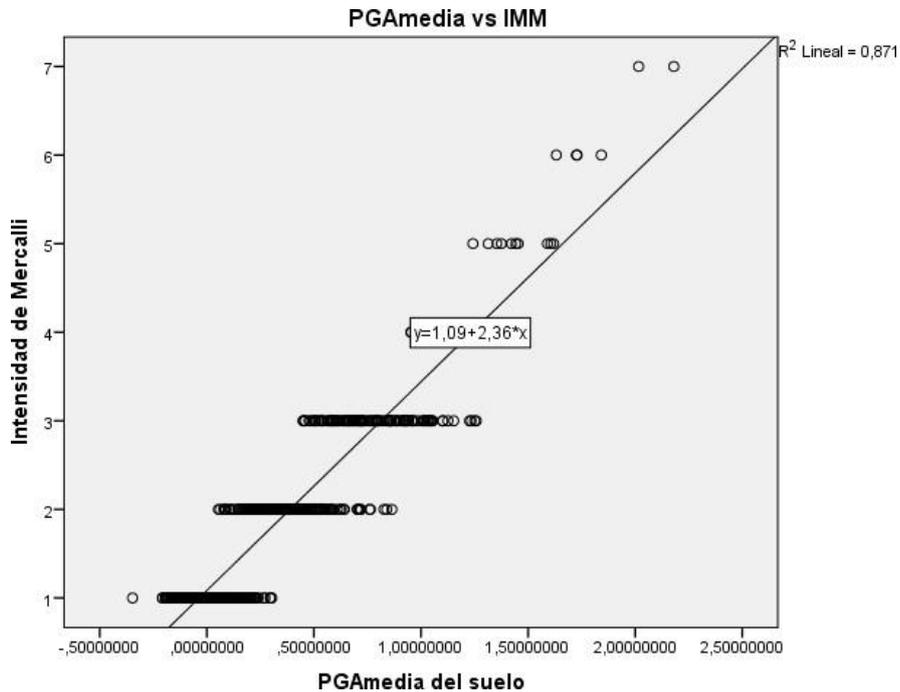


Figura 34: Correlación PGAmedia vs MMI para la región de Peru. Los círculos indican los datos y las líneas negras la regresión para la media para una unidad de intensidad dada.

Fuente: propia (SPSS)

Se calcularon dos correlaciones separadas PGA vs. MMI: una para el rango de MMI bien documentado de II a IV y otra para el rango de MMI de IV a VII. La curva MMI IV a VII se asignó para intersectar la relación MMI II a V en MMI V. Las correlaciones obtenidas vienen dadas por las ecuaciones (Fig. 7,8):

$$\text{IMM} = 2.19 \log(\text{PGAmax}) + 0.91$$

$$\dots(3) \text{ I} > \text{IMM} > \text{IV}$$

$$\text{IMM} = 2.97 \log(\text{PGAmax}) + 0.37$$

$$\dots(4)$$

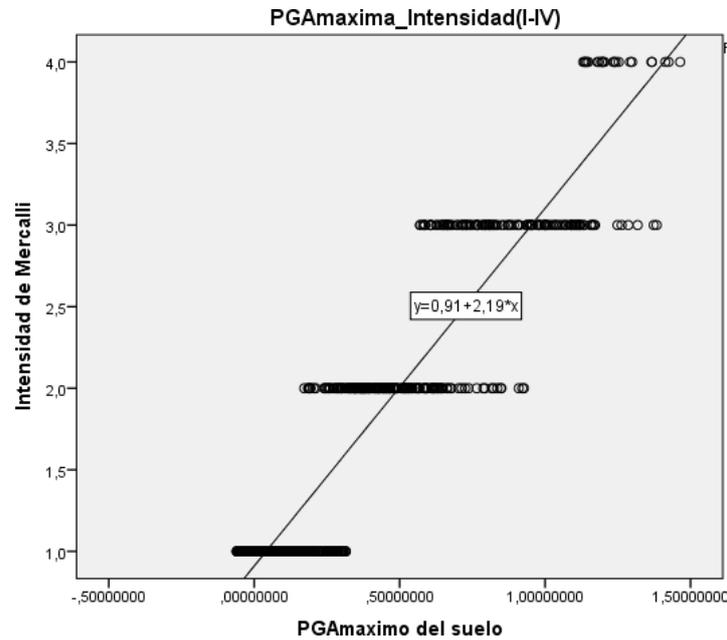


Figura 35: MMI vs. PGA máx. Y línea de regresión para la media geométrica de intensidades inferiores (I > MMI > IV).

Fuente: propia (SPSS)

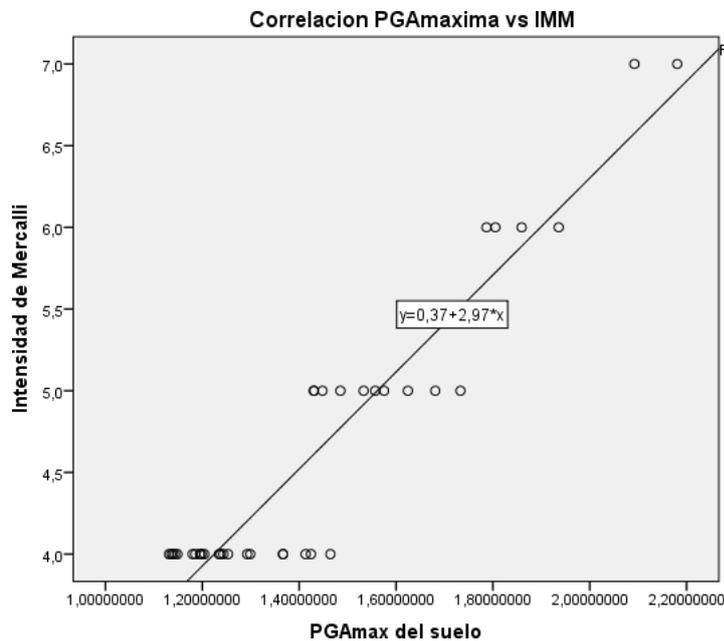


Figura 36: MMI vs. PGA máx. Y línea de regresión para la media geométrica de intensidades más altas (IV > MMI > VII).

Fuente: propia (SPSS)

Para comparar con las correlaciones anteriores determinadas por otros autores, también se calculó una línea de regresión que utiliza la media aritmética PGAave para una unidad de intensidad dada. Las correlaciones obtenidas están dadas por las ecuaciones (Fig. 7,8):

$$\begin{aligned}
 & \text{IMM} = 2.19 \log(\text{PGA}_{\text{media}}) + 1.12 \\
 & \dots(5) \text{ I} > \text{IMM} > \text{IV} \\
 & \text{IMM} = 2.73 \log(\text{PGA}_{\text{media}}) + 1.01 \\
 & \dots(6)
 \end{aligned}$$

Figura 37: MMI vs. PGA media Y línea de regresión para la media aritmetica de intensidades inferiores (I > MMI > IV).
Fuente: propia (SPSS)

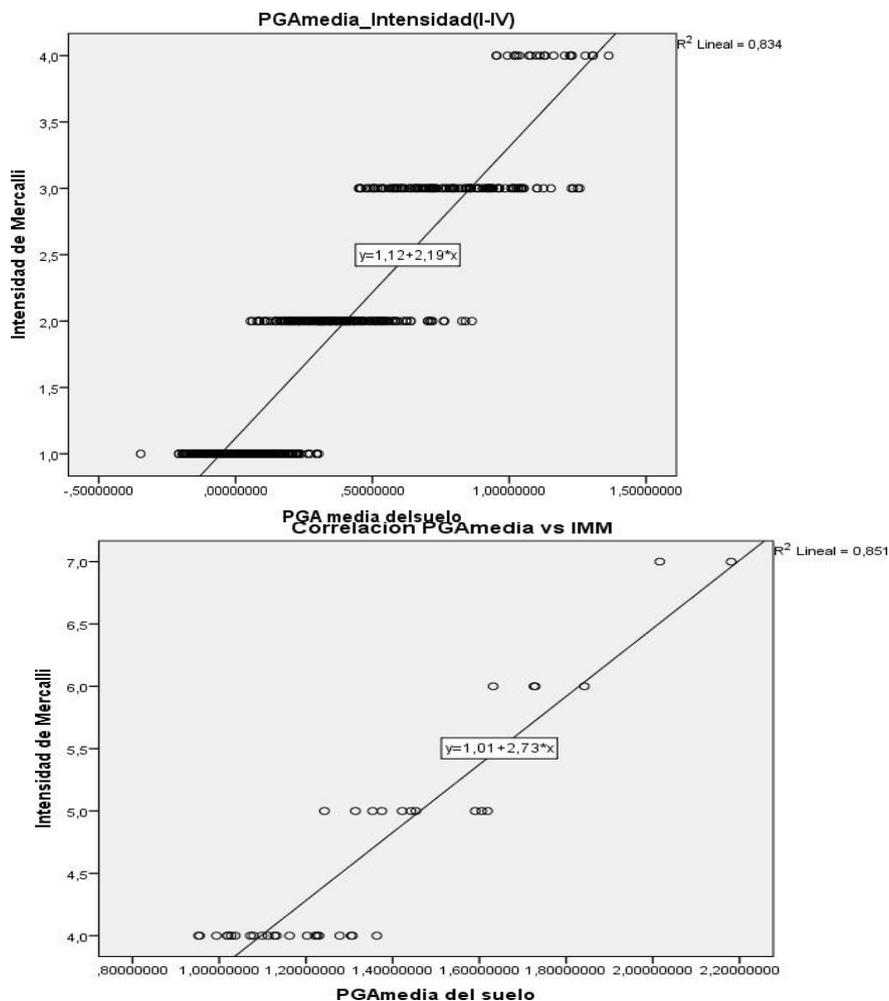


Figura 38: MMI vs. PGA media Y línea de regresión para la media geométrica de intensidades más altas (IV > MMI > VII).
Fuente: propia (SPSS)

Los intervalos PGA pronosticados para cada valor MMI se proponen en base a las ecuaciones 3 a 6 (Tabla 3).

Dado que las MMI están representadas solo por valores enteros, los límites del intervalo PGA se calcularon siguiendo una convención de redondeo que, por ejemplo, los valores entre 5.50 y 6.49 redondean a la intensidad VI. Es probable que los intervalos PGA para una unidad de intensidad dada cambien si se incluyen datos adicionales, particularmente si se consideran las intensidades más altas (MMI > VI).

Tabla N°9: Rangos propuestos de PGA para cada MMI en Peru

| Intensidad (IMM) | Intervalo PGAmáx (cm/s²) | Intervalo PGAmáx (cm/s²) | Intervalo PGAmáx (cm/s²) | Intervalo PGAmáx (cm/s²) |
|-------------------------|--|--|--|--|
| I | < 1.86 | < 0.19 | < 1.49 | < 0.15 |
| II | 1.86 - 5.27 | 0.19 - 0.54 | 1.49 - 4.22 | 0.15 - 0.43 |
| III | 5.27 - 11.32 | 0.54 - 1.15 | 4.22 - 12.08 | 0.43 - 1.23 |
| IV | 11.32 - 24.39 | 1.15 - 2.49 | 12.08 - 18.82 | 1.23 - 1.92 |
| V | 24.39 - 52.95 | 2.49 - 5.40 | 18.82 - 43.75 | 1.92 - 4.46 |
| VI | 52.95 - 114.98 | 5.40 - 11.72 | 43.75 - 101.70 | 4.46 - 10.37 |
| VII | 114.98 - 249.64 | 11.72 - 25.45 | 101.70 - 236.39 | 10.37 - 24.10 |

Fuente : propia

III. DISCUSIÓN.

Si existe una correlación entre las variables independientes (Intensidad de Mercalli Modificada y la aceleración máxima del suelo) para la sismicidad instrumental ocurridos en el Peru, ya que según la prueba de hipótesis se rechazó la hipótesis nula con un nivel de significancia menor a 0.05 (0.001) (tabla N° 7) por lo que se confirma la hipótesis. Además se puede decir que la regresión lineal producto de la correlación entre estas dos variables es válido y confiable ya que R^2 que es el coeficiente de determinación que expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que esta explicada por la variable independiente según el análisis que se hizo en el programa SPSS toma un valor alto (su máximo es 1) del 0.881, lo que significa que el 88.1% de la variación de la Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) esta explicada por el valor que tenga la aceleración máxima absoluta del suelo (PGAmáx). Asimismo el valor de R (coeficiente de correlación de Pearson) según el programa SPSS resulto un valor de 0.939, lo que nos expresa que existe un alto grado de correlación entre las variables estudiadas.

Tabla N°10: Parametros estadísticos de la regresión lineal

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Estadísticas de cambios | | | | |
|--------|-------------------|------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------|-----|-----|------------------|
| | | | | | Cambio de cuadrado de R | Cambio en F | df1 | df2 | Sig. Cambio en F |
| 1 | ,939 ^a | ,881 | ,881 | ,352 | ,881 | 5063,928 | 1 | 681 | ,000 |

Fuente : Propia (SPSS)

Hay una clara tendencia de que la PGA aumente a medida que aumenta la MMI (Fig. 4, 5). Sin embargo, hay una dispersión de PGA significativa para una unidad de intensidad dada, de modo que un valor de PGA dado podría estar asociado con varios niveles de intensidad. La dispersión de PGA para un nivel de MMI particular también se ha observado en correlaciones anteriores. La gran dispersión de PGA para cada MMI puede originarse a partir de la definición de los dos parámetros de vibración del terreno. La PGA simplifica la complejidad de la vibración del terreno sin tener en cuenta factores como la duración, el contenido espectral y la resonancia que pueden afectar considerablemente la estimación de MMI. MMI considera una descripción subjetiva de la respuesta humana a los temblores del suelo y una descripción de los daños en edificios. Por lo tanto, numerosos factores pueden afectar la estimación de MMI en un sitio en particular, como la densidad de población, las prácticas de construcción, el tipo de construcción y el entorno social, económico y cultural. Otro aspecto que contribuye a la dispersión es que PGA solo se refiere a un valor máximo en un solo punto, a diferencia de MMI, que se refiere a un nivel máximo o promedio de daños y efectos de terremotos en un área.

Si bien 683 puntos representan una cantidad razonable de datos para la correlacion de PGA y MMI procesados uniformemente que se haya recopilado para Peru, el número de PGA que se pueden usar para correlacionar con MMI aún no es suficiente para cubrir los niveles de intensidad de V y superiores.

Además, no hay datos PGA disponibles para MMI por encima de VII. Por esta razón, se calcularon dos correlaciones separadas PGA vs. MMI: una para el rango de MMI bien documentado de I a IV y otra para el rango de MMI de IV a VII.

$$\text{IMM} = 2.19 \log(\text{PGA}_{\text{max}}) + 0.91 \text{ para I} > \text{IMM} > \text{IV}$$

$$\text{IMM} = 2.97 \log(\text{PGA}_{\text{max}}) + 0.37 \text{ para IV} > \text{IMM} > \text{VII}$$

Para comparar con las correlaciones anteriores, también se calculó una línea de regresión que utiliza la media aritmética de las 2 componentes $\text{PGA}_{\text{media}}$ para una unidad de intensidad dada. Las correlaciones obtenidas están dadas por las ecuaciones (3) y (4) que se muestran gráficamente en las figuras 35 y 36:

$$\text{IMM} = 2.19 \log(\text{PGA}_{\text{media}}) + 1.12 \text{ para I} > \text{IMM} > \text{IV}$$

$$\text{IMM} = 2.73 \log(\text{PGA}_{\text{media}}) + 1.01 \text{ para IV} > \text{IMM} > \text{VII}$$

Los intervalos PGA pronosticados para cada valor MMI se proponen en base a las ecuaciones 3 a 6 (Tabla N°9).

Dado que las MMI están representadas solo por valores enteros, los límites del intervalo PGA se calcularon siguiendo una convención de redondeo que, por ejemplo, los valores entre 5.50 y 6.49 redondean a la intensidad VI. Es probable que los intervalos PGA para una unidad de intensidad dada cambien si se incluyen datos adicionales, particularmente si se consideran las intensidades más altas (MMI > VI).

Comparación con otras correlaciones

La correlación PGAm_{ax} vs. MMI obtenida en este estudio es muy similar a la correlación obtenida por Wald et al. (1999a) para California usando ocho terremotos significativos que ocurrieron entre 1971 y 1992 (Fig. 7)

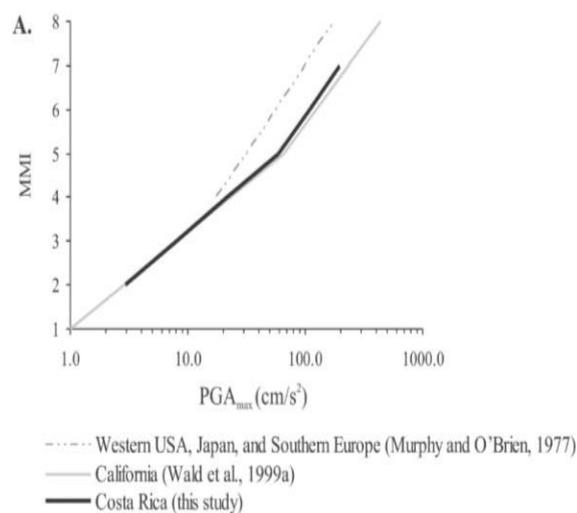


Figura N°39. Comparación de las correlaciones de PGAm_{ax} y MMI. Obtenidos en estudios como la de Wald et al. (1999a) Y de Murphy y O'Brien(1977).

La correlación PGA_{media} vs. MMI obtenida en este estudio difiere considerablemente con respecto a las correlaciones anteriores (Fig. 8). En este caso, la relación para Perú indica niveles de intensidad más bajos asociados con el mismo PGA para todas las correlaciones, excepto para $MMI < IV$ en la correlación presentada por Sauter y Shah (1978). Hay una serie de factores que pueden influir en las diferencias entre las correlaciones, como el número de observaciones utilizadas y la distribución de los valores de MMI dentro de cada conjunto de datos. Aún no se dispone de datos suficientes para determinar si las diferencias entre las correlaciones son debidas a variaciones en la configuración tectónica en la que tienen lugar los terremotos o a un sesgo de medición asociado con factores que alteran la asignación de intensidades en cada región particular, especialmente aquellos que afectan la relación de sacudida-daño (es decir, prácticas de construcción).

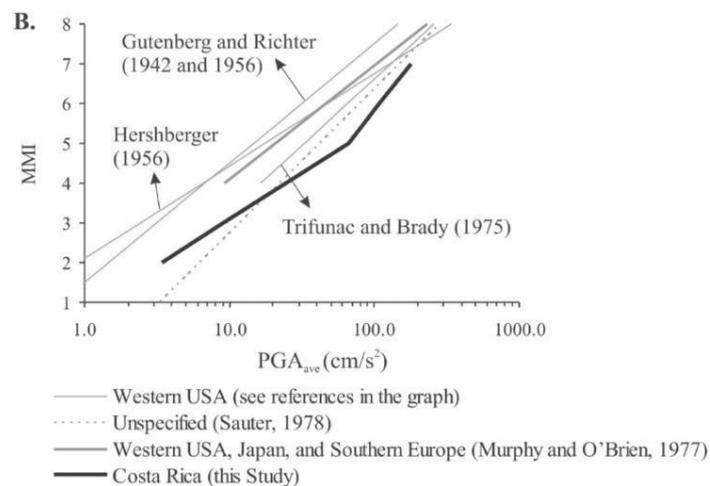


Figura N°40: Comparación de las correlaciones de PGA_{media} y MMI para las cuales se calcularon las líneas de regresión sobre la media aritmética de PGA_{media} para cada unidad de intensidad.

Limitaciones de la correlación de PGA vs. IMM

Una limitación fundamental de la correlación es la amplia dispersión de PGA para cada nivel de MMI. Esta gran dispersión de PGA ha resultado en críticas sobre este tema. La naturaleza de los dos parámetros de sacudida del suelo que están correlacionados puede explicar la amplia dispersión. PGA solo se refiere a un valor máximo en un solo punto y MMI se refiere a un nivel máximo o promedio de efectos de terremotos en un área.

La correlación PGA vs. MMI calculada aquí está sesgada en el período de observación de 2016 a 2018. Por motivos de restricción a páginas que no permiten el acceso al banco de datos de sismos son pocos los datos para correlacionar los niveles de intensidad de VI y VII con PGA y no hay datos disponibles para que $MMI \geq VIII$ realice correlaciones. Datos adicionales pueden

cambiar la correlación según lo observado en California por Wald et al. (1999a) quienes, utilizando terremotos de 1971 a 1992, encontraron una correlación diferente según la relación presentada por Trifunac y Bradly (1975), quienes usaron terremotos antes de 1971. Además, el conjunto de datos está sesgado a los terremotos locales (profundidad <50 km , distancia hipocentral <130 km) registrada en estaciones ubicadas en sitios de grava arenosa y suelo arenoso (Fig. 3). Además con esta cantidad de datos no es suficientes determinar si la correlación entre PGA y MMI es diferente para rangos particulares de profundidad focal, distancia hipocentral o tipo de suelo. Por lo tanto, las relaciones encontradas en este estudio pueden mejorarse con la adición de más observaciones a medida que estén disponibles.

IV. CONCLUSIONES

- Se desarrolló la primera relación entre MMI y el componente horizontal de PGA para Perú mediante el análisis de regresión de 683 observaciones MMI - PGA de 360 terremotos ($3.1 < M_w < 6.8$) que tuvieron lugar entre 2016 y 2018.
- El conjunto de datos está compuesto principalmente por datos locales terremotos (profundidad < 50 km, distancia hipocentral < 130 km) registrados en estaciones ubicadas en sitios de grava arenosa, grava saturada y suelo arenoso
- Hay una clara tendencia de que la PGA aumente a medida que aumenta la MMI, sin embargo, hay una dispersión de PGA significativa para una unidad de intensidad dada.
- Las líneas de mejor ajuste que muestran esta tendencia se calcularon entre MMI y la mayor de las dos componentes horizontales (PGA_{max}) y la media de las dos componentes horizontales (PGA_{media}). Las relaciones obtenidas son:
MMI =
 $2.19 \log(\text{PGA}_{\text{max}}) + 0.91$ y $\text{MMI} = 2.19 \log(\text{PGA}_{\text{media}}) + 1.12$ para $\text{II} > \text{MMI} > \text{IV}$
y $\text{MMI} = 2.97 \log(\text{PGA}_{\text{max}}) + 0.37$ y $\text{MMI} = 2.73 \log(\text{PGA}_{\text{media}}) + 1.01$ para $\text{IV} > \text{MMI} > \text{VII}$.
- Los intervalos PGA pronosticados para cada valor MMI se propusieron en base a estas ecuaciones (Tabla 9). Los resultados están sujetos a revisión para acomodar observaciones adicionales a medida que más datos estén disponibles.
- Existe un acuerdo bastante notable entre la correlación PGA_{max} vs. MMI obtenida en este estudio y la correlación calculada por Wald et al. (1999a) para California. La correlación entre PGA_{media} y IMM indica niveles de intensidad más bajos asociados con el mismo PGA con respecto a las correlaciones anteriores. Aún no se dispone de datos suficientes para explicar estas diferencias.
- Se espera que las relaciones empíricas encontradas en este estudio motiven el desarrollo en Perú de mapas de intensidad de sacudidas como los creados en los Estados Unidos a los pocos minutos de la ocurrencia de terremotos.

V. RECOMENDACIONES.

- Se espera que las relaciones empíricas encontradas en este estudio motiven el desarrollo en Perú de mapas de intensidad de sacudidas como los creados en los Estados Unidos a los pocos minutos de la ocurrencia de terremotos.
- A partir de la relación que se encontró en esta tesis entre la Aceleración máxima del suelo (PGA) y la Intensidad de Mercalli (IMM) se podrán desarrollar mapas de intensidad sísmica, lo que darán una rápida representación de los sitios potencialmente dañados para así esta información pueda ser usada para respuestas de emergencia por parte del INDECI, así como la difusión de la información al público a través de los medios.
- Las relaciones encontradas en este estudio pueden mejorarse con la adición de más observaciones a medida que estén disponibles, y como se dijo en la sección de discusiones el trabajar solo con el parámetro PGA, entonces estamos simplificando ciertas factores de consideraciones como la duración del sismo, el contenido espectral y la resonancia que podrían afectar considerablemente la estimación del IMM, por lo que en un próximo estudio que se quiera seguir esta misma línea de investigación sería ideal que a parte que aumenten la cantidad de datos también consideren otros parámetros instrumentales para que así la relación entre el PGA y la IMM sea más precisa.
- Para estudios posteriores en los que se aumente la cantidad de parámetros instrumentales a correlacionar con la IMM es recomendable que se emplee un análisis más potente como los métodos estadísticos que son clasificados dentro de lo que se conoce como Aprendizaje Automático.
- Poder determinar si existe alguna relación entre los valores de PGA y PGV dependiendo del valor de la Intensidad de Mercalli Modificada. Es decir, encontrar si por ejemplo, para las escalas menores existe mayor relación con uno de estos dos parámetros, y para las escalas mayores con el otro, como se ha establecido en otros trabajos

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar Falconi, R., Garcia, E., & Villamarin, J. (Mayo de 2010).

**LEYES DE ATENUACIÓN PARA SISMOS CORTICALES Y.
CIENCIA, 13, 1-18.**

**Alvarez, L., Villalon, M., & Lindholm, C. (2015). Peligrosidad y riesgo
sísmicos en Cuba y las regiones. Santiago de Cuba.**

**Atkinson, G., & Kaka, S. (Abril de 2007). Relationships between Felt Intensity
and Instrumental Ground Motion in the Central United States and
California. Bulletin of the Seismological Society of America, 97(2), 497-
510. doi:10.1785/0120060154**

**Castillo Aedo , J., & Alva Hurtado, J. (6 de Diciembre de 1993). Peligro
sísmico en el Peru. Ponencia presentada en el VII Congreso Nacional
de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, Lima.**

**Departamento de Estadística e Investigación Operativa. (2012). Regresión lineal
Simple.**

Obtenido de Regresión lineal Simple:

<http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS>

[-PHP-](#)

**DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_%20simple_2011_
12.pdf**

Diaz Hernandez, D., & Alfaro Castillo, A. (Enero-Marzo de 2014). Mapas de isoaceleracion para Colombia utilizando la nueva generacion de ecuaciones de atenuacion (NGA-2008). Revista de la Escuela Colombiana de Ingenieria, 52-54.

Elnashai, A., & Di Sarno, L. (2008). FUNDAMENTALS OF EARTQUAKE ENGINEERING. Hong Kong: ISBN. eqwedqw. (2006). wwqw.

***I. Nuñez, R. Boroschek, D. Comte, & V. Contreras. (18-20 de Marzo de 2015). Nuevo peligro sismico para Chile. Congreso Chileno de Sismologia e Ingenieria Sismica ACHISINA, 9-11. Obtenido de Nuevo peligro sismico para Chile:
https://boroschek.files.wordpress.com/2015/04/2015_achisininunenezboroscheketalpeligrosismico_189.pdf***

Larrañaga, P., Inza, I., & Moujahid, A. (2017). *Redes Neuronales*. 1-8.

Linkimer, L. (2008). *RELATIONSHIP BETWEEN PEAK GROUND ACCELERATION AND MODIFIED MERCALLI INTENSITY IN COSTA RICA*. *Revista Geológica de América Central*, 38, 81-94. doi:10.15517/rgac.v0i38.4218

Minitab Corporation. (2017). *Tipos de analisis de regresion*. Obtenido de *Tipos de analisis de regresion*: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/basics/types-of-regression-analyses/>

Muñoz Pelaez, J. A. (5 de 2017). *La Ingenieria Sismorresistente*. Lima, Lima, Peru.

Norma Chilena Oficial (NCh3.Of61). (1989). *Escala de Intensidades de los fenomenos sismicos*. Santiago de Chile: Chile.

Ochoa, S. (2003). *Estructura de la Neurona Artificial*. Medellin, Antioquia, Colombia.

Oviedo Vega, P. A. (31 de Marzo de 2017). *CLASIFICACIÓN MEDIANTE PARÁMETROS INSTRUMENTALES DE LA INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA (tesis de pregrado)*. UNIVERSIDAD DE CHILE, INGENIERÍA CIVIL, Santiago de Chile.

Parada, E. (Febrero de 2016). *Redes Neuronales*. Obtenido de *Redes Neuronales*: <https://www.slideshare.net/eduardop18/redes-neuronales-57811551>

Poblete Rojas, J. (23 de Mayo de 2008). DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA PARA CHILE (tesis de pregrado). UNIVERSIDAD DE CHILE, INGENIERIA CIVIL, Santiago de Chile.

Red Acelerografica del Peru. (18 de Julio de 2018). Metodologia- Procesamiento de informacion del registro sismico. Lima, Lima, Peru.

Salcedo Hurtado, E., & Coral Gomez, C. (1995). Atenuacion de intensidades sismicas en el territorio colombiano. Revista de la Universidad Nacional de Colombia, 37-42.

Sancho Caparrini, F. (2017). *Introduccion al Aprendizaje Automatico. Fernando Sancho Caparrini, 1-3. Obtenido de <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=75>*

Schmidt Díaz, V. (3 de Mayo de 2008). *CORRELACIONES A PARTIR DE LA INTENSIDAD DE ARIAS PARA DATOS ACELEROGRAFICOS DE COSTA RICA. Revista Geológica de América Central, 38, 95-117. doi:10.15517/rgac.v0i38.4219*

Tavera, H., & Buforn, E. (1998). *Sismicidad y sismotectonica de Peru. Madrid: Fisica de la Tierra.*

Tavera, H., Agüero, C., & Fernandez, E. (2016). *Catalogo General de Isosistas Para Sismos Peruanos. Lima.*

Wald, D., Quitoriano, V., Heaton, T., & Kanamori, H. (Agosto de 1999). *Relaciones entre la aceleración máxima del terreno, la velocidad máxima del terreno y la intensidad modificada de Mercalli en California. Earthquake Spectra, 15(3), 557-562. doi:10.1193/1.1586058*

ANEXOS.

ANEXO A: Ficha Resumen-Matriz de Categorías **(Instrumento de recolección de datos)**



Tabla A.1 :FICHA RESUMEN-MATRIZ DE CATEGORIAS N°01: Registro de estaciones acelerográfica

| INDICE | NOMBRE SISMO | NOMBRE ESTAC – Ciudades | Tipo de suelo | Dist Epic (Km) | PGA horizontal (cm/s ²) | PGA vertical (cm/s ²) | Intensidad |
|--------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------------|---|---|------------|
| 1 | INFORME DEL 12 de Setiembre del 2016 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 447.852809 | 1.387309311 | 0.04837692 4 | I |
| 2 | informe del 18 de Marzo del 2017 | CIP LIMA | GRAVA ALUVIAL | 81.067997 | 2.202506395 | 0.93029113 8 | II |
| 3 | informe del 18 de Marzo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 155.173409 | 2.030702709 | 0.89479996 1 | I |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.2.FICHA RESUMEN-MATRIZ DE CATEGORIAS N°02: Registro de evento sísmico

| INDICE | NOMBRE SISMO | LATITUD SISMO | LONGITUD SISMO | PROFUNDIDAD | MAG (IGP) |
|--------|--------------------------------------|---------------|----------------|-------------|-----------|
| 1 | INFORME DEL 12 de Setiembre del 2016 | 14.6847 | -76.0929 | 18 | 4.1 |
| 2 | informe del 18 de Marzo del 2017 | -11.7 | -77.68 | 48 | 4.1 |
| 3 | informe del 20 de Marzo del 2017 | -3.7 | -81.29 | 23 | 4.5 |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |
| 16 | | | | | |
| 17 | | | | | |
| 18 | | | | | |
| 19 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

ANEXO B: DESARROLLO

FUENTE DE DATOS



Jorge Alva Hurtado
Carmen Ortiz Salas
Joseph Montero Inga



INFORME PRELIMINAR SISMO DE CHALA, CARAVELI - AREQUIPA DEL 19 DE NOVIEMBRE DEL 2018

ML = 4.5 (IGP)

1. UBICACIÓN

El 19 de Noviembre del 2018, se registró un evento sísmico. La ubicación del sismo según el IGP (Instituto Geofísico del Perú) se presenta en la Tabla N° 1 y Figura N° 1.

Tabla N° 1 Ubicación y hora epicentral del sismo según el IGP

| Fuente | Coordenadas geográficas (°) | | Profundidad (Km) | Hora Epicentral UTC |
|--------|-----------------------------|----------------|------------------|---------------------|
| | Latitud Sur | Longitud Oeste | | |
| IGP | -16.19 | -74.66 | 25.00 | 17:24:07 |

Figura N° 1. Epicentro según IGP y ubicación de las estaciones acelerográficas



El Instituto Geofísico del Perú (IGP) ubica su epicentro a 59 km al Sur Oeste de Chala, Caraveli (Arequipa), con intensidad máxima en la escala modificada de Mercalli de II en Chala.

Figura B.1: Modelo de informe reportado por la Red Acelerográfica del Perú.

Fuente: Red Acelerográfica del Peru

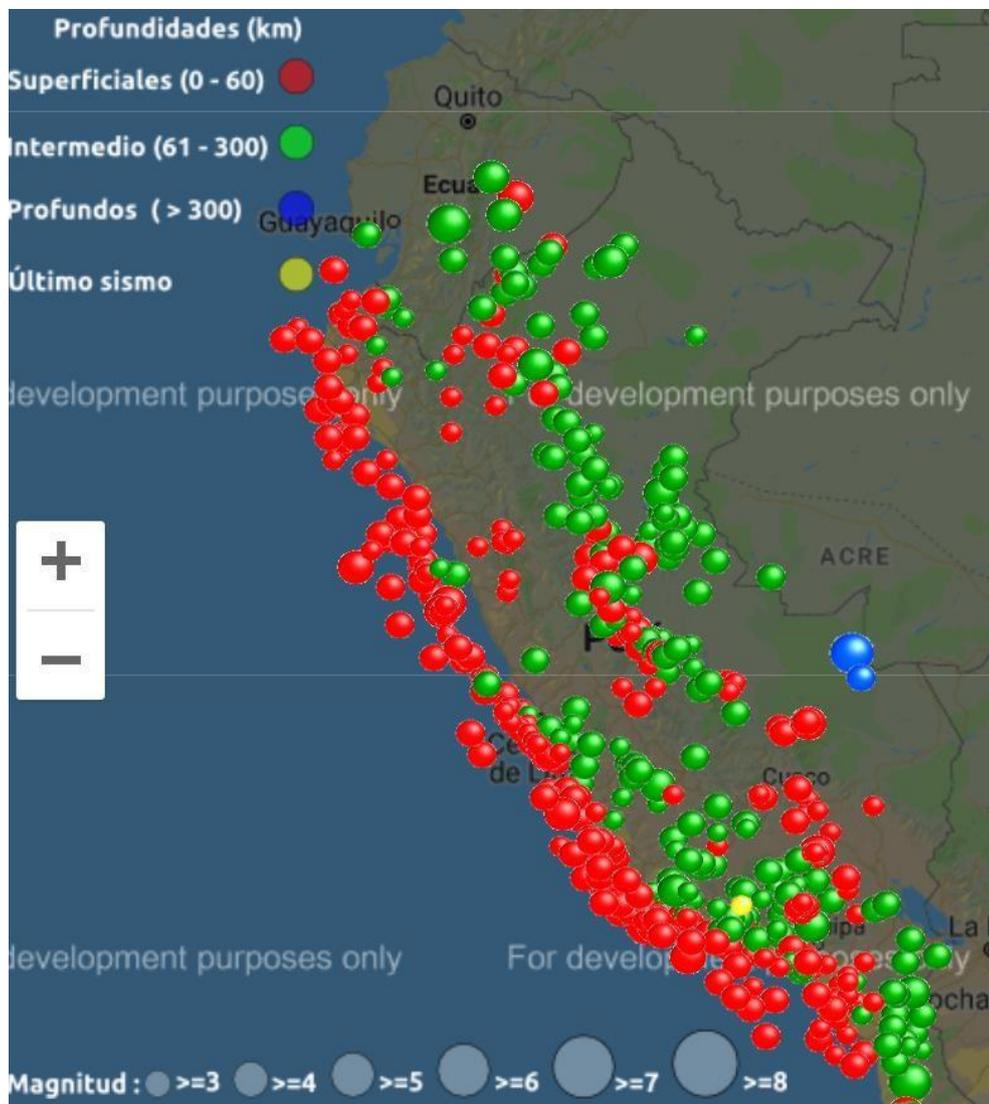


Figura B.2: Total de eventos sísmicos recopilados para el estudio de la presente tesis.

Fuente: Elaboración propia

RECOLECCION DE DATOS (PARAMETROS INSTRUMENTALES Y DE
INTENSIDADES REPORTADAS)

• **Registros de aceleración**

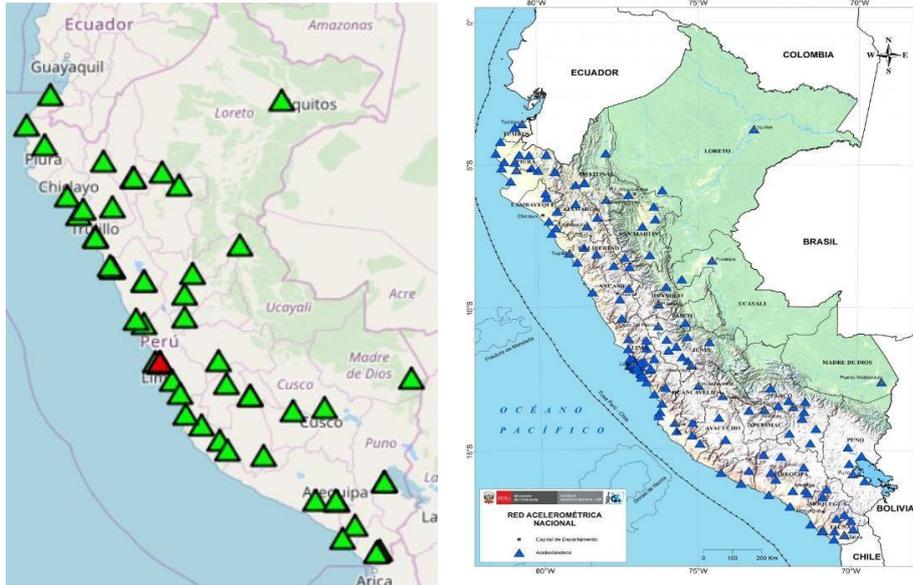


Figura B.3: Estaciones acelerograficas instaladas por la Red Acelerográfica y acelerómetros instaladas por el IGP.

Fuente: IGP y Red Acelerográfica

• **Información macrosísmica**

II. **Figura B.4:** Mapa de intensidades del USGS de la Zona del sismo de Pucara(Peru) del 14 de setiembre del 2018. Epicentro en la estrella.

III. **Fuente:** Red Acelerográfica del Perú.

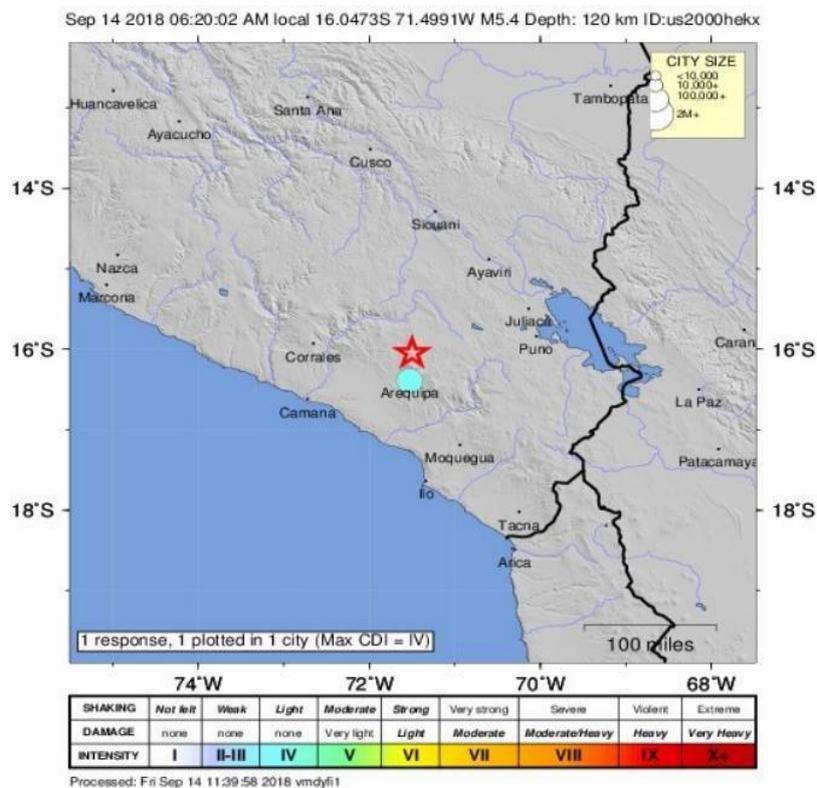


Figura B.4: Mapa de intensidades del USGS de la Zona del sismo de Pucara(Peru) del 14 de setiembre del 2018. Epicentro en la estrella.

Fuente: Red Acelerográfica del Perú

SISMO REPORTADO POR EL INSTITUTO CIENTIFICO DEL PERU
 2018/08/02 11:15:56.06 Hora Local Prof: 59 km Mag: 3.8 ML

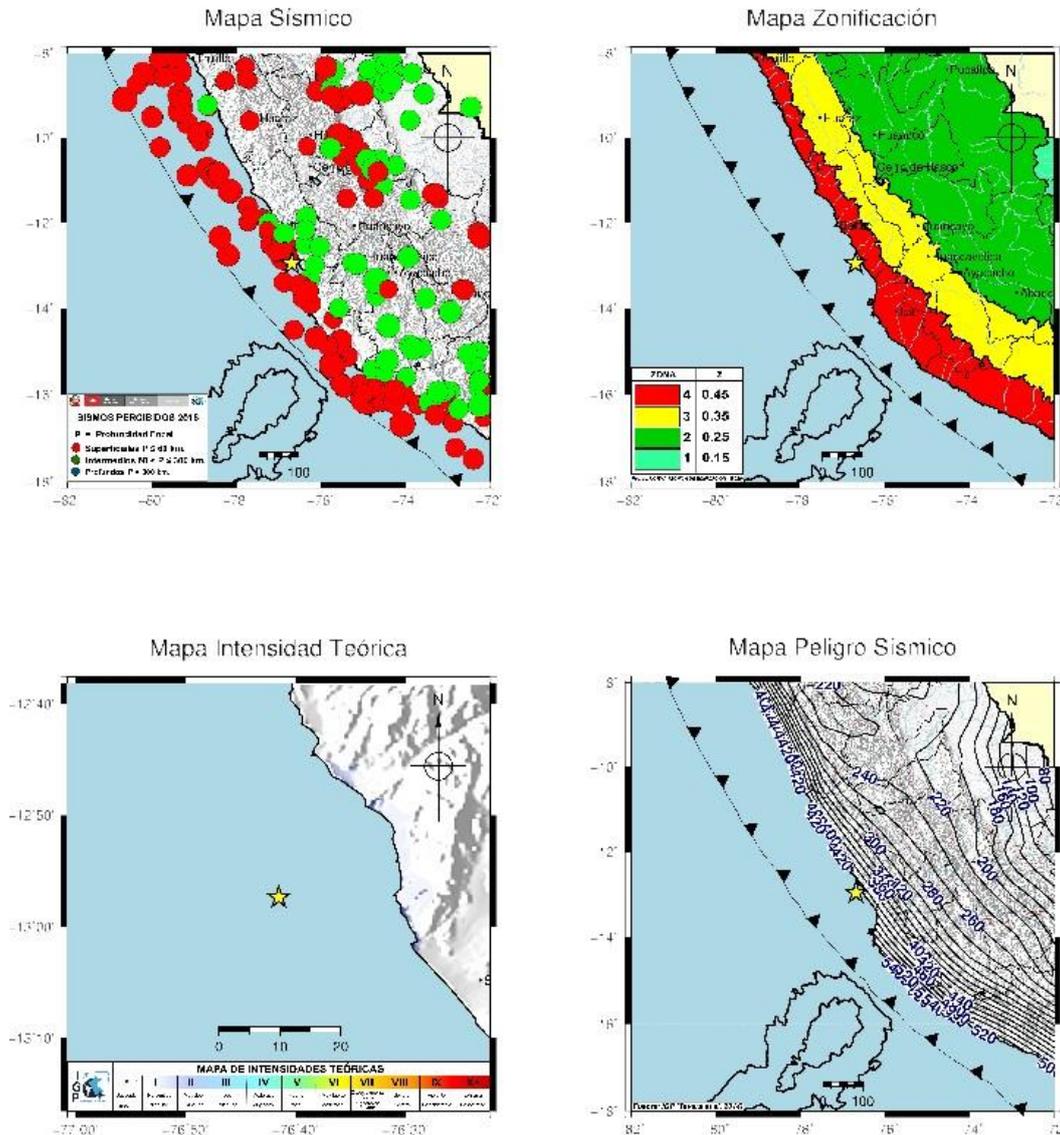


Figura B.5: Reporte de sismos, Mapa de intensidades de Mercalli y de Peligro sísmico

Fuente: Instituto Científico del Perú (IGP)

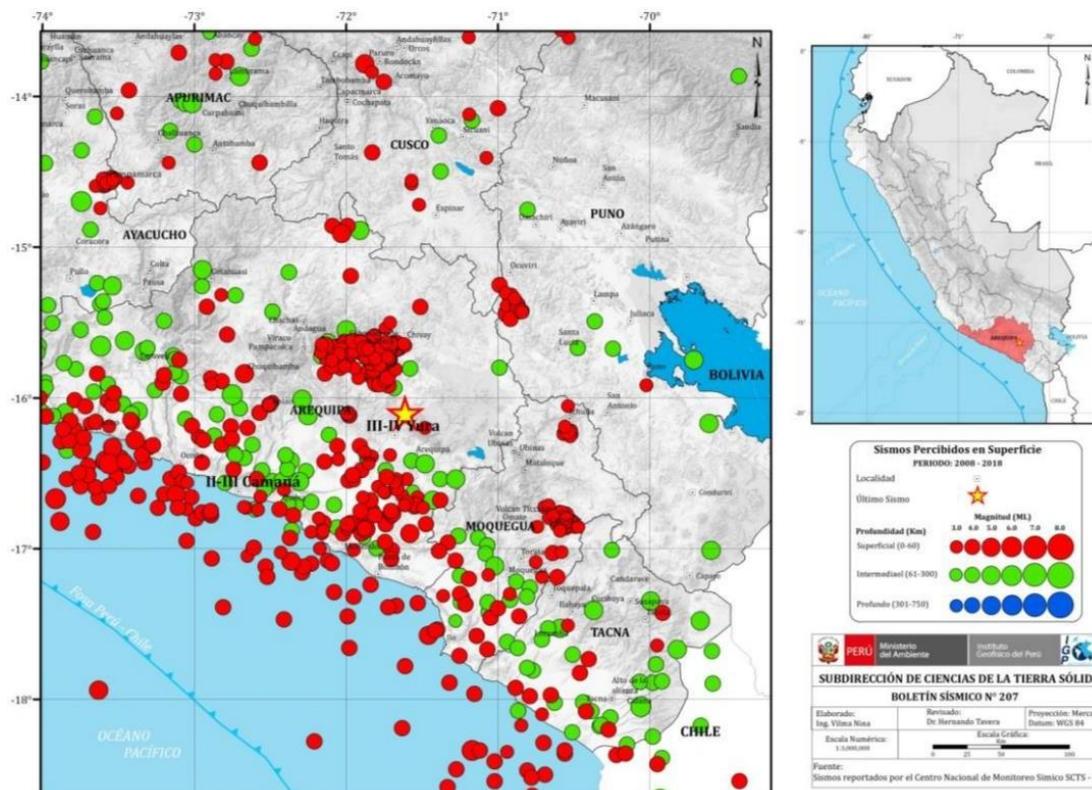


Figura B.6: Epicentro y IMM del sismo de Yura.

Fuente: Boletín sísmico N°207 IGP

ANEXO C: BASE DE DATOS

Tabla C.1:
 Estaciones

| INDICE | NOMBRE SISMO | NOMBRE ESTAC – Ciudades | Tipo de suelo | Dist Epic (Km) | PGA horizontal (cm/s ²) | PGA vertical (cm/s ²) | Intensidad |
|--------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------|
| 1 | INFORME DEL 12 de Setiembre del 2016 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 447.852809 | 1.387309311 | 0.048376924 | I |
| 2 | informe del 18 de Marzo del 2017 | CIP LIMA | GRAVA ALUVIAL | 81.067997 | 2.202506395 | 0.930291138 | II |
| 3 | informe del 18 de Marzo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 155.173409 | 2.030702709 | 0.894799961 | I |
| 4 | informe del 18 de Marzo del 2017 | CIP CN | GRAVA ALUVIAL | 84.691653 | 1.977274398 | 1.265700226 | I |
| 5 | informe del 18 de Marzo del 2017 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 91.083989 | 0.904514422 | 0.809886647 | I |
| 6 | informe del 20 de Marzo del 2017 | CIP TUMBES | Arcilla de baja compresibilidad | 96.790018 | 1.800888341 | 0.926710483 | I |
| 7 | informe del 21 de Marzo del 2017 | CIP PIURA | ARENA ARCILLOSA | 55.117755 | 0.880374219 | 0.771924541 | I |
| 8 | informe del 21 de Marzo del 2017 | UNP | FALSO | 56.632839 | 0.936878588 | 0.483820011 | I |
| 9 | informe del 23 de Marzo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 161.047132 | 3.010492459 | 1.261481236 | II |
| 10 | informe del 23 de Marzo del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 70.917761 | 2.579832502 | 2.396338251 | II |
| 11 | informe del 25 de Marzo del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 45.284765 | 2.363030267 | 1.621286592 | II |
| 12 | informe del 25 de Marzo del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 103.27328 | 1.254511441 | 0.991169192 | I |



| | | | | | | | |
|----|--|--------------|----------------------|------------|-------------|-----------------|-----|
| 13 | informe del 30 de Marzo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 36.685894 | 3.617658056 | 1.4903377 4 | II |
| 14 | informe del 04 de Abril del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 125.374178 | 1.543276741 | 1.01749592 3 | II |
| 15 | informe del 06 de Abril del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 205.584041 | 1.280115443 | 0.88225390 3 | I |
| 16 | informe del 06 de Abril del 2017 | CIP MOQUEGUA | ARENA ARCILLOSA | 208.591277 | 1.247502165 | 0.41870980 6 | I |
| 17 | informe del 09 de Abril del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 108.358607 | 1.014645278 | 0.49177100 9 | I |
| 18 | informe del 13 de Abril del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 109.042111 | 1.254847572 | 1.36344231 6 | I |
| 19 | informe del 13 de Abril del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 54.074898 | 1.966302762 | 1.31079399 8 | II |
| 20 | INFORME DEL SISMO DE VATOR-AREQUIPA del 20 de Abril del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 46.036687 | 3.718662747 | 3.80374123 4 | III |
| 21 | informe del 01 de Mayo del 2017 | UPAO | ARENA ARCILLOSA | 109.061416 | 2.226488378 | 1.83391435 4 | II |
| 22 | informe del 01 de Mayo del 2017 | UNS | ARENA MAL GRADADA | 68.16124 | 13.20863219 | 3.75004509 3 | III |
| 23 | informe del 01 de Mayo del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 68.187207 | 10.84845084 | 6.32731613 9 | III |
| 24 | informe del 01 de Mayo del 2017 | UPAO | ARENA ARCILLOSA | 109.061416 | 2.226488378 | 1.83391435 4 | II |



| | | | | | | | |
|----|---|----------------|-----------------------------|------------|-------------|-----------------|-----|
| 25 | informe del 01 de Mayo del 2017 | UNS | ARENA MAL GRADADA | 68.16124 | 13.20863219 | 3.75004509 3 | III |
| 26 | informe del 01 de Mayo del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 68.187207 | 10.84845084 | 6.32731613 9 | III |
| 27 | informe del 03 de Mayo del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 201.857749 | 5.456043001 | 4.67786885 1 | II |
| 28 | informe del 03 de Mayo del 2017 | CIP MOQUEGUA | ARENA ARCILLOSA | 275.372369 | 1.236922387 | 0.51090880 4 | I |
| 29 | informe del 03 de Mayo del 2017 | CIP TACNA | Grava aluvial con boloneria | 13.009978 | 0.880287497 | 0.90860088 1 | I |
| 30 | informe del 03 de Mayo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 100.989462 | 2.936398322 | 1.04476781 4 | II |
| 31 | informe del 05 de Mayo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 55.52185 | 2.468047823 | 1.22295096 5 | II |
| 32 | informe del 06 de Mayo del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 237.215302 | 1.271456139 | 1.17311722 9 | I |
| 33 | informe del 06 de Mayo del 2017 | CIP MOQUEGUA | ARENA ARCILLOSA | 290.255277 | 1.06307895 | 0.39096952 7 | I |
| 34 | informe del 06 de Mayo del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 126.476854 | 1.387794502 | 0.82007573 7 | I |
| 35 | informe del 07 de Mayo del 2017 | PACASMAYO | GRAVA ARENOSA | 106.332747 | 0.996960237 | 0.40090113 3 | I |
| 36 | informe del 07 de Mayo del 2017 | CIP LAMBAYEQUE | ARCILLA CON LIMO | 62.227842 | 1.011959392 | 0.64683385 5 | I |
| 37 | informe del 11 de Mayo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 111.208436 | 1.156311692 | 0.44719788 1 | I |
| 38 | INFORME DEL SISMO DE SIN REFERENCIA del 14 de Mayo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 23.066941 | 1.208621704 | 0.52638025 7 | I |
| 39 | INFORME DEL SISMO DE CHILCA-LIMA del 17 de Mayo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 21.10962 | 2.053974439 | 1.02527135 2 | I |
| 40 | informe del 21 de Mayo del 2017 | CIP PIURA | ARENA ARCILLOSA | 71.126878 | 4.350391661 | 3.03328019 | III |



| | | | | | | | |
|----|---|-------------------|--|------------|-------------|-----------------|-----|
| | | | | | | 2 | |
| 41 | informe del 21 de Mayo del 2017 | TALARA | LUTITA | 120.328938 | 0.998997466 | 0.38094129 9 | I |
| 42 | informe del 21 de Mayo del 2017 | CIP TUMBES | Arcilla de baja compresibilida d | 139.228935 | 1.046168877 | 0.7212980 6 | I |
| 43 | INFORME DEL SISMO DE MORA-ICA del 21 de Mayo del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 93.638067 | 4.580874342 | 2.02600477 3 | III |
| 44 | informe del 01 de Junio del 2017 | CIP PUNO | ARCILLA | 160.199824 | 17.72691208 | 4.92908639 9 | III |
| 45 | INFORME DEL SISMO DE CANETE-LIMA del 01 de Junio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 50.534769 | 1.85352303 | 1.45711110 1 | I |
| 46 | INFORME DEL SISMO DE MANCORA-PIURA del 05 de Junio del 2017 | CIP LAMBAYEQUE | ARCILLA CON LIMO | 304.604125 | 1.9224642 | 1.11097857 9 | II |
| 47 | INFORME DEL SISMO DE MANCORA-PIURA del 05 de Junio del 2017 | CIP AMAZONAS | ARCILLA ALTA COMPRESIBILI DAD | 383.239209 | 2.435609831 | 0.96449476 8 | II |
| 48 | INFORME DEL SISMO DE MANCORA-PIURA del 05 de Junio del 2017 | CIP CAJAMARCA | GRAVA ARCILLOSA | 408.381559 | 1.44541714 | 0.64956965 1 | I |
| 49 | INFORME DEL SISMO DE MANCORA-PIURA del 05 de Junio del 2017 | CIP PIURA | ARENA ARCILLOSA | 110.631747 | 14.33915911 | 7.68130247 9 | III |
| 50 | INFORME DEL SISMO DE MANCORA-PIURA del 05 de Junio del 2017 | TALARA | LUTITA | 71.395318 | 17.28988489 | 7.81561690 8 | IV |



| | | | | | | | |
|----|---|--------------|---------------------------------|------------|-------------|-------------|-----|
| 51 | INFORME DEL SISMO DE MANCORA-PIURA del 05 de Junio del 2017 | CIP TUMBES | Arcilla de baja compresibilidad | 72.128591 | 36.04908701 | 20.73738374 | V |
| 52 | INFORME DEL SISMO DE MANCORA-PIURA del 05 de Junio del 2017 | UNJ | GRAVA MAL GRADADA | 266.641771 | 2.369730515 | 1.02999243 | II |
| 53 | informe del 05 de Junio del 2017 | CIP TUMBES | Arcilla de baja compresibilidad | 73.101814 | 1.031994709 | 1.509816276 | I |
| 54 | informe del 10 de Junio del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 115.914119 | 1.445765311 | 1.878409885 | I |
| 55 | informe del 19 de Junio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 24.886858 | 1.230861702 | 0.574960911 | I |
| 56 | informe del 23 de Junio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 40.96573 | 3.382315443 | 1.610723581 | II |
| 57 | informe del 24 de Junio del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 297.863309 | 4.216595011 | 2.649524146 | III |
| 58 | informe del 24 de Junio del 2017 | CIP CUSCO | GRAVA CON ARCILLA | 283.463296 | 8.919673545 | 2.856274156 | III |
| 59 | informe del 24 de Junio del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 229.426821 | 3.287379093 | 2.58490968 | II |
| 60 | informe del 25 de Junio del 2017 | CIP PIURA | ARENA ARCILLOSA | 40.846317 | 3.864308998 | 2.586418925 | III |
| 61 | informe del 25 de Junio del 2017 | TALARA | LUTITA | 51.604471 | 0.97464147 | 0.592131811 | I |
| 62 | informe del 28 de Junio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 1.55041 | 26.9629858 | 8.00506375 | V |
| 63 | informe del 28 de Junio del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 111.009871 | 1.268235036 | 0.982217117 | I |
| 64 | informe del 28 de Junio del 2017 | CIP MOQUEGUA | ARENA ARCILLOSA | 9.41111 | 0.990622488 | 1.559177387 | I |
| 65 | informe del 28 de Junio del 2017 | CIP PUNO | ARCILLA | 184.437443 | 13.90748927 | 4.011573796 | IV |



| | | | | | | | |
|----|---|--------------|----------------------|------------|-------------|-----------------|-----|
| 66 | informe del 28 de Junio del 2017 | UNAB | GRAVA ARENOSA | 52.322097 | 2.645973443 | 2.21348344 1 | II |
| 67 | informe del 30 de Junio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 35.45869 | 8.870511219 | 3.60890490 8 | III |
| 68 | informe del 30 de Junio del 2017 | UNAB | GRAVA ARENOSA | 55.798639 | 1.02624999 | 0.53765474 1 | I |
| 69 | informe del 08 de Julio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 131.085903 | 7.07159867 | 2.98876629 4 | II |
| 70 | informe del 08 de Julio del 2017 | UNAB | GRAVA ARENOSA | 117.900436 | 3.471498759 | 2.01416941 1 | II |
| 71 | informe del 08 de Julio del 2017 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 93.458962 | 8.499910639 | 8.96742941 2 | III |
| 72 | INFORME DE SISMO DE TRUJILLO-LA LIBERTAD del 11 de Julio del 2017 | PACASMAYO | GRAVA ARENOSA | 110.039405 | 2.06149065 | 0.73388669 6 | II |
| 73 | INFORME DEL SISMO DE OYAN-LIMA del 14 de Julio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 186.328948 | 1.541362275 | 0.72620546 7 | II |
| 74 | INFORME DEL SISMO DE OYAN-LIMA del 14 de Julio del 2017 | UNAB | GRAVA ARENOSA | 86.435677 | 1.913928567 | 0.92126345 4 | II |
| 75 | INFORME DEL SISMO DE OYAN-LIMA del 14 de Julio del 2017 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 55.752002 | 1.48591301 | 0.96265145 2 | II |
| 76 | INFORME DEL SISMO DE SAMANCO-ANCASH del 15 de Julio del 2017 | UNS | ARENA MAL GRADADA | 85.590901 | 5.168296575 | 1.97663285 6 | II |
| 77 | INFORME DEL SISMO DE SAMANCO-ANCASH del 15 de Julio del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 84.634804 | 2.929250573 | 2.28726679 4 | II |



| | | | | | | | |
|----|---|---------------|-----------------------------|------------|-------------|-------------|-----|
| 78 | INFORME DE SISMO DE SAN VICENTE DE CANETE-LIMA del 15 de Julio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 72.096113 | 4.250638038 | 2.379906763 | II |
| 79 | INFORME DE SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 17 de Julio del 2017 | UPAO | ARENA ARCILLOSA | 67.903857 | 1.314760419 | 0.877284052 | I |
| 80 | INFORME DE SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 17 de Julio del 2017 | UNS | ARENA MAL GRADADA | 64.09402 | 23.25260662 | 10.05172655 | IV |
| 81 | INFORME DE SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 17 de Julio del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 64.824154 | 26.9134165 | 14.29868629 | V |
| 82 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 17 de Julio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 531.717034 | 3.093342748 | 1.306940916 | II |
| 83 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 17 de Julio del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 347.819667 | 9.931223882 | 5.203107216 | III |
| 84 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 17 de Julio del 2017 | CIP MOQUEGUA | ARENA ARCILLOSA | 311.077918 | 4.405471777 | 2.008710487 | III |
| 85 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 17 de Julio del 2017 | CIP TACNA | Grava aluvial con boloneria | 411.72349 | 2.474086811 | 1.9860583 | II |
| 86 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 17 de Julio del 2017 | SCARQ | | 250 | 38.5 | 42.12 | V |
| 87 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 17 de Julio del 2017 | SCICA | | 352.4521 | 6.8 | 7.65 | III |
| 88 | INFORME DEL SISMO DE SAN VICENTE D CANETE-LIMA del 18 de Julio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 94.741249 | 3.918263635 | 2.037489542 | II |
| 89 | INFORME DEL SISMO DE SAN VICENTE D CANETE-LIMA del 18 de Julio del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 133.154955 | 1.668017289 | 1.043041645 | I |
| 90 | INFORME DE SISMO DE MOYOBAMBA-SAN MARTIN del 19 de Julio del 2017 | CIP MOYOBAMBA | ARCILLA | 2.21173 | 17.51264996 | 14.38235999 | IV |
| 91 | INFORME DE SISMO DE PICO-ICA del 20 de Julio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 159.998152 | 2.892956689 | 1.167286656 | II |
| 92 | INFORME DE SISMO DE PICO-ICA del 20 de Julio del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 62.428416 | 1.863677427 | 1.493736232 | I |
| 93 | INFORME DE SISMO DE MALA-LIMA del 24 de Julio del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 65.271462 | 2.277271394 | 1.347800687 | II |
| 94 | INFORME DEL SISMO DE TRUJILLO-LA LIBERTAD del 26 de Julio del 2017 | PACASMAYO | GRAVA ARENOSA | 152.641885 | 1.035876585 | 0.366686294 | I |
| 95 | INFORME DE SISMO DE CASMA-ANCASH del 28 de Julio del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 77.620903 | 1.933047531 | 1.037089714 | I |
| 96 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 291.611305 | 1.555621231 | 0.748227948 | II |
| 97 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | UPAO | ARENA ARCILLOSA | 293.460483 | 1.235727016 | 0.559439184 | I |
| 98 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | UNAB | GRAVA ARENOSA | 74.391782 | 29.12802529 | 11.15960339 | IV |



| | | | | | | | |
|-----|---|-----------------|---------------------------------|------------|-------------|-------------|-----|
| 99 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | UNASAM | Arcilla de baja compresibilidad | 166.684778 | 1.010172374 | 0.825260539 | I |
| 100 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | UNS | ARENA MAL GRADADA | 177.138095 | 5.811794385 | 3.36851565 | III |
| 101 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | CIP LA LIBERTAD | ARENA CON GRAVILLA | 294.779801 | 1.102109028 | 0.710986376 | I |
| 102 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | CIP HUANUCO | GRAVA ARCILLOSA | 256.968253 | 1.094406041 | 0.405394074 | I |
| 103 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 102.352179 | 5.192898179 | 4.052453703 | III |
| 104 | INFORME DE SISMO DE BARRANCA-LIMA del 03 de Agosto del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 176.033113 | 5.307293665 | 3.448842245 | II |



| | | | | | | | |
|-----|---|------------------|----------------------|------------|-------------|-----------------|-----|
| 105 | INFORME DE SISMO DE MALA-LIMA del 04 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 30.046841 | 5.34291918 | 3.7393395 6 | III |
| 106 | INFORME DE SISMO DE HUACHO-LIMA del 05 de Agosto del 2017 | UNAB | GRAVA ARENOSA | 79.021763 | 1.132374432 | 0.48894460 5 | I |
| 107 | INFORME DE SISMO DE LUNAHUANA-LIMA del 06 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 54.313142 | 1.525018274 | 0.77669592 5 | I |
| 108 | INFORME DE SISMO DE PAMPA-HERMOSA del 07 de Agosto del 2017 | CIP MOYOBAMBA | ARCILLA | 48.518167 | 1.15169044 | 0.85275965 4 | I |
| 109 | INFORME DE SISMO DE SAN PEDRO DE LLOC-LA LIBERTAD del 08 de Agosto del 2017 | PACASMAYO | GRAVA ARENOSA | 85.086294 | 1.14227788 | 0.87824224 2 | I |
| 110 | INFORME DE SISMO DE CARAVELI-AREQUIPA del 10 de Agosto del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 340.380313 | 1.183012582 | 1.46042113 9 | I |
| 111 | INFORME DE SISMO DE PAITA-PIURA del 11 de Agosto del 2017 | CIP PIURA | ARENA ARCILLOSA | 70.488831 | 1.873553382 | 3.6982493 4 | II |
| 112 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 11 de Agosto del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 358.722927 | 2.235537159 | 0.9804494 6 | II |
| 113 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 11 de Agosto del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 256.40991 | 10.62959416 | 5.92202350 4 | III |
| 114 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 11 de Agosto del 2017 | CIP MOQUEGUA | ARENA ARCILLOSA | 317.582508 | 2.008750858 | 1.0419513 8 | II |
| 115 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 11 de Agosto del 2017 | UNJBG | ARENA LIMOSA | 407.686482 | 1.195881672 | 0.63618193 7 | I |
| 116 | INFORME DE SISMO DE AGUAYTIA-UCAYALI del 11 de Agosto del 2017 | CIP HUANUCO | GRAVA ARCILLOSA | 137.265078 | 2.785489813 | 1.33661752 7 | II |
| 117 | INFORME DE SISMO DE AGUAYTIA-UCAYALI del 11 de Agosto del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 323.355665 | 0.966719285 | 0.6788742 5 | I |
| 118 | INFORME DE SISMO DE PISCO-ICA del 12 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 122.604317 | 4.070805799 | 2.16163102 8 | III |
| 119 | INFORME DE SISMO DE PISCO-ICA del 12 de Agosto del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 74.035958 | 3.591662293 | 2.21624002 1 | II |
| 120 | INFORME DE SISMO DE LA MERCED-JUNIN del 13 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 294.73532 | 1.88388759 | 0.97215455 | I |



| | | | | | | | |
|-----|---|------------------|-------------------|------------|-------------|-----------------|-----|
| | | | | | | 7 | |
| 121 | INFORME DE SISMO DE LA MERCED-JUNIN del 13 de Agosto del 2017 | UNSCH | GRAVA MAL GRADADA | 271.231579 | 5.40201208 | 6.20109873 1 | II |
| 122 | INFORME DE SISMO DE LA MERCED-JUNIN del 13 de Agosto del 2017 | CIP HUANUCO | GRAVA ARCILLOSA | 184.962698 | 12.88237325 | 4.57585431 2 | III |
| 123 | INFORME DE SISMO DE LA MERCED-JUNIN del 13 de Agosto del 2017 | CIP HUANCAVELICA | ARENOSO | 224.766387 | 5.352383933 | 5.28320484 7 | III |
| 124 | INFORME DE SISMO DE CANETE-LIMA del 16 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 72.38125 | 2.7420987 | 1.35727459 9 | II |
| 125 | INFORME DEL SISMO DE CHILCA-LIMA del 18 de Agosto del 2017 | CIP LIMA | GRAVA ALUVIAL | 37.085092 | 1.034832201 | 0.48830082 8 | I |
| 126 | INFORME DEL SISMO DE CHILCA-LIMA del 18 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 46.154678 | 1.78689547 | 0.90878538 5 | I |
| 127 | INFORME DEL SISMO DE HUARMEY-ANCASH del 18 de Agosto del 2017 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 189.318595 | 1.48381798 | 1.45113513 3 | I |
| 128 | INFORME DEL SISMO DE HUANCANO-ICA del 19 de Agosto del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 74.698252 | 0.987392434 | 0.67718918 5 | I |
| 129 | INFORME DEL SISMO DE CHILCA-LIMA del 20 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 42.507067 | 1.357751581 | 0.51502591 1 | I |
| 130 | INFORME DEL SISMO DE TUNGUINA-ICA del 20 de Agosto del 2017 | CIP LIMA | GRAVA ALUVIAL | 250.986804 | 2.782594324 | 1.41443259 8 | II |
| 131 | INFORME DEL SISMO DE TUNGUINA-ICA del 20 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 173.476251 | 14.69059772 | 6.92185542 8 | III |



| | | | | | | | |
|-----|--|--------------|--------------------------------|------------|-------------|-----------------|-----|
| 132 | INFORME DEL SISMO DE TUNGUINA-ICA del 20 de Agosto del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 10.854632 | 17.15622383 | 16.7996895 2 | IV |
| 133 | INFORME DEL SISMO DE TUNGUINA-ICA del 20 de Agosto del 2017 | UNSCH | GRAVA MAL GRADADA | 191.248469 | 1.037686323 | 1.27863968 8 | I |
| 134 | INFORME DEL SISMO DE ACARI-AREQUIPA del 23 de Agosto del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 222.088216 | 1.033960407 | 0.70471029 7 | I |
| 135 | INFORME DEL SISMO DE VITOR-AREQUIPA del 24 de Agosto del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 50.484866 | 1.869029038 | 1.36073333 8 | II |
| 136 | INFORME DEL SISMO DE PIMENTEL-LAMBAYEQUE del 25 de Agosto del 2017 | PACASMAYO | GRAVA ARENOSA | 145.704575 | 0.934966856 | 0.33911404 9 | I |
| 137 | INFORME DEL SISMO DE CANETE-LIMA del 29 de Agosto del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 44.48983 | 15.32168709 | 5.58822335 3 | IV |
| 138 | INFORME DEL SISMO DE VITOR-AREQUIPA del 02 de Setiembre del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 50.195564 | 1.999889944 | 1.47259283 7 | I |
| 139 | INFORME DEL SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 04 de Setiembre del 2017 | UPAO | ARENA ARCILLOSA | 95.053969 | 3.330288936 | 4.72876574 7 | III |
| 140 | INFORME DEL SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 04 de Setiembre del 2017 | PACASMAYO | GRAVA ARENOSA | 193.523111 | 1.166059911 | 0.40943377 2 | I |
| 141 | INFORME DEL SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 04 de Setiembre del 2017 | UNS | ARENA MAL GRADADA | 28.960186 | 37.61117241 | 9.81357446 8 | V |
| 142 | INFORME DEL SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 04 de Setiembre del 2017 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 252.312433 | 8.175682704 | 0.84943433 6 | III |
| 143 | INFORME DEL SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 04 de Setiembre del 2017 | CIP CHIMBOTE | ARENA MAL GRADADA | 29.813371 | 30.55602848 | 14.6003651 3 | V |
| 144 | INFORME DEL SISMO DE TACNA-TACNA del 04 de Setiembre del 2017 | CIP TACNA | Grava aluvial con boloneria | 168.722151 | 3.22279457 | 2.94262941 3 | II |
| 145 | INFORME DEL SISMO DE TACNA-TACNA del 04 de Setiembre del 2017 | UNJBG | ARENA LIMOSA | 163.87389 | 7.465038408 | 5.22307792 8 | III |
| 146 | INFORME DEL SISMO DE VITOR-AREQUIPA del 07 de Setiembre del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 45.822011 | 2.35333301 | 2.31766486 6 | II |



| | | | | | | | |
|-----|--|---------------|----------------|------------|-------------|-----------------|-----|
| 147 | INFORME DEL SISMO DE MOYOBAMBA-SAN MARTIN del 10 de Setiembre del 2017 | CIP MOYOBAMBA | ARCILLA | 37.09329 | 0.956992434 | 1.00331016 1 | I |
| 148 | INFORME DEL SISMO DE CHILCA-LIMA del 11 de Setiembre del 2017 | CIP LIMA | GRAVA ALUVIAL | 56.701486 | 4.765751377 | 1.94035607 2 | II |
| 149 | INFORME DEL SISMO DE CHILCA-LIMA del 11 de Setiembre del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 26.572646 | 1.299280105 | 0.72017281 9 | I |
| 150 | INFORME DEL SISMO DE CHILCA-LIMA del 11 de Setiembre del 2017 | CIP CN | GRAVA ALUVIAL | 52.880275 | 2.676874521 | 1.71093663 7 | II |
| 151 | INFORME DEL SISMO DE CAMANA-AREQUIPA del 13 de Setiembre del 2017 | CIP PUNO | ARCILLA | 302.317122 | 12.82664083 | 3.79391143 4 | III |
| 152 | INFORME DEL SISMO DE MATUCANA-LIMA del 14 de Setiembre del 2017 | CIP LIMA | GRAVA ALUVIAL | 79.843586 | 4.636033676 | 3.11240975 1 | III |
| 153 | INFORME DEL SISMO DE MATUCANA-LIMA del 14 de Setiembre del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 90.585866 | 4.426243528 | 2.09767111 7 | II |
| 154 | INFORME DEL SISMO DE MATUCANA-LIMA del 14 de Setiembre del 2017 | CIP CN | GRAVA ALUVIAL | 78.647795 | 4.373168207 | 3.12235547 1 | II |
| 155 | INFORME DEL SISMO DE MATUCANA-LIMA del 14 de Setiembre del 2017 | CARAL | GRAVA ARENOSA | 172.03859 | 1.447017773 | 1.18156362 2 | I |
| 156 | INFORME DEL SISMO DE MATUCANA-LIMA del 14 de Setiembre del 2017 | CIP LIMA | GRAVA ALUVIAL | 81.065845 | 1.352722424 | 0.71265579 4 | I |
| 157 | INFORME DEL SISMO DE MATUCANA-LIMA del 14 de Setiembre del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 94.707894 | 0.948178065 | 0.49224374 6 | I |
| 158 | INFORME DEL SISMO DE MATUCANA-LIMA del 14 de Setiembre del 2017 | CIP CN | GRAVA ALUVIAL | 80.071655 | 1.008886895 | 0.65084312 3 | I |

| | | | | | | | |
|-----|---|--------------|--------------------------------|----------------|-------------|-----------------|-----|
| 159 | INFORME DEL SISMO DE CALANA-TACNA del 14 de Setiembre del 2017 | UNJBG | ARENA LIMOSA | 62.487434 | 0.930261204 | 0.65736683 2 | I |
| 160 | INFORME DEL SISMO DE AREQUIPA-AREQUIPA del 20 de Setiembre del 2017 | CIP AREQUIPA | GRAVA LIMOSA | 2.405544 | 4.424495276 | 6.46599109 2 | III |
| 161 | INFORME DEL SISMO DE AREQUIPA-AREQUIPA del 20 de Setiembre del 2017 | UNJBG | ARENA LIMOSA | 215.08969 5 | 2.507862632 | 1.50939122 | II |
| 162 | INFORME DEL SISMO DE CALANA-TACNA del 20 de Setiembre del 2017 | CIP TACNA | Grava aluvial con boloneria | 40.881486 | 6.84688572 | 3.45391687 4 | II |
| 163 | INFORME DEL SISMO DE CALANA-TACNA del 20 de Setiembre del 2017 | UNJBG | ARENA LIMOSA | 42.836638 | 12.24454283 | 8.52555012 4 | III |
| 164 | INFORME DEL SISMO DE CALANA-TACNA del 20 de Setiembre del 2017 | CIP TACNA | Grava aluvial con boloneria | 27.121385 | 6.846885841 | 3.45391679 2 | III |
| 165 | INFORME DEL SISMO DE CALANA-TACNA del 20 de Setiembre del 2017 | UNJBG | ARENA LIMOSA | 34.196221 | 12.2445429 | 8.52555012 2 | III |
| 166 | INFORME DEL SISMO DE ICA-ICA del 24 de Setiembre del 2017 | MALA | GRAVA SATURADA | 222.82992 2 | 1.06198761 | 0.59151866 4 | I |
| 167 | INFORME DEL SISMO DE ICA-ICA del 24 de Setiembre del 2017 | CIP ICA | ARENA MEDIA | 48.014478 | 15.13054587 | 6.63152652 8 | IV |
| 168 | INFORME DEL SISMO DE ICA-ICA del 24 de Setiembre del 2017 | CIP NAZCA | SUELO ARENOSO | 99.407695 | 6.394257596 | 6.11310633 5 | III |
| 169 | | | | | | | |
| 170 | | | | | | | |
| 171 | | | | | | | |
| 172 | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|-----|--|--------------|---------------------------------|------------|-------------|-------------|----|
| 173 | | | | | | | |
| 174 | | | | | | | |
| 175 | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 679 | INFORME DEL SISMO DE TARAPOTO- SAN MARTIN - SAN MARTIN del 11 de Agosto del 2018 | CIP TARAPOTO | ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD | 18.139716 | 1.355344117 | 1.075191664 | I |
| 680 | INFORME DEL SISMO DE TACNA- TACNA - TACNA del 14 de Agosto del 2018 | CIP TACNA | Grava aluvial con boloneria | 216.555239 | 1.417201728 | 0.879719983 | I |
| 681 | INFORME DEL SISMO DE TACNA- TACNA - TACNA del 14 de Agosto del 2018 | UNJBG | ARENA LIMOSA | 214.461811 | 2.576466349 | 2.0911506 | II |
| 682 | INFORME DEL SISMO DE MALA- CANETE - LIMA del 17 de Agosto del 2018 | MALA | GRAVA SATURADA | 38.102584 | 4.278262275 | 2.608728508 | II |

Tabla C.2: Eventos

| INDICE | NOMBRE SISMO | LATITU D SISMO | LONGITU D SISMO | PROFUNDIDA D | MA G (IGP) |
|--------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|
| 1 | INFORME DEL 12 de Setiembre del 2016 | 14.684 7 | -76.0929 | 18 | 4.1 |
| 2 | informe del 18 de Marzo del 2017 | -11.7 | -77.68 | 48 | 4.1 |
| 3 | informe del 20 de Marzo del 2017 | -3.7 | -81.29 | 23 | 4.5 |
| 4 | informe del 21 de Marzo del 2017 | -4.92 | -81.06 | 57 | 4.1 |
| 5 | informe del 23 de Marzo del 2017 | -13.5 | -75.43 | 113 | 4.5 |
| 6 | informe del 25 de Marzo del 2017 | -13.92 | -76.12 | 66 | 4 |



| | | | | | |
|----|--|--------|--------|-----|-----|
| 7 | informe del 25 de Marzo del 2017 | -17.3 | -71.9 | 48 | 4 |
| 8 | informe del 30 de Marzo del 2017 | -12.98 | -76.77 | 57 | 4.2 |
| 9 | informe del 04 de Abril del 2017 | -10.26 | -78.61 | 49 | 4.1 |
| 10 | informe del 06 de Abril del 2017 | -17.85 | -72.77 | 25 | 5.4 |
| 11 | informe del 06 de Abril del 2017 | -17.85 | -72.77 | 25 | 5.4 |
| 12 | informe del 09 de Abril del 2017 | -11.73 | -76.93 | 100 | 4 |
| 13 | informe del 13 de Abril del 2017 | -16.76 | -72.47 | 51 | 3.8 |
| 14 | informe del 13 de Abril del 2017 | -16.75 | -71.9 | 38 | 4.1 |
| 15 | INFORME DEL SISMO DE VATOR-AREQUIPA del 20 de Abril del 2017 | -16.48 | -71.93 | 38 | 4.1 |



| | | | | | |
|----|---------------------------------|--------|--------|-----|-----|
| 16 | informe del 01 de Mayo del 2017 | -9.11 | -79.14 | 49 | 4.7 |
| 17 | informe del 03 de Mayo del 2017 | -16.43 | -73.39 | 50 | 4.9 |
| 18 | informe del 03 de Mayo del 2017 | -18.03 | -70.09 | 101 | 3.8 |
| 19 | informe del 03 de Mayo del 2017 | -12.26 | -77.48 | 40 | 4 |
| 20 | informe del 05 de Mayo del 2017 | -12.97 | -77.06 | 20 | 3.7 |

| | | | | | |
|----|---|--------|--------|-----|-----|
| 21 | informe del 06 de Mayo del 2017 | -17 | -73.65 | 15 | 4.4 |
| 22 | informe del 06 de Mayo del 2017 | -10.27 | -78.61 | 44 | 4 |
| 23 | informe del 07 de Mayo del 2017 | -7.01 | -80.44 | 35 | 4 |
| 24 | informe del 11 de Mayo del 2017 | -12.02 | -77.43 | 41 | 3.8 |
| 25 | INFORME DEL SISMO DE SIN REFERENCIA del 14 de Mayo del 2017 | -12.6 | -76.85 | 52 | 3.6 |
| 26 | INFORME DEL SISMO DE CHILCA-LIMA del 17 de Mayo del 2017 | -12.63 | -76.84 | 44 | 3.7 |
| 27 | informe del 21 de Mayo del 2017 | -4.78 | -80.12 | 73 | 4.7 |
| 28 | INFORME DEL SISMO DE MORA-ICA del 21 de Mayo del 2017 | -13.43 | -76.27 | 62 | 4.1 |
| 29 | informe del 01 de Junio del 2017 | -16.9 | -71.04 | 18 | 3.9 |
| 30 | INFORME DEL SISMO DE CANETE-LIMA del 01 de Junio del 2017 | -13.12 | -76.73 | 43 | 3.9 |
| 31 | INFORME DEL SISMO DE MANCORA-PIURA del 05 de Junio del 2017 | -4.17 | -80.66 | 18 | 6.2 |
| 32 | informe del 05 de Junio del 2017 | -4.21 | -80.55 | 33 | 4 |
| 33 | informe del 10 de Junio del 2017 | -17.33 | -70.91 | 41 | 4 |
| 34 | informe del 19 de Junio del 2017 | -12.5 | -76.8 | 60 | 3.7 |
| 35 | informe del 23 de Junio del 2017 | -12.51 | -76.31 | 98 | 4.1 |
| 36 | informe del 24 de Junio del 2017 | -15.61 | -73.46 | 100 | 6 |
| 37 | informe del 25 de Junio del 2017 | -4.93 | -80.91 | 40 | 4.4 |
| 38 | informe del 28 de Junio del 2017 | -12.68 | -76.64 | 59 | 3.9 |
| 39 | informe del 28 de Junio del 2017 | -17.27 | -70.9 | 33 | 3.4 |
| 40 | informe del 28 de Junio del 2017 | -11.03 | -78.14 | 60 | 4.2 |
| 41 | informe del 30 de Junio del 2017 | -12.49 | -76.92 | 49 | 4.4 |
| 42 | informe del 30 de Junio del 2017 | -10.72 | -78.28 | 55 | 3.8 |
| 43 | informe del 08 de Julio del 2017 | -11.72 | -77.37 | 73 | 4.8 |
| 44 | INFORME DE SISMO DE TRUJILLO-LA LIBERTAD del 11 de Julio del 2017 | -8.32 | -79.94 | 31 | 4.1 |
| 45 | INFORME DEL SISMO DE OYAN-LIMA del 14 de Julio del 2017 | -11.03 | -77.04 | 118 | 4.5 |
| 46 | INFORME DEL SISMO DE SAMANCO-ANCASH del 15 de Julio del 2017 | -9.79 | -78.91 | 34 | 4.2 |



| | | | | | |
|----|---|--------|--------|----|-----|
| 47 | INFORME DE SISMO DE SAN VICENTE DE CANETE-LIMA del 15 de Julio del 2017 | -13.3 | -76.48 | 70 | 3.7 |
| 48 | INFORME DE SISMO DE CHIMBOTE-ANCASH del 17 de Julio del 2017 | -8.74 | -78.96 | 74 | 4.3 |
| 49 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 17 de Julio del 2017 | -16.58 | -73.78 | 28 | 5.8 |
| 50 | INFORME DE SISMO DE ATICO-AREQUIPA del 17 de Julio del 2017 | | | 28 | 5.8 |
| 51 | INFORME DEL SISMO DE SAN VICENTE D CANETE-LIMA del 18 de Julio del 2017 | -13.51 | -76.82 | 56 | 4.3 |
| 52 | | | | | |
| 53 | | | | | |
| 54 | | | | | |
| 55 | | | | | |
| 56 | | | | | |
| 57 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



| | | | | | |
|-----|--|--------|--------|-----|-----|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 353 | INFORME DEL SISMO DE OCONA- CAMANA - AREQUIPA del 05 de Agosto del 2018 | -16.22 | -73.27 | 84 | 4.6 |
| 354 | INFORME DEL SISMO DE ACOMAYO- ACOMAYO - CUSCO del 05 de Agosto del 2018 | -13.83 | -71.55 | 16 | 3.7 |
| 355 | INFORME DEL SISMO DE CALLAO- CALLAO - LIMA del 05 de Agosto del 2018 | -12.26 | -77.25 | 42 | 3.6 |
| 356 | INFORME DEL SISMO DE LOCUMBA- JORGE BASADRE - TACNA del 06 de Agosto del 2018 | -17.76 | -70.61 | 106 | 4 |
| 357 | INFORME DEL SISMO DE CAMANA- CAMANA - AREQUIPA del 09 de Agosto del 2018 | -16.71 | -73.01 | 48 | 3.9 |
| 358 | INFORME DEL SISMO DE TARAPOTO- SAN MARTIN - SAN MARTIN del 11 de Agosto del 2018 | -6.56 | -76.3 | 120 | 4.1 |
| 359 | INFORME DEL SISMO DE TACNA- TACNA - TACNA del 14 de Agosto del 2018 | -19.85 | -69.69 | 97 | 4.8 |
| 360 | INFORME DEL SISMO DE MALA- CANETE - LIMA del 17 de Agosto del 2018 | -12.89 | -76.92 | 47 | 4.1 |

ANEXO D: ANALISIS DE DATOS

ANALISIS DE DATOS

ESTADISTICA DESCRIPTIVA:

Tabla D.1: Media y desviación estándar (σ) del PGA (cm/s²) del conjunto de datos para cada IMM.

| Intensidad (IMM) | Numero de puntos | Media (PGAm _x) | Desv. Estándar (PGAm _r) | Media (PGAm _a) | Desv. Estándar (PGAm _a) |
|------------------|------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| I | 308 | 1.3 | 0.31 | 1.06 | 0.29 |
| II | 213 | 3.08 | 1.25 | 2.49 | 1.02 |
| III | 124 | 8.64 | 4.2 | 6.76 | 3.28 |
| IV | 22 | 18.18 | 4.61 | 14.08 | 4.01 |
| V | 10 | 36.45 | 9.24 | 28.77 | 8.59 |
| VI | 4 | 70.91 | 11.28 | 54.77 | 11.0 |
| VII | 2 | 137.5 | 19.73 | 127.6 | 33.7 |
| | | 9 | | 5 | 9 |

Los datos se componen de 683 valores PGA asociados con valores MMI de 360 terremotos.

Las Figuras D1 a D12 muestran la distribución de los datos en términos de diferentes parámetros, y la Tabla 09 la media y la desviación estándar para cada unidad de intensidad.

A.

B.

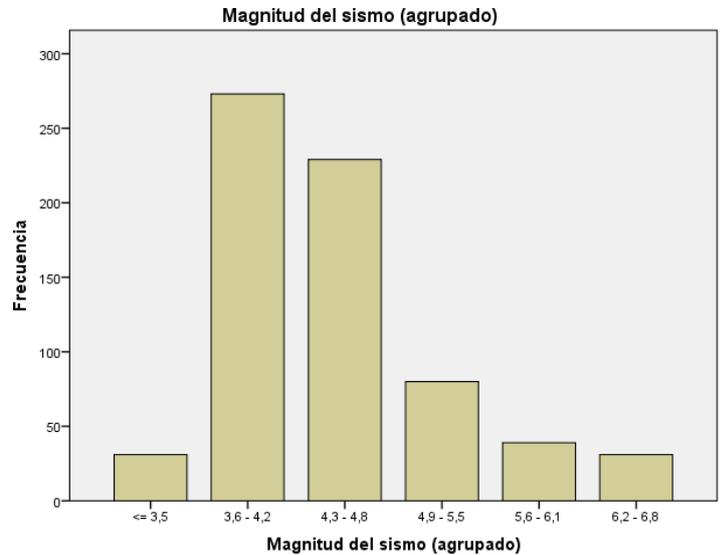
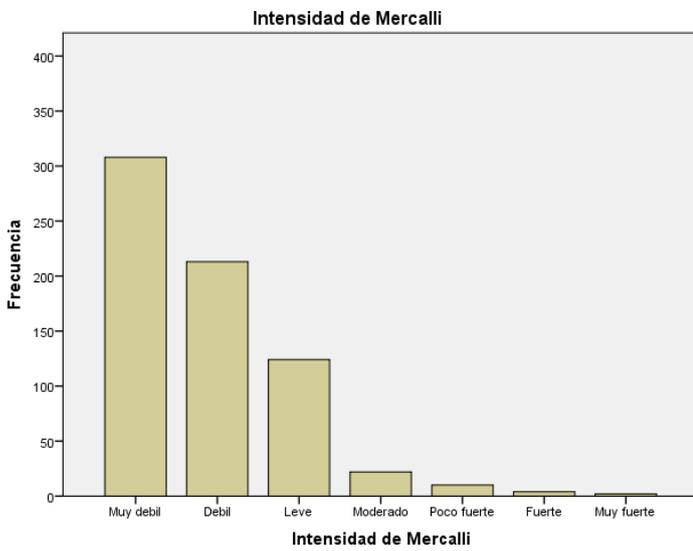


Figura D.1: Histograma respecto a la Intensidad de Mercalli.
 Fuente: Propia (SPSS)

Figura D.2: Histograma respecto a la Magnitud del sismo.
 Fuente: Propia (SPSS)

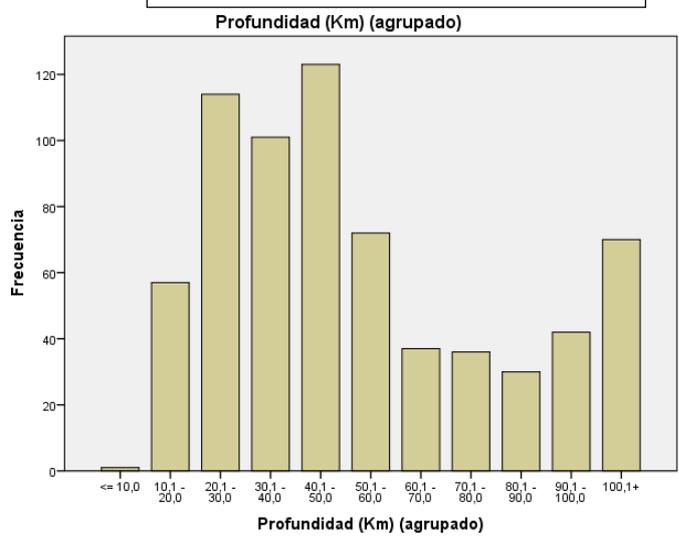
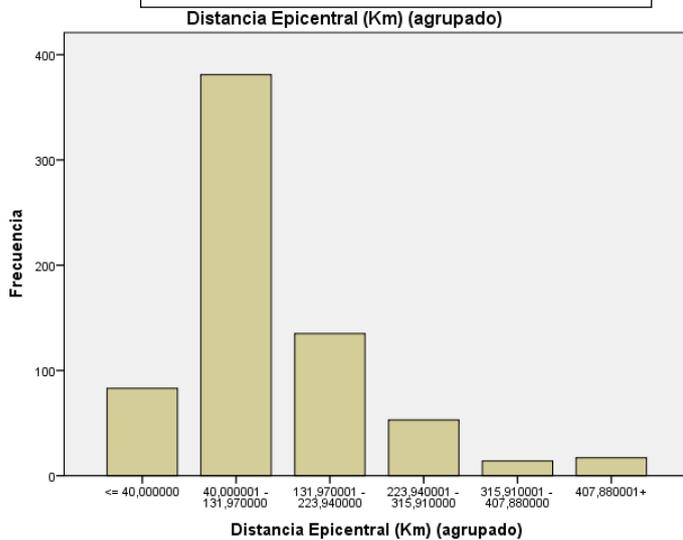
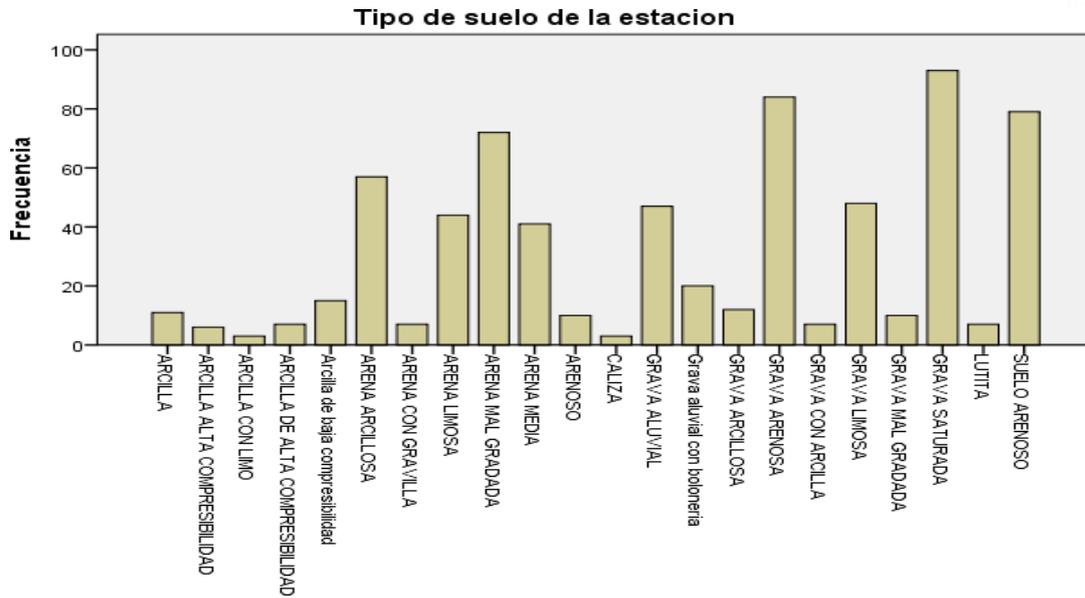


Figura D.3: Histograma respecto a la Distancia Epicentral (Km) Fuente: propia (SPSS)

Figura D.4: Histograma respecto a la Profundidad (Km) Fuente: propia

Figura D.5: Histograma respecto al tipo de suelo de la estación.
 Fuente: propia (SPSS)



Histogramas mostrando la distribucion de los valores de PGAmáx por cada IMM.

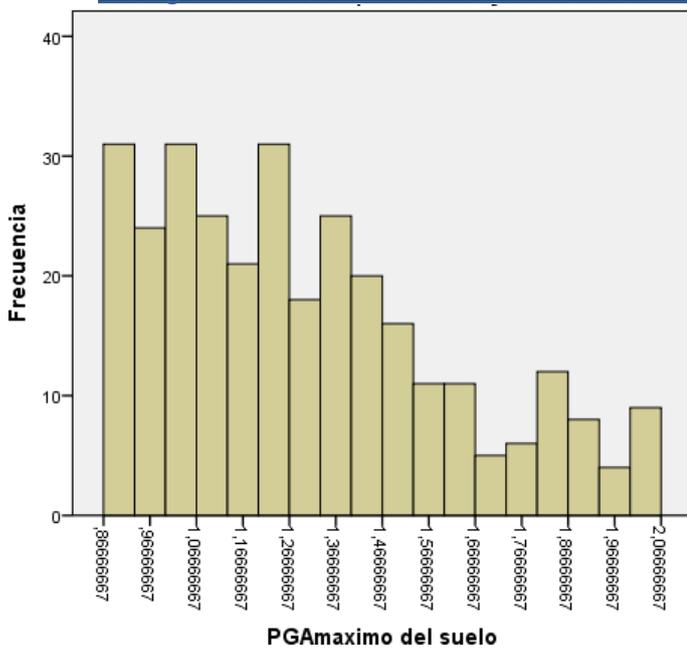


Figura D.6: Histograma para IMM muy débil (I)
 Fuente: propia (SPSS)

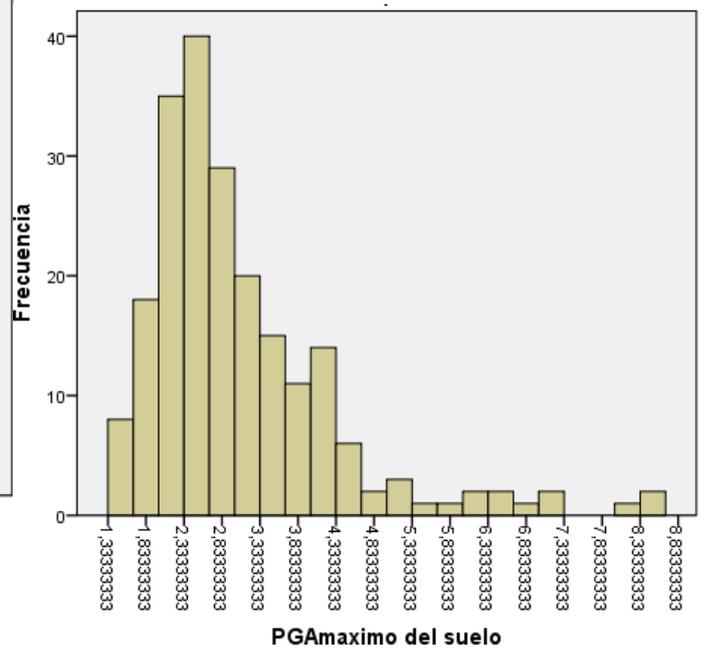


Figura D.7: Histograma para IMM débil (II)
 Fuente: propia (SPSS)

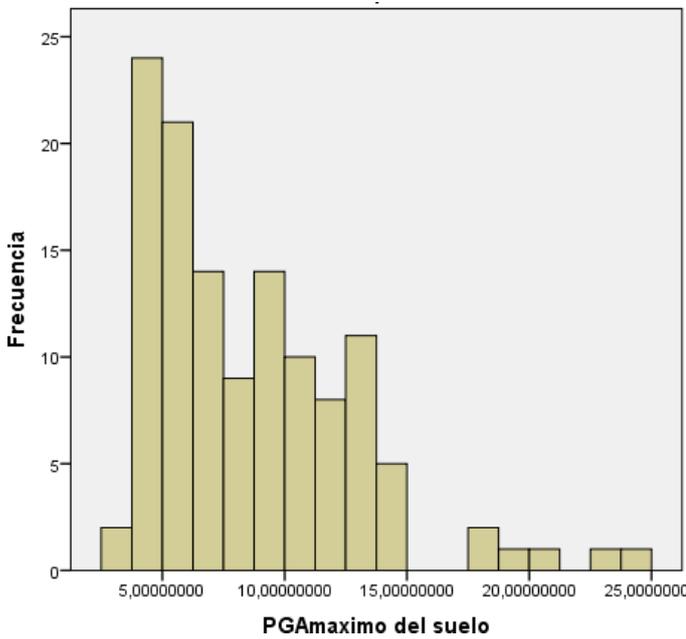


Figura D.8: Histograma para IMM leve (III)
 Fuente: propia (SPSS)

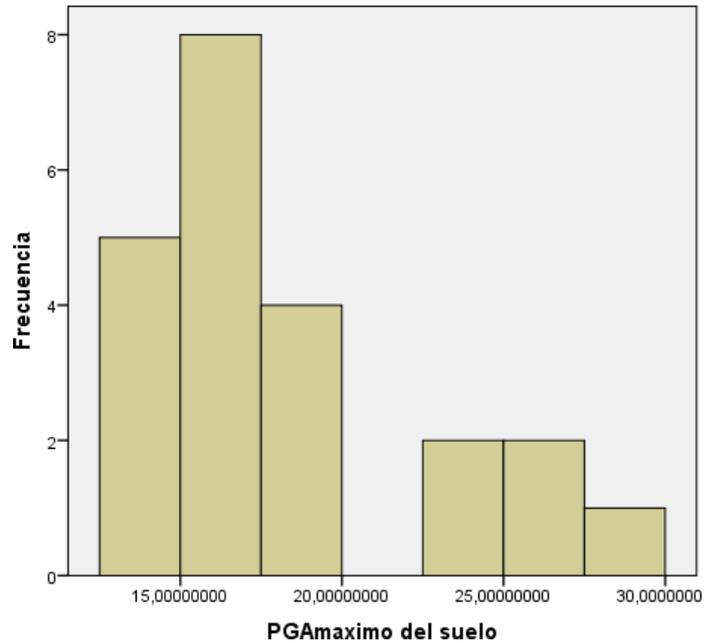


Figura D.9: Histograma para IMM moderado (IV)
 Fuente: propia (SPSS)

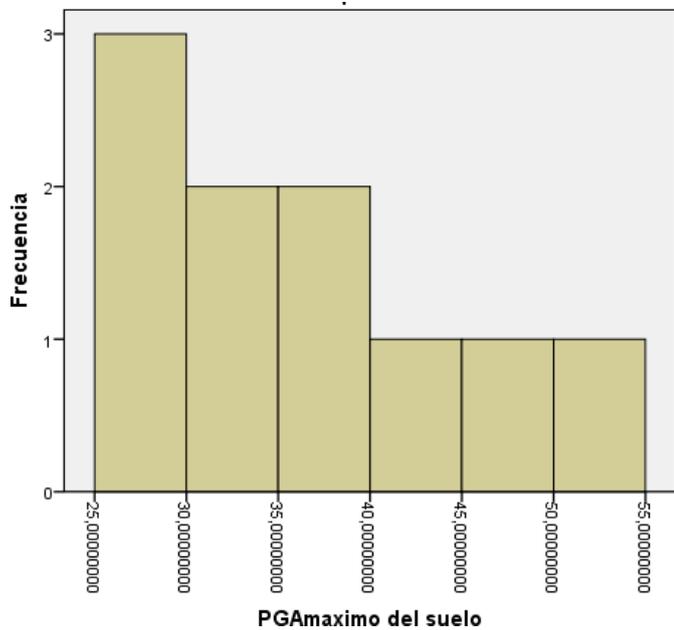


Figura D.10: Histograma para IMM poco fuerte (V)
 Fuente: propia (SPSS)

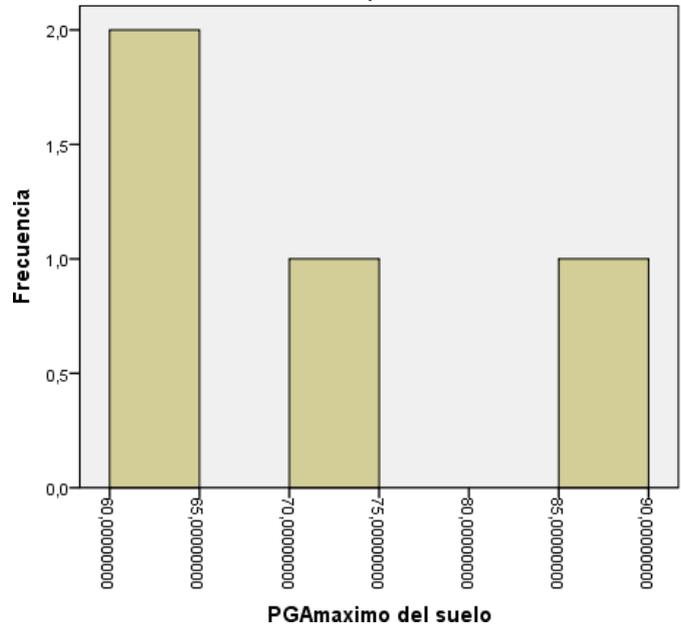


Figura D.11: Histograma para IMM fuerte (VI)
 Fuente: propia (SPSS)

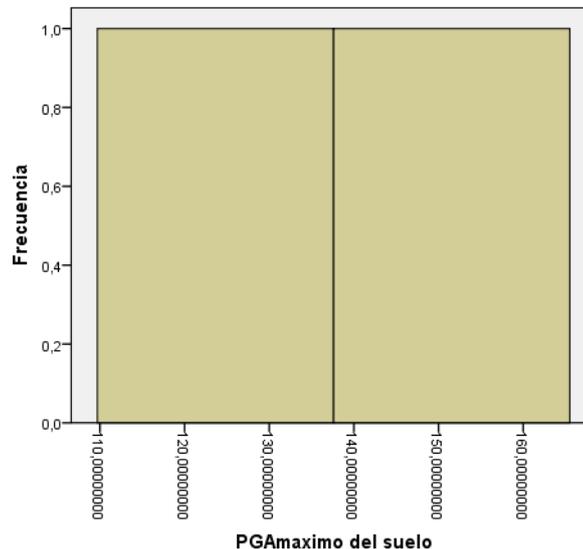


Figura D.12: Histograma para IMM muy fuerte (VII)
Fuente: propia (SPSS)

INFERENCIA ESTADISTICA:

a. PRUEBAS DE NORMALIDAD DE DATOS

Lo primero a saber es que Test de Normalidad se tendrá en cuenta en el software Paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS) para ellos se hará uso del método que lo amerite para ello se tendrá en cuenta previamente lo siguiente:

- Datos de Análisis < 50... Shapiro-Wilk
- Datos de Análisis > 50... Kolmogorov Smirnov

Para el presente estudio el parámetro instrumental se está trabajando en 2 distintos grupos que son el PGA max y el PGA media, los mismos que se relacionan con la otra variable que es la IMM, por lo que para determinar si existe una distribución normal de cada grupo de datos de PGA con respecto a cada escala de intensidad de Mercalli será necesario emplear las pruebas de normalidad de datos para los 2 grupos (PGAmáx y PGA media). La Test de Normalidad que se tendrá en cuenta en el software será Shapiro Wilk y Kolmogorov Smirnov ya que la cantidad

de datos de PGA para las primeras 4 escalas de la IMM son mayores a 50 y las escalas de 5 al 7 son menores a 50.

1. CORRELACION PGAm_{max} – IMM

Grupo: IMM I (Muy débil)

Tabla D.2: Prueba de normalidad – PGAm_{max}-grupo(IMM I)

| Pruebas de normalidad | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|-----|------|--------------|-----|------|
| | Intensidad de Mercalli | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| PGA max del suelo | Muy debil | ,083 | 308 | ,000 | ,938 | 308 | ,000 |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

El valor promedio (Sig.) = 0.001 es menor a 0.05, por lo tanto, los datos no provienen de una distribución normal.

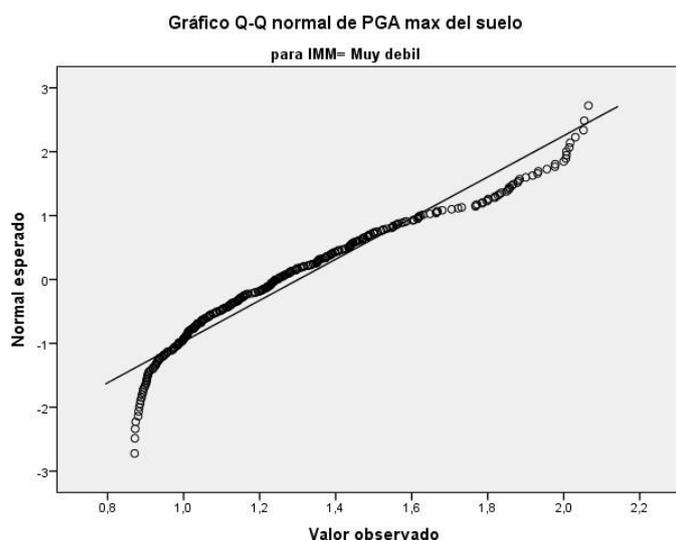


Figura D.13: Q-Q normal de PGA max del suelo para IMM=Muy débil

Fuente:(Elaboración propia en SPSS 2018)

Mediante este gráfico se demuestra la no normalidad de los datos puesto que los

puntos extremos se encuentran alejados de la recta.

Grupo: IMM II (Débil)

Tabla D.3: Prueba de normalidad – PGAmáx-grupo(IMM II)

| | Intensidad de Mercalli | Pruebas de normalidad | | | Shapiro-Wilk | | |
|-------------------|---------------------------|--|-----|------|--------------|-----|------|
| | | Kolmogorov-Smirnov ^a Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| PGA máx del suelo | Débil | ,155 | 213 | ,000 | ,829 | 213 | ,000 |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

El valor promedio (Sig.)= 0.001 es menor a 0.05, por lo tanto, los datos no provienen de una distribución normal.

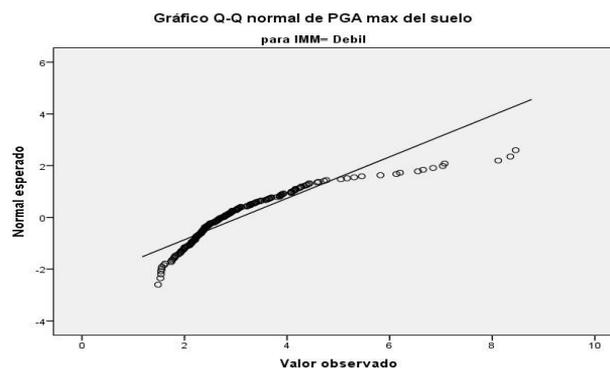


Figura D.1: Q-Q normal de Resistencia
Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018)

Mediante este gráfico se demuestra la no normalidad de los datos puesto que los puntos extremos se encuentran alejados de la recta.

Grupo: IMM III (Leve)

Tabla D.4: Prueba de normalidad – PGAmáx-grupo (IMM III)

| | | Pruebas de normalidad | | | | | |
|-------------------|------------------------|---------------------------------|-----|------|--------------|-----|------|
| | | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Intensidad de Mercalli | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| PGA máx del suelo | Leve | ,126 | 124 | ,000 | ,891 | 124 | ,000 |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

El valor promedio (Sig.) = 0.001 es menor a 0.05, por lo tanto, los datos no provienen de una distribución normal.

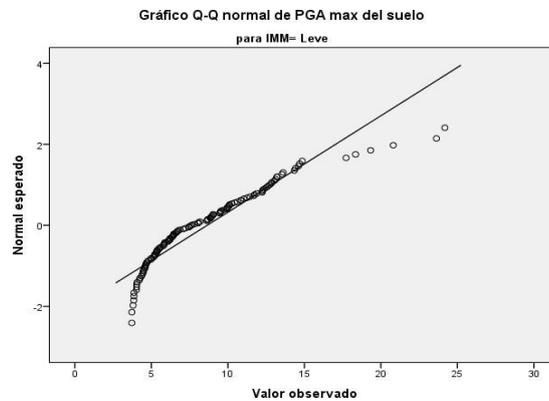


Figura D.15: Q-Q normal de Resistencia
Fuente: (Elaboración propia en SPSS 2018)

Mediante este gráfico se demuestra la no normalidad de los datos puesto que los puntos extremos se encuentran alejados de la recta.

Grupo: IMM IV (Moderado)

Tabla D.51: Prueba de normalidad – PGAmáx-grupo(IMM IV)

| Pruebas de normalidad | | | | | | | |
|-----------------------|---------------------------------|-------------|----|--------------|-------------|----|------|
| Intensidad de | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | | |
| | Mercalli | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| PGA máx del suelo | Moderado | ,205 | 22 | ,016 | ,855 | 22 | ,004 |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

El valor promedio (Sig.) = 0.016 es menor a 0.05, por lo tanto, los datos no provienen de una distribución normal.

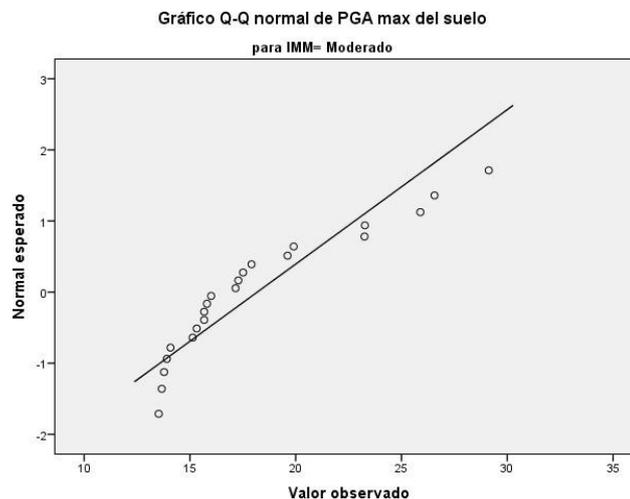


Figura D.16: Q-Q normal de Resistencia PGA para IMM=Moderado
Fuente: (Elaboración propia en SPSS 2018)

Mediante este gráfico se demuestra la normalidad de los datos puesto que los puntos se encuentran cercanos a la recta.

Grupo: IMM V (Poco fuerte)

Tabla D.62: Prueba de normalidad – PGAmáx-grupo(IMM V)

| Pruebas de normalidad | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------------|----|--------------|-------------|----|------|
| Intensidad de | Kolmogorov-Smirnov - | | | Shapiro-Wilk | | | |
| | Mercalli | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| PGA máx del suelo | Poco fuerte | ,151 | 10 | ,200* | ,910 | 10 | ,284 |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

El valor promedio (Sig.) = 0.200 es mayor a 0.05, por lo tanto, los datos provienen de una distribución normal.

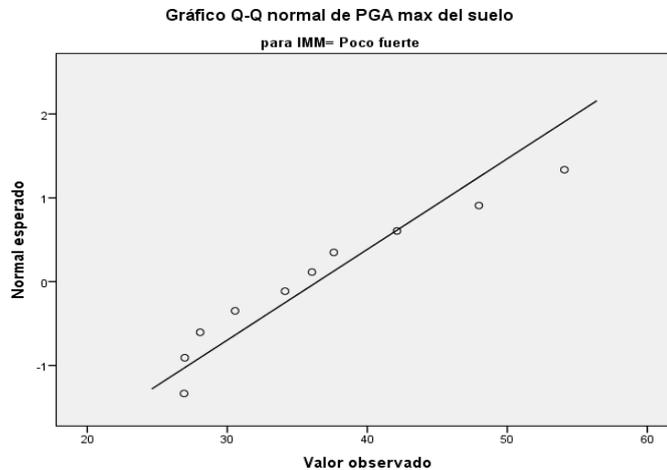


Figura D.17: Q-Q normal de Resistencia PGA para IMM=Poco fuerte
Fuente: (Elaboración propia en SPSS 2018)

Mediante este gráfico se demuestra la normalidad de los datos puesto que los puntos se encuentran cercanos a la recta.

Grupo: IMM VI (Fuerte)

Tabla D.7: Prueba de normalidad – PGAmáx-grupo (IMM VI)

| Pruebas de normalidad | | | | | | | |
|-----------------------|------------------------|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
| | Intensidad de Mercalli | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | k |
| PGA max del suelo | Fuerte | ,234 | 4 | . | ,910 | 4 | ,480 |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

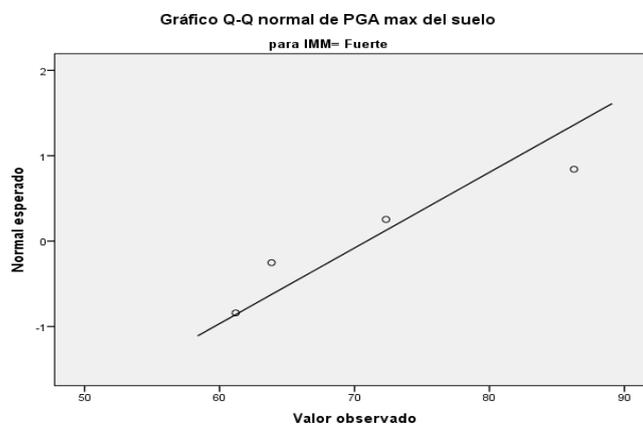


Figura D.18: Q-Q normal de Resistencia PGA para IMM=Poco fuerte

Fuente: (Elaboración propia en SPSS 2018)

Mediante este gráfico se demuestra la no normalidad de los datos puesto que los puntos se encuentran lejanos a la recta.

Grupo: IMM VII (Muy fuerte)

Tabla D.8: Prueba de normalidad – PGAmáx-grupo (IMM VII)

| Pruebas de normalidad | | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------|------|------|--------------|----|------|--|
| Intensidad de Mercalli | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. | |
| PGA máx del suelo | Muy fuerte | ,260 | 2 | . | | | |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

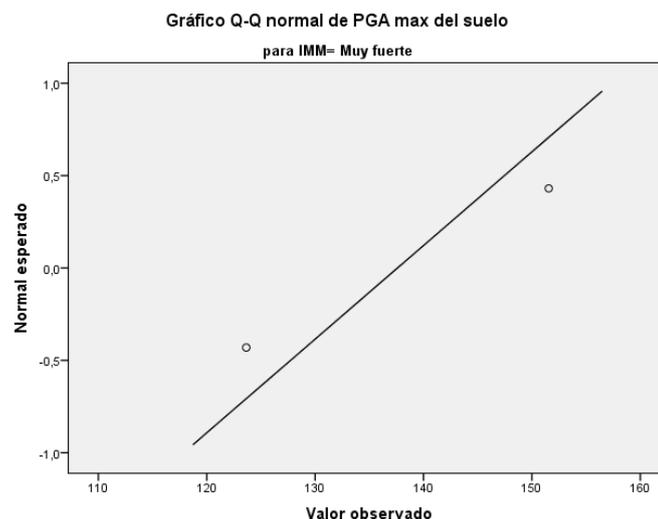


Figura D.192: Q-Q normal de Resistencia
Fuente: (Elaboración propia en SPSS 2018)

Mediante este gráfico se demuestra la normalidad de los datos puesto que los puntos se encuentran cercanos a la recta.

b. ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

4. CORRELACION PGAmáxima – IMM

A. PGAmáxima – IMM (I-VII)

Tabla D.16: Resumen de parámetros del modelo de regresión

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Estadísticas de cambios | | | | |
|--------|-------------------|---------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------|-----|-----|---------------------|
| | | | | | Cambio de cuadrado de R | Cambio en F | df1 | df2 | Sig. Cambio en F |
| 1 | ,939 ^a | ,881 | ,881 | ,352 | ,881 | 5063,928 | 1 | 681 | ,000 |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

1. **Bondad de ajuste**

R^2 expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que esta explicada por la variable independiente. Es el coeficiente de determinación. En la correlacion a estudiar en la presente tesis R^2 toma un valor alto (su máximo es 1)

,y R^2 indica que el 88.1% de la variación de la Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) esta explicada por el valor que tenga la aceleración máxima absoluta del suelo(PGAmax).

2. **Coefficiente de correlación múltiple (R)**

La primera información que obtenemos se refiere al coeficiente de correlacion múltiple R. Puesto que solo tenemos dos variables, el coeficiente de correlacion múltiple no es otra cosa que el valor absoluto del **coeficiente de correlacion de Pearson** entre estas dos variables.

$$R = 0.939$$

Interpretación:

- Si $r = 0$ No existe correlacion entre las variables.
- Si $0.00 < r < +-0.20$ existe correlacion no significativa.
- Si $+ - 0.20 < r < +- 0.40$ existe una correlacion baja.
- Si $+ -0.40 < r < +-0.70$ existe una correlacion significativa.
- Si $+ -0.70 < r < +-1.00$ existe un alto grado de correlacion.
- Si $r = 1$ existe una correlacion perfecta positiva.
- Si $r = -1$ existe una correlacion perfecta negativa.

En nuestro caso el valor de “R” es de 0.939, lo que nos expresa que existe un alto grado de correlacion.

3. R cuadrado corregida

Es una corrección a la baja de R² que se basa en el número de casos y de variables independientes. En una situación con muchos casos y pocas variables independientes, R² no puede sufrir algún cambio. En tal caso, el valor de R² corregida será prácticamente igual que el de R². En la presente tesis como hay muchos casos y una sola variable, R² corregida es casi igual.

En este caso es igual al R² que es 0.881.

4. El error típico de la estimación

Este error típico representa una medida de la parte de variabilidad de la variable dependiente que no es explicada por la recta de regresión. En general, cuanto mejor es el ajuste, más pequeño es este error típico.

5. Prueba de hipótesis

En esta tabla ANOVA nos informa sobre si existe o no relación significativa entre las variables. El estadístico F permite contrastar la hipótesis nula de que el valor poblacional de R es cero, lo cual, en el modelo de regresión simple, equivale a contrastar la hipótesis de que la pendiente de la recta de regresión vale cero.

El nivel crítico (Sig.) indica que, si suponemos que el valor poblacional de R es cero, es improbable (probabilidad=0.001) que R, en esta muestra, tome el valor 0.939. Lo cual implica que R es mayor que cero y que, en consecuencia, ambas variables están linealmente relacionadas. Es decir:

Tabla D26:

Tabla D.17: Prueba de hipótesis con ANOVA

| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|-----------|-------------------|-----|------------------|----------|-------------------|
| 1 | Regresión | 629,071 | 1 | 629,071 | 5063,928 | ,000 ^b |
| | Residuo | 84,598 | 681 | ,124 | | |
| | Total | 713,669 | 682 | | | |

Fuente: Propia en SPSS

H0: R = 0

H1: R > 0

Como $p= 0.001 < 0.05$ rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis que se propuso anteriormente, por lo que se concluye que las variables están linealmente relacionadas.

6. Ecuación de regresión

Tabla D.18: Coeficientes de la ecuacion de regresión lineal

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|--------|------|
| | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 (Constante) | ,862 | ,020 | | 43,903 | ,000 |
| PGAmax del suelo | 2,353 | ,033 | ,939 | 71,161 | ,000 |

Fuente: Propia en SPSS

La tabla muestra los coeficientes de la recta de regresión.

El coeficiente correspondiente a **Constante** es el origen de la recta de regresión

$$a=0.862$$

El coeficiente correspondiente a **PGAmax del suelo** es la pendiente de la recta de regresión $b= 2.353$ indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente (Intensidad de Mercalli) por cada unidad de cambio de la variable independiente (PGAmax del suelo).

Según esto, la ecuación regresión queda de la siguiente manera:

$$\text{Intensidad de Mercalli Modificada} = 0.862 + 2.353 \cdot \log(\text{Aceleración máxima absoluta del suelo})$$

B. PGAmaxima – IMM (I-IV)

Ecuación de regresión

Tabla D.19: Coeficientes de la ecuacion de regresión lineal para IMM(I-IV)

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|---------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|--------|------|
| | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 (Constante) | ,910 | ,019 | | 47,049 | ,000 |

| | | | | | |
|---------------------|-------|------|------|--------|------|
| PGAmáximo del suelo | 2,193 | ,036 | ,921 | 61,107 | ,000 |
|---------------------|-------|------|------|--------|------|

Fuente: Propia en

La tabla muestra los coeficientes de la recta de regresión.

El coeficiente correspondiente a **Constante** es el origen de la recta de regresión

$$a=0.910$$

El coeficiente correspondiente a **PGAmáx del suelo** es la pendiente de la recta de regresión **b= 2.193** indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente (Intensidad de Mercalli) por cada unidad de cambio de la variable independiente (PGAmáx del suelo).

Según esto, la ecuación regresión queda de la siguiente manera:

$$\text{Intensidad de Mercalli Modificada (I-IV)} = 0.910 + 2.193 \cdot \log(\text{Aceleración máxima absoluta del suelo})$$

Ecuación de regresión

Tabla D.20: Coeficientes de la ecuación de regresión lineal para IMM(V-VII)

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|-------|------|
| | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 (Constante) | ,569 | ,548 | | 1,039 | ,317 |
| PGAmáx del suelo | 2,905 | ,320 | ,924 | 9,074 | ,000 |

Fuente: Propia en SPSS

La tabla muestra los coeficientes de la recta de regresión.

El coeficiente correspondiente a **Constante** es el origen de la recta de regresión

$$a=0.569$$

El coeficiente correspondiente a **PGAmáx del suelo** es la pendiente de la recta de regresión **b= 2.905** indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente (Intensidad de Mercalli) por cada unidad de cambio de la variable independiente (PGAmáx del suelo).

Según esto, la ecuación regresión queda de la siguiente manera:

**Intensidad de Mercalli Modificada (V-VII) = 0.569
 + 2.905.log (Aceleración máxima absoluta del**

5. CORRELACION PGAmédia – IMM

A. PGAmédia – IMM (I-VII)

Tabla D.21: Resumen de parámetros del modelo de regresión

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado ajustado | Error estándar de la estimación | Estadísticas de cambios | | | | |
|--------|-------------------|-------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------|-----|-----|------------------|
| | | | | | Cambio de cuadrado de R | Cambio en F | df1 | df2 | Sig. Cambio en F |
| 1 | ,933 ^a | ,871 | ,871 | ,368 | ,871 | 4596,595 | 1 | 681 | ,000 |

Fuente: Elaboración propia en SPSS 2018

1. Bondad de ajuste

R^2 expresa la proporción de varianza de la variable dependiente que esta explicada por la variable independiente. Es el coeficiente de determinación. En la correlación a estudiar en la presente tesis R^2 toma un valor alto (su máximo es 1) ,y R^2 indica que el 87.1% de la variación de la Intensidad de Mercalli Modificada (IMM) esta explicada por el valor que tenga la aceleración máxima absoluta del suelo(PGAmáx).

2. Coeficiente de correlación múltiple (R)

La primera información que obtenemos se refiere al coeficiente de correlación múltiple R. Puesto que solo tenemos dos variables, el coeficiente de correlación múltiple no es otra cosa que el valor absoluto del **coeficiente de correlación de Pearson** entre estas dos variables.

$R = 0.933$

Interpretación:

- Si $r = 0$ No existe correlación entre las variables.
- Si $0.00 < r < +-0.20$ existe correlación no significativa.
- Si $+ - 0.20 < r < +- 0.40$ existe una correlación baja.
- Si $+ -0.40 < r < +-0.70$ existe una correlacion significativa.
- Si $+ -0.70 < r < +-1.00$ existe un alto grado de correlacion.
- Si $r = 1$ existe una correlacion perfecta positiva.

- Si $r = -1$ existe una correlacion perfecta negativa.

En nuestro caso el valor de “R” es de 0.933, lo que nos expresa que existe un alto grado de correlacion.

3. R cuadrado corregida

Es una corrección a la baja de R² que se basa en el numero de casos y de variables independientes. En una situación con muchos casos y pocas variables independientes, R² no puede sufrir algún cambio. En tal caso, el valor de R² corregida será prácticamente igual que el de R². En la presente tesis como hay muchos casos y una sola variable, R² corregida es casi igual.

En este caso es igual al R² que es 0.871.

4. El error típico de la estimación

Este error típico representa una medida de la parte de variabilidad de la variable dependiente que no es explicada por la recta de regresión. En general, cuanto mejor es el ajuste, más pequeño es este error típico.

5. Prueba de hipótesis

En esta tabla ANOVA nos informa sobre si existe o no relación significativa entre las variables. El estadístico F permite contrastar la hipótesis nula de que el valor poblacional de R es cero, lo cual, en el modelo de regresión simple, equivale a contrastar la hipótesis de que la pendiente de la recta de regresión vale cero.

El nivel critico (Sig.) indica que, si suponemos que el valor poblacional de R es cero, es improbable (probabilidad=0.001) que R, en esta muestra, tome el valor 0.933. Lo cual implica que R es mayor que cero y que, en consecuencia, ambas variables están linealmente relacionadas. Es decir:

Tabla D.22: Prueba de hipótesis con ANOVA

| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|-----------|-------------------|-----|------------------|----------|-------------------|
| 1 | Regresión | 621,580 | 1 | 621,580 | 4596,595 | ,000 ^b |
| | Residuo | 92,089 | 681 | ,135 | | |
| | Total | 713,669 | 682 | | | |

Fuente: Propia en SPSS

H0: R = 0

H1: R > 0

Como $p = 0.001 < 0.05$ rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis que se propuso anteriormente, por lo que se concluye que las variables están linealmente relacionadas.

6. Ecuación de regresión

Tabla D.23: Coeficientes de la ecuación de regresión lineal para IMM(I-IV)

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|---------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|--------|------|
| | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 (Constante) | 1,085 | ,018 | | 59,335 | ,000 |
| PGAmmedia del suelo | 2,356 | ,035 | ,933 | 67,798 | ,000 |

Fuente: Propia en SPSS

La tabla muestra los coeficientes de la recta de regresión.

El coeficiente correspondiente a **Constante** es el origen de la recta de regresión

$a = 1.085$

El coeficiente correspondiente a **PGAmmax del suelo** es la pendiente de la recta de regresión $b = 2.356$ indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente (Intensidad de Mercalli) por cada unidad de cambio de la variable independiente (PGAmmedia del suelo).

Según esto, la ecuación de regresión queda de la siguiente manera:

$$\text{Intensidad de Mercalli Modificada} = 1.085 + 2.356 \cdot \log(\text{Aceleración máxima media del suelo})$$

B. PGAmmedia – IMM (I-IV)

Ecuación de regresión

Tabla D.24: Coeficientes de la ecuación de regresión lineal para IMM(I-IV)

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|---------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|--------|------|
| | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 (Constante) | 1,119 | ,018 | | 62,727 | ,000 |
| PGA media del suelo | 2,195 | ,038 | ,913 | 57,848 | ,000 |

Fuente: Propia en SPSS

El coeficiente correspondiente a **Constante** es el origen de la recta de regresión

$$a=1.119$$

El coeficiente correspondiente a **PGAmáx del suelo** es la pendiente de la recta de regresión **b= 2.195** indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente (Intensidad de Mercalli) por cada unidad de cambio de la variable independiente (PGAméa del suelo).

Según esto, la ecuación regresión queda de la siguiente manera:

**Intensidad de Mercalli Modificada (I-IV) = 1.119 +
 2.195.log
 (Aceleración máxima media del suelo)**

A. PGAméa – IMM (IV-VII)

Ecuación de regresión

Tabla D.25: Coeficientes de la ecuación de regresión lineal para IMM(IV-VII)

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|-------|------|
| | B | Error estándar | Beta | | |
| 1 (Constante) | 1,434 | ,529 | | 2,710 | ,017 |
| PGAméa del suelo | 2,547 | ,328 | ,901 | 7,776 | ,000 |

Fuente: Propia en SPSS

La tabla muestra los coeficientes de la recta de regresión.

El coeficiente correspondiente a **Constante** es el origen de la recta de regresión

$$a=1.434$$

El coeficiente correspondiente a **PGAméa del suelo** es la pendiente de la recta de regresión **b= 2.547** indica el cambio medio que corresponde a la variable dependiente (Intensidad de Mercalli) por cada unidad de cambio de la variable independiente (PGAméa del suelo).

Según esto, la ecuación regresión queda de la siguiente manera:

**Intensidad de Mercalli Modificada (V-VII) =
 1.434 +
 2.547.log (Aceleración máxima media del
 suelo)**