

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE SISMOS EMPLEANDO
LÓGICA DIFUSA, JAÉN**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Autores : Bach. Euler Javier Caballero Flores Bach.

Marco Antonio Mayhuire Fernández

Asesores

: Mg. Lenin Quiñones Huatangari

Dr. Manuel Emilio Milla Pino

JAÉN – PERÚ, ABRIL, 2021



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 12 de abril del año 2021, siendo las 17:00 horas, se reunieron de manera virtual los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Zadith Nancy Garrido Campaña

Secretario: Mg. José Luis Piedra Tineo

Vocal: Mg. Lenin Franchescoleth Núñez Pintado, para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

ESTIMACIÓN DE LA INTENSIDAD DE SISMOS EMPLEANDO LÓGICA DIFUSA, JAÉN,
presentado por los estudiantes **Euler Javier Caballero Flores y Marco Antonio Mayhuire Fernández**, de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |


Siendo las 18:20 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.



Presidente



Secretario



Vocal

Document Information

Analyzed document INFORME TESIS-13_10_2020.docx (D81784393)
Submitted 10/15/2020 6:50:00 PM
Submitted by leninUNJ
Submitter email lenin.quinones@unj.edu.pe
Similarity 10%
Analysis address lenin.quinones.UNJ@analysis.arkund.com

Sources included in the report

Universidad Nacional de Jaén / Tantarico Fernandez Elmer Antonio. - CURSO TALLER DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.II - ...

SA Document Tantarico Fernandez Elmer Antonio. - CURSO TALLER DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA.II - ... (D76113097)  6
Submitted by: christiaan_apaza@unj.edu.pe
Receiver: christiaan_apaza.UNJ@analysis.arkund.com

Handwritten signature and scribbles

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	X
ABSTRACT.....	XI
I. INTRODUCCIÓN	12
II. OBJETIVOS	20
2.1. Objetivo general	20
2.2. Objetivos específicos	20
III. MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.1. Población, Muestra y Muestreo	21
3.2. Variables de estudio.	21
3.2.1. Variables Dependientes	21
3.2.2. Variables Independientes	21
3.3. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos.....	21
3.3.1. Método a usar: Inductivo – Analítico, relacionado a la lógica difusa.	21
3.3.2. Técnicas y/o instrumentos de recolección de información:	22
3.3.3. Procedimientos para la obtención del modelo matemático:	23
3.3.4. Criterios de validación del modelo	24
3.3.5. Instrumentos:.....	26
3.4. Análisis de datos.....	26
IV. RESULTADOS.....	27
4.1. Caracterizar los registros acelerográficos desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.....	27
4.2. Identificar modelos que permiten estimar la intensidad de sismos.	29
4.3. Elaboración del modelo y selección de variables	31
4.3.1. Proceso de modelado con paquete fuzzy	31
4.3.1.1. Variables independientes	32

4.3.1.2. Variables dependientes	38
4.3.2. Evaluación de reglas	40
4.3.3. Proceso de defuzzificación	46
4.3.3.1. Agregando parámetros de entrada	46
4.4. Validar el modelo mediante análisis de residuos.	85
4.5. Calibración y verificación del modelo.	89
V. DISCUSIÓN	95
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
6.1. CONCLUSIONES	96
6.2. RECOMENDACIONES	97
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
DEDICATORIA	99
AGRADECIMIENTO	101
ANEXOS	102
Anexo 1: Base de datos de registros sísmicos empleados desde el 30 de enero del 2017, hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén (Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO, 2020).	102
Anexo 2: Base de datos del 70 % de registros sísmicos empleados desde el 30 de enero del 2017, hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén (Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO, 2020).	105
Anexo 3: Base de datos del 30 % de registros sísmicos empleados desde el 30 de enero del 2017, hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén (Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO, 2020).	107
Anexo 4: Base de datos de registros sísmicos con intensidad “cero” empleados desde el 30 de enero del 2017, hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén (Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO, 2020).	108
Anexo 5: Normalización de datos.....	110

Anexo 6: Valores normalizados para la variable "Magnitud", con un mínimo de: Magnitud 1, hasta un máximo de Magnitud 10.	111
Anexo 7: Valores normalizados para la variable " Hipocentro ", con un valor mínimo de 0 km, y un valor máximo de 400 km.	113
Anexo 8: Valores normalizados, para la variable " Aceleración pico del suelo", con un valor mínimo de 0 cm/s ² , hasta un valor máximo de 500 cm/s ²	120
Anexo 9: Valores normalizados para la variable "Intensidad" según la escala de Mercalli Modificado, con un valor mínimo de intensidad "I", hasta un valor máximo de intensidad "XII".	128
Anexo 10: Base de datos con valores normalizados del 70 % de registros sísmicos, empleados desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, registrado por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.	129
Anexo 11: Base de datos con valores normalizados del 30 % de registros sísmicos, empleados desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, registrado por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de Intensidad de Mercalli Modificada	14
Tabla 2: Tipos de mampostería	16
Tabla 3: Cuadro de variables a usar en el proyecto.....	31
Tabla 4: Datos difusos de la variable "Magnitud".....	32
Tabla 5: Datos difusos de la variable "Hipocentro".	35
Tabla 6: Datos difusos de la variable "Aceleración pico del suelo".....	37
Tabla 7: Cuadro de valores difusos de la variable "Intensidad".....	39
Tabla 8: Reglas difusas.....	41
Tabla 9: Valores de intensidad sísmica normalizada, con el 70 % de sismos empleados, según el Anexo 10.	83
Tabla 10: Valores de intensidad sísmica normalizada, con el 30 % de sismos empleados, según el Anexo 11.	86
Tabla 11: Resumen de valores obtenidos por los diferentes métodos de validación, empleando el 70 % de registros sísmicos.	89
Tabla 12: Comparación de valores de grado de intensidad obtenidos por el modelo realizado y los valores brindados por el 70 % de registros sísmicos.....	91
Tabla 13: Resumen de valores obtenidos por los diferentes métodos de validación, empleando el 30 % de registros sísmicos.	92
Tabla 14: Comparación de valores de grado de intensidad obtenidos por el modelo realizado y los valores brindados por el 30 % de registros sísmicos.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Funciones de membresía para conjuntos difusos.....	18
Figura 2:Esquema de modelamiento empleando lógica difusa.	19
Figura 3: Esquema de los pasos a seguir para obtener el modelo matemático.....	23
Figura 4: Cantidad de sismos registrados desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.....	27
Figura 5: Cantidad de registros acelerográficos empleados para elaboración de modelo, según clasificación en porcentajes, desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, registrados por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.-.	28
Figura 6: Esquema de modelo difuso.	31
Figura 7: Gráfica de valores difusos de la variable “Magnitud”.	32
Figura 8:Gráfica de valores difusos de la variable “Hipocentro”.....	34
Figura 9:Gráfica de valores difusos de la variable “Aceleración pico del suelo”.	36
Figura 10:Gráfica de valores difusos de la variable “Intensidad de sismo”.....	38
Figura 12:Sismo del 18/10/2017 con Magnitud: 3.9 ML, Hipocentro:52 km, Aceleración pico del suelo: 0.14 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.322, Hipocentro: 0.130, Aceleración pico del suelo: 0.00028.....	47
Figura 13:Sismo del 10/08/2019 con Magnitud: 4.10 ML, Hipocentro:28 km, Aceleración pico del suelo: 19.98 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.344, Hipocentro: 0.070, Aceleración pico del suelo: 0.0393.....	48
Figura 14:Sismo del 19/01/2019 con Magnitud: 4.50 ML, Hipocentro:56 km, Aceleración pico del suelo: 0.13 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud 0.389, Hipocentro: 0.140, Aceleración pico del suelo: 0.00026.....	49
Figura 15:Sismo del 05/02/2019 con Magnitud: 4.9 ML, Hipocentro:94 km, Aceleración pico del suelo: 0.23 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.433, Hipocentro: 0.240, Aceleración pico del suelo: 0.00046.....	50
Figura 16:Sismo del 29/05/2019 con Magnitud: 5.0 ML, Hipocentro:140 km, Aceleración pico del suelo: 0.54 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.444, Hipocentro: 0.350, Aceleración pico del suelo: 0.00108.....	51

Figura 17 :Sismo del 18/11/2017 con Magnitud: 6.2 ML, Hipocentro:46 km, Aceleración pico del suelo: 0.16 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.578, Hipocentro: 0.115, Aceleración pico del suelo: 0.00032.....	52
Figura 18:Sismo del 26/04/2020 con Magnitud: 4.0 ML, Hipocentro:23 km, Aceleración pico del suelo: 0.14 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.333, Hipocentro: 0.058, Aceleración pico del suelo: 0.00028.....	53
Figura 19:Sismo del 23/10/2018 con Magnitud: 3.5 ML, Hipocentro:37 km, Aceleración pico del suelo: 0.9 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.278, Hipocentro: 0.093, Aceleración pico del suelo: 0.00180.....	54
Figura 20:Sismo del 08/05/2020 con Magnitud: 4.7 ML, Hipocentro:39 km, Aceleración pico del suelo: 0.39 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.411, Hipocentro: 0.098, Aceleración pico del suelo: 0.00078.....	55
Figura 21:Sismo del 17/04/2019 con Magnitud: 5.5 ML, Hipocentro: 85 km, Aceleración pico del suelo: 51.68 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.500, Hipocentro: 0.213, Aceleración pico del suelo: 0.10336.....	56
Figura 22:Sismo del 02/04/2020 con Magnitud: 4.6 ML, Hipocentro: 42 km, Aceleración pico del suelo: 0.34 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.400, Hipocentro: 0.105, Aceleración pico del suelo: 0.00068.....	57
Figura 23:Sismo del 13/04/2020 con Magnitud: 4.1 ML, Hipocentro: 42 km, Aceleración pico del suelo: 3.06 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.344, Hipocentro: 0.105, Aceleración pico del suelo: 0.00612.....	58
Figura 24:Sismo del 03/01/2020 con Magnitud: 5.0 ML, Hipocentro: 48 km, Aceleración pico del suelo: 0.43 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.444, Hipocentro: 0.120, Aceleración pico del suelo: 0.00086.....	59
Figura 25:Sismo del 07/06/2020 con Magnitud: 5.9 ML, Hipocentro: 126 km, Aceleración pico del suelo: 1.24 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.544, Hipocentro: 0.315, Aceleración pico del suelo: 0.00248.	60
Figura 26:Sismo del 06/12/2017 con Magnitud: 4.7 ML, Hipocentro: 58 km, Aceleración pico del suelo: 0.27 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.411, Hipocentro: 0.145, Aceleración pico del suelo: 0.00054.....	61

Figura 27:Sismo del 22/02/2019 con Magnitud: 7.7 ML, Hipocentro: 113 km, Aceleración pico del suelo: 21.69 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.744, Hipocentro: 0.283, Aceleración pico del suelo: 0.04338.	62
Figura 28:Sismo del 20/03/2019 con Magnitud: 5.5 ML, Hipocentro: 88 km, Aceleración pico del suelo: 0.43 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.500, Hipocentro: 0.220, Aceleración pico del suelo: 0.00086.....	63
Figura 29:Sismo del 10/03/2018 con Magnitud: 4.1 ML, Hipocentro: 35 km, Aceleración pico del suelo: 0.16 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.344, Hipocentro: 0.088, Aceleración pico del suelo: 0.00032.....	64
Figura 30:Sismo del 06/03/2019 con Magnitud: 5.4 ML, Hipocentro: 18 km, Aceleración pico del suelo: 0.43 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4849 Hipocentro: 0.045, Aceleración pico del suelo: 0.00300.....	65
Figura 31:Sismo del 09/03/2020 con Magnitud: 4.6 ML, Hipocentro: 66 km, Aceleración pico del suelo: 0.80 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.400, Hipocentro: 0.165, Aceleración pico del suelo: 0.0016.....	66
Figura 32:Sismo del 08/01/2020 con Magnitud: 6.3 ML, Hipocentro: 15 km, Aceleración pico del suelo: 0.27 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.589, Hipocentro: 0.038, Aceleración pico del suelo: 0.00054.....	67
Figura 33:Sismo del 19/07/2020 con Magnitud: 4.3 ML, Hipocentro: 12 km, Aceleración pico del suelo: 0.15 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.367, Hipocentro: 0.030, Aceleración pico del suelo: 0.00030.....	68
Figura 34:Sismo del 22/05/2020 con Magnitud: 3.7 ML, Hipocentro: 19 km, Aceleración pico del suelo: 0.99 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.300, Hipocentro: 0.048, Aceleración pico del suelo: 0.00198.....	69
Figura 35:Sismo del 01/09/2018 con Magnitud: 4.4 ML, Hipocentro: 20 km, Aceleración pico del suelo: 0.17 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.378, Hipocentro: 0.050, Aceleración pico del suelo: 0.00034.....	70
Figura 36:Sismo del 03/01/2020 con Magnitud: 8.0 Mw, Hipocentro: 135 km, Aceleración pico del suelo: 32.6 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.778, Hipocentro: 0.338, Aceleración pico del suelo: 0.06520.	71

Figura 37:Sismo del 08/02/2020 con Magnitud: 4.1 ML, Hipocentro: 17 km, Aceleración pico del suelo: 0.12 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.344, Hipocentro: 0.043, Aceleración pico del suelo: 0.00024.....	72
Figura 38:Sismo del 11/08/2017 con Magnitud: 4.2 ML, Hipocentro: 33 km, Aceleración pico del suelo: 0.26 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.3556, Hipocentro: 0.0825, Aceleración pico del suelo: 0.00052.....	73
Figura 39:Sismo del 05/06/2017 con Magnitud: 6.2 ML, Hipocentro: 18 km, Aceleración pico del suelo: 2.37 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.5778, Hipocentro: 0.0450, Aceleración pico del suelo: 0.00474.....	74
Figura 40:Sismo del 06/09/2018 con Magnitud: 6.4 ML, Hipocentro: 80 km, Aceleración pico del suelo: 2.43 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.600, Hipocentro: 0.200, Aceleración pico del suelo: 0.00486.....	75
Figura 41:Sismo del 03/01/2019 con Magnitud: 5.0 ML, Hipocentro: 19 km, Aceleración pico del suelo: 0.90 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4444, Hipocentro: 0.475, Aceleración pico del suelo: 0.00180.....	76
Figura 42:Sismo del 15/01/2019 con Magnitud: 5.3 ML, Hipocentro: 24 km, Aceleración pico del suelo: 0.22cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4778, Hipocentro: 0.060, Aceleración pico del suelo: 0.00044.....	77
Figura 43:Sismo del 04/02/2019 con Magnitud: 5.9 ML, Hipocentro: 73 km, Aceleración pico del suelo: 1.41 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.5444, Hipocentro: 0.1825, Aceleración pico del suelo: 0.00282.....	78
Figura 44:Sismo del 22/02/2019 con Magnitud: 5.7 ML, Hipocentro: 87 km, Aceleración pico del suelo: 0.58 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.5222, Hipocentro: 0.2175, Aceleración pico del suelo: 0.00116.....	79
Figura 45:Sismo del 06/08/2019 con Magnitud: 4.8 ML, Hipocentro: 127 km, Aceleración pico del suelo: 0.25cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4222, Hipocentro: 0.3175, Aceleración pico del suelo: 0.00050.	80
Figura 46:Sismo del 19/11/2019 con Magnitud: 4.8 ML, Hipocentro: 45 km, Aceleración pico del suelo: 0.57 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4222, Hipocentro: 0.1125, Aceleración pico del suelo: 0.00114.....	81

Figura 47:Sismo del 02/04/2020 con Magnitud: 4.6 ML, Hipocentro: 42 km, Aceleración pico del suelo: 0.34 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.400, Hipocentro: 0.105, Aceleración pico del suelo: 0.00068.....	82
Figura 48:Sismo del 25/04/2020 con Magnitud: 4.5 ML, Hipocentro: 24 km, Aceleración pico del suelo: 0.32 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.3889, Hipocentro: 0.060, Aceleración pico del suelo: 0.00064.....	83
Figura 49:Sismo del 17/05/2020 con Magnitud: 4.5 ML, Hipocentro: 30 km, Aceleración pico del suelo: 0.27 cm / s ² ; en valores normalizados, Magnitud :0.3889, Hipocentro: 0.075, Aceleración pico del suelo: 0.00054.....	84
Figura 50:Diagrama de columnas, donde se puede observar la variación entre los datos observados y los datos obtenidos por el modelo, con el 70 % de sismos empleados.....	90
Figura 51:Diagrama de columnas, donde se puede observar la variación entre los datos observados y los datos obtenidos por el modelo, con el 30 % de sismos empleados.....	93

RESUMEN

La presente tesis, tuvo como objetivo estimar la intensidad de sismos, empleando lógica difusa. Para lo cual se han utilizado las variables como: Magnitud, Hipocentro, Aceleración pico del suelo, siendo estos datos, pertenecientes a los reportes sísmicos generados por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén. Para la respectiva estimación se han clasificado un total de 39 sismos en un 70% y 30 %, donde el 70 % representa el porcentaje de sismos empleados para realizar el modelo; mientras que el 30 % representa la cantidad de sismos empleados para validar el modelo inicial. Como resultado se obtuvo que es posible estimar la intensidad de sismos empleando lógica difusa con un porcentaje del 70 % de confiabilidad, haciendo uso de los datos registrados por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.

Palabras clave

Intensidad de sismo, Registros sísmicos, Estación Acelerográfica.

ABSTRACT

The present thesis aimed to estimate the intensity of earthquakes, using fuzzy logic, for which variables such as: Magnitude, Hypocenter, Peak soil acceleration have been used, these data being, belonging to the seismic reports generated by the accelerographic network . For the respective estimation, a total of 39 earthquakes have been classified as 70% and 30%, where 70% represents the percentage of earthquakes used to make the model; while 30% represents the number of earthquakes used to validate the initial model. As a result, it was obtained that it is possible to estimate the intensity of earthquakes using fuzzy logic with a 70% reliability percentage, making use of the data recorded by the accelerographic station of the National University of Jaén.

Keywords

Earthquake intensity, Seismic records, Acceleration Station.

I. INTRODUCCIÓN

Los sismos son sucesos que a lo largo de los siglos han ocurrido en distintas partes del planeta tierra, pues estos representan el movimiento dinámico que el planeta posee.

A medida que las investigaciones de los fenómenos naturales, denominados “sismos”, han progresado, se ha podido establecer zonas vulnerables a estos eventos, cada una abarca diferentes países, tal es el caso del: cinturón de fuego del pacífico, que abarca desde Chile hasta Estados Unidos y parte del continente asiático; y el Perú no es ajeno a la realidad, pues se encuentra ubicado en este cinturón y por ende, está propenso a la ocurrencia de sismos, dónde también influye el proceso de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana.

La ocurrencia de dichos sismos, han generado daño, tanto material como pérdidas de vidas humanas, siendo una razón para que científicos, y profesionales de la ingeniería se interesen por el estudio del comportamiento de la tierra y establezcan lo siguiente: magnitud, epicentro, hipocentro, aceleración pico del suelo e intensidad, siendo sus valores definidos por el tipo de sismo y registrados por equipos denominados “acelerógrafos”. Gracias a la tecnología y por medio de la investigación, los países están buscando crear modelos matemáticos para predecir la ocurrencia y daño de estos eventos, el punto en estudio de la presente investigación, dónde se pretende estimar la intensidad de sismo, aplicando la Inteligencia Artificial, llegando así a formular la siguiente interrogante ¿Se podrá estimar la intensidad del sismo, aplicando lógica difusa?

La red acelerográfica, genera reportes de los sismos que registran las estaciones acelerográficas a nivel nacional; sin embargo, en algunos reportes sísmicos se pueden observar dos grados de intensidad de sismo, ocasionando confusión. Por ello, es necesario que se establezcan métodos de predicción aplicado a sismos, su empleo se enfoca generalmente a comprender mejor los problemas y anticipar la realidad que se investiga, en este caso la intensidad del sismo.

La lógica difusa se ha aplicado eficazmente para resolver problemas de modelado en áreas tan diversas como la ciencia, la ingeniería, los negocios y la medicina.

A partir del uso del software Matlab se utiliza para estimar el impacto del terremoto. (...) Se utilizan cincuenta registros en el sistema de interferencia difusa (FIS). (...) Las reglas se generan suponiendo que Magnitud(M), profundidad (Dt) e impacto (I) son variables lingüísticas. (Preethi & Santhi, 2011, pág. 57)

- Magnitud (M) – baja, media y alta.
- Profundidad (H) – Superficial (S) y profunda (P)
- Impacto(I) – Bajo (B), Medio(M) y alto (A)

Reglas difusas

- Si (M) = baja y H = superficial, entonces I = media.
- Si (M) = baja y H = profunda, entonces I = alto
- Si (M) = media y H = superficial, entonces I = alto.
- Si (M) = media y H = profunda, entonces I = media.
- Si (M) = alto y H = superficial, entonces I = alto.
- Si (M) = alto y H = profundo, entonces I = alto.

“Los sismos son movimientos originados por la liberación de energía que se inicia en un punto de ruptura en el interior de la tierra. Al originarse un sismo, la energía sísmica se libera en forma de ondas sísmicas” (Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres, 2017, pág. 28).

La magnitud de un sismo es una medida de la energía liberada por este. Es una medición instrumental y se calcula a partir del sismograma. Fue definida por C.Richter en 1935. (...), la magnitud de momento sísmico (M_w), se evalúa utilizando el momento sísmico que se calcula multiplicando la rigidez de la roca por el área de fallamiento y por el desplazamiento en la falla. (García Reyes, 1998, pág. 71)

“La intensidad de un sismo, es una medida subjetiva de los efectos que el sismo causa en un lugar determinado. La escala más utilizada es la Escala de Mercalli Modificada (IMM), dicha escala comprende el rango de I – XII” (García Reyes, 1998, pág. 72).

Escala de Mercalli Modificado en la Tabla 1. (Christopher & Reitherman, 1987, pág. 35)

En la tabla 1, se presenta las escalas establecidas de Mercalli Modificado, cuyos valores dependerán de los daños generados por acciones de un sismo.

Tabla 1: Escala de Intensidad de Mercalli Modificada

Grado	Intensidad	Descripción
I	Muy débil	- El sismo es detectado por instrumentos sensibles.
II	Débil	- Sentido por personas que descansan en pisos altos.
III	Leve	- Sentido en interiores. - Vibración como la del paso de camiones ligeros.
IV	Moderado	- Sensación de una sacudida. - Automóviles estacionados se mecen.
V	Fuerte	- Despierta a quien duerme. - Los líquidos se derraman. - Objetos inestables se desplazan o caen.
VI	Bastante Fuerte	- Todos lo sienten. - Las personas caminan tambaleándose. - Objetos y libros se caen. - La mampostería D se agrieta.
VII	Muy Fuerte	- Es difícil mantenerse de pie. - Los conductores de automóviles lo sienten. - Daños en mampostería D. - Algunas grietas en mampostería C. - Los canales de irrigación se dañan.
VIII	Destructivo	- Se afecta el control de automóviles. - Daño en mampostería C. - Ciertos daños en mampostería B. - Ningún daño en mampostería A. - Se presenta grietas en el suelo húmedo.
IX	Ruinoso	- Pánico general. - Destrucción de mampostería D.

		<ul style="list-style-type: none"> - Daño grave en mampostería C y posible colapso. - Daño grave en mampostería B. - Daño general en cimentaciones. - Rompimiento de tuberías subterráneas. - Agrietamiento notable en el suelo.
X	Desastroso	<ul style="list-style-type: none"> - Se destruyen algunas estructuras y puentes de madera construidos. - Daños graves en presas, diques. - El agua se desborda de los canales, ríos y lagos.
XI	Muy Desastroso	<ul style="list-style-type: none"> - Los ductos subterráneos quedan fuera de servicio.
XII	Catastrófico	<ul style="list-style-type: none"> - Daño casi total. - Grandes masas de roca se desplazan. - Los objetos son arrojados al aire.

Fuente: Adaptado del libro configuración y diseño sísmico de edificios (1987).

En la Tabla 2, se presentan los tipos de mampostería que pueden ser perjudicadas ante la ocurrencia de un sismo y se clasifica según el grado de intensidad (Christopher & Reitherman, 1987, pág. 35).

Tabla 2:Tipos de mampostería

Tipo	Descripción
Mampostería A	<ul style="list-style-type: none"> - Mano de obra. - Mortero y diseño de buena calidad. - Reforzada lateralmente. - Pegada usando acero, concreto, etc. - Diseñada para resistir fuerzas laterales.
Mampostería B	<ul style="list-style-type: none"> - Mano de obra. - Mortero de buena calidad. - Reforzada pero no diseñada para resistir fuerzas laterales.
Mampostería C	<ul style="list-style-type: none"> - Mano de obra. - Mortero ordinario. - Sin debilidad extrema como falta de traslape en esquinas. - No está reforzada ni diseñada contra fuerzas horizontales.
Mampostería D	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales débiles, como: adobe, mortero pobre. - Baja calidad de la mano de obra. - Débil horizontalmente.

Fuente: Adaptado del libro configuración y diseño sísmico de edificios (1987).

“Indica el cambio de velocidad (...), la aceleración se mide en términos de g , que es la aceleración de un cuerpo que cae libremente debido a la gravedad de la tierra” (Christopher & Reitherman, 1987, pág. 30).

El nivel de aceleración para producir algún daño en construcciones débiles es de $0.1 g$. El nivel más bajo de aceleración perceptible para la gente (...), es de $0.001 g$ o $1 \text{ cm}/\text{seg}^2$. (...) Una aceleración del suelo cercana a $0.5 g$ es muy alta. (...) La medida de aceleración se usa comúnmente para indicar el posible poder destructivo de un sismo en relación con un edificio (págs. 53-54). (Christopher & Reitherman, 1987)

- Hipocentro: es el punto en el interior de la tierra donde comienza la ruptura, se le conoce como foco sísmico.
- Hora origen: representa la hora en que inicia la ruptura, se expresa generalmente en tiempo universal, denominado Coordinated Universal Time o UTC.
- Epicentro: es la proyección vertical del hipocentro en la superficie terrestre, se representa en coordenadas geográficas o UTM.

“Es aquella que propone la creación de elementos que posean un comportamiento inteligente. (...), pretende construir sistemas que presenten un comportamiento como si fuera llevado a cabo por una persona” (Romero Cardalda, Dafonte Vázquez, Gómez García, & Penousal Martins Machado, 2007).

“La lógica difusa, es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento” (González Morcillo, 2011, pág. 07) .

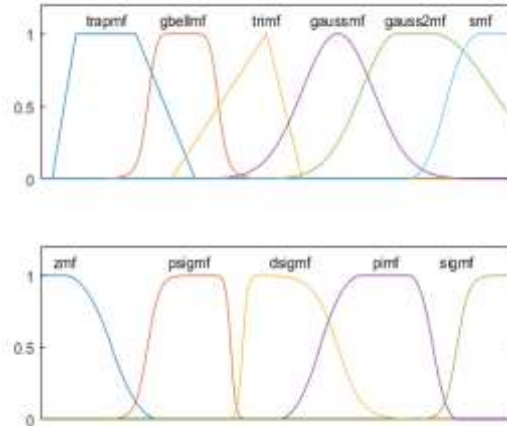
Función de membresía:

$$u_A = X \rightarrow [0,1]$$

Las funciones de membresía para conjuntos difusos se pueden definir de varias maneras siempre que sigan las reglas de la definición de un conjunto difuso. La forma de la función de membresía utilizada define el conjunto difuso y, por lo tanto, la decisión sobre qué tipo utilizar depende del propósito. La elección de función de membresía es el aspecto subjetivo de la lógica difusa, permite interpelar apropiadamente los valores deseados. (Jiménez Vilcherrez, Quiñones Huatangari, Timana Jaramillo, & Vallejo Huamán, 2017, págs. 06-07)

Las funciones de membresía más comunes se muestran a continuación, en la Figura 1.

Figura 1: Funciones de membresía para conjuntos difusos.



Fuente: Trabajo de investigación Sistemas difusos (2017)

Se define como el proceso de obtener un valor de salida para un valor de entrada aplicando la teoría de conjuntos difusos. (González Morcillo, 2011, pág. 23)

Pasos a seguir:

- a) Fuzificación de las variables de entrada.
- b) Evaluación de las reglas.
- c) Agregación de las salidas de las reglas.
- d) Defuzificación.

Ejemplo:

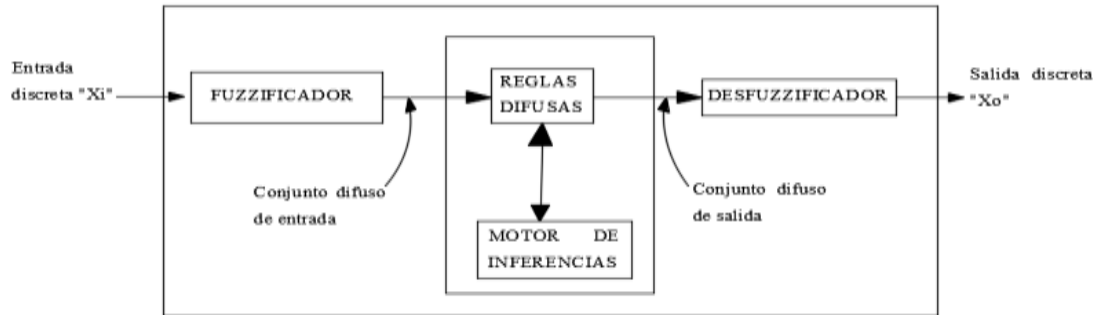
Estas reglas usan como variables lingüísticas x (financiación - del - proyecto), y (plantilla-del-proyecto) y z (riesgo). Los conjuntos definidos sobre el dominio de X son A_1 ; A_2 ; A_3 (inadecuado, marginal, adecuado), sobre el dominio de Y B_1 ; B_2 (pequeña, grande) y sobre el universo del discurso de Z son C_1 ; C_2 y C_3 (bajo, normal y alto).

Reglas:

- R1: IF x is A_3 OR y is B_1 THEN z is C_1
R2: If x is A_2 AND y is B_2 THEN z is C_2
R3: IF x is A_1 THEN z is C_3

En general, el proceso de modelado mediante lógica difusa responde a un esquema que permite manipular reglas de inferencia sobre conjuntos difusos, ver Figura 2.

Figura 2: Esquema de modelamiento empleando lógica difusa.



Fuente: Elaboración propia con base de datos de libro descripción general de las técnicas de lógica difusa.

La lógica difusa ha ganado un gran campo de acción en procesos difíciles de modelar matemáticamente, ya que el diseño y sintonización del controlador difuso se basa únicamente en la experiencia del experto en el proceso.

Es decir, a través de la lógica difusa se incorpora el razonamiento humano en el algoritmo de control y simplifica el diseño de controlador.

No necesita un modelo matemático preciso del sistema a controlar, permitiendo controlar sistemas que son imposibles de controlar con los sistemas de control clásicos. (Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, 2006, pág. 95)

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Estimar la intensidad de sismos empleando lógica difusa en la ciudad de Jaén.

2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los registros acelerográficos desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén.
- Identificar modelos que permiten estimar la intensidad de sismos.
- Elaboración del modelo.
- Seleccionar variables para el modelo elegido.
- Emplear el modelo seleccionado mediante software Matlab.
- Validar el modelo mediante el análisis de residuos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Población, Muestra y Muestreo

La Población y muestra han sido los registros acelerográficos desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.

Obedece que los datos registrados en esta fecha tienen muestreo por conveniencia, debido que durante ese lapso los datos recaudados son consistentes y permiten hacer una validación objetiva del modelo, registrándose 76 sismos, de los cuales se han empleado 39 sismos para la presente tesis.

3.2. Variables de estudio.

3.2.1. Variables Dependientes

- Intensidad del sismo.

3.2.2. Variables Independientes

- Magnitud del sismo.
- Hipocentro del sismo.
- Aceleración pico del suelo.

3.3. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos.

3.3.1. Método a usar: Inductivo – Analítico, relacionado a la lógica difusa.

Según: (González Morcillo, 2011, págs. 23-24) , los pasos a seguir son los siguientes:

- a) Fuzificación: El primer paso consiste en tomar los valores reales de las entradas y determinar el grado de pertenencia de estas entradas a los conjuntos difusos asociados.
- b) Evaluación de Reglas: Tomamos las entradas anteriores y se aplican a los antecedentes de las reglas difusas.
- c) Agregación de las salidas: La agregación es el proceso de unificación de las salidas de todas las reglas.

d) Defuzificación: El resultado final habitualmente es necesario expresarlo mediante un valor real. En esta etapa se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida.

3.3.2. Técnicas y/o instrumentos de recolección de información:

Técnica

Recopilación documental: Es una técnica de recolección de datos e información a partir de documentos escritos y no escritos para conocer o medir una variable, obtenidos de los reportes sísmicos brindados por la red acelerográfica UNI – CIP – SENCICO.

Instrumento

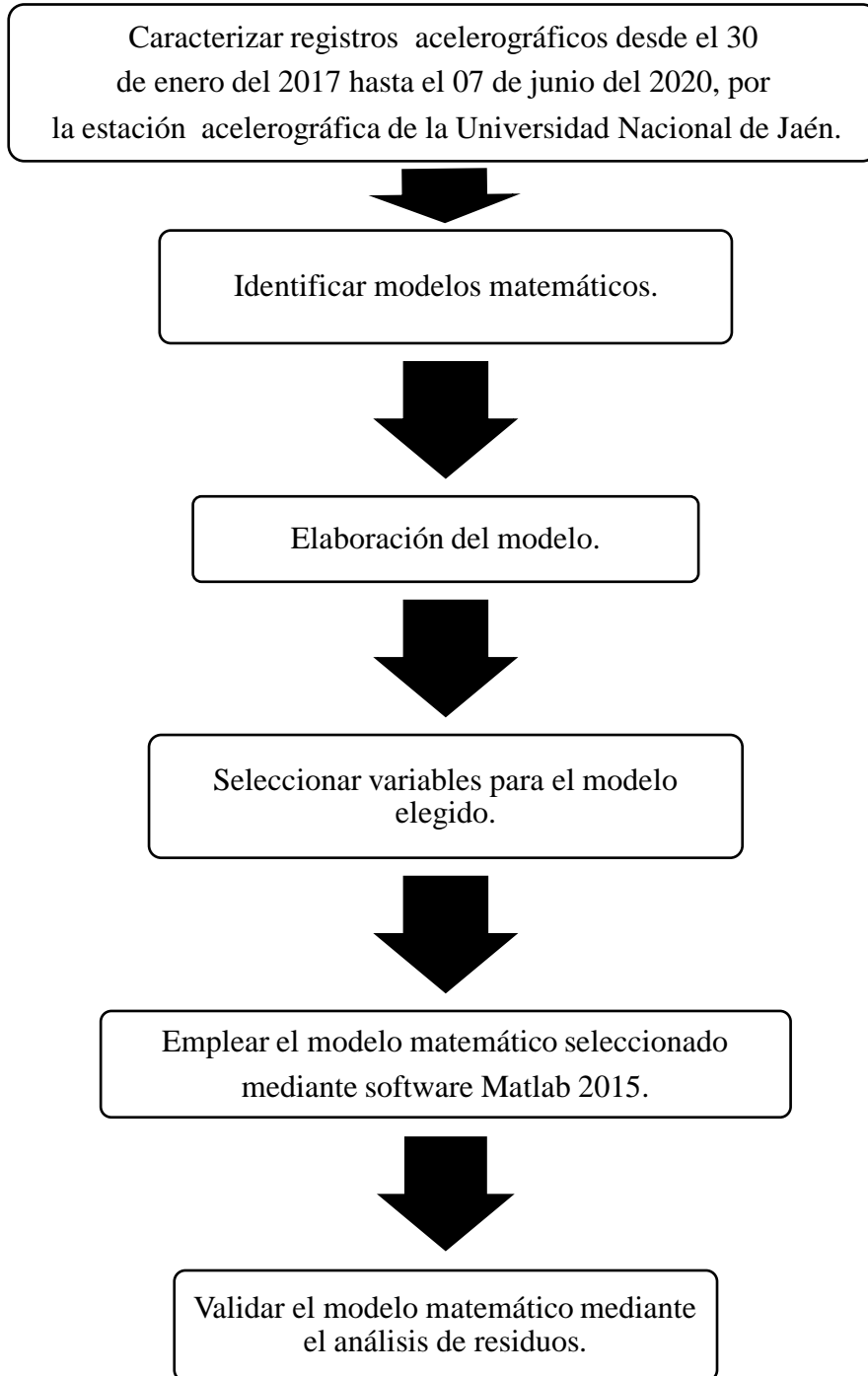
Ficha digital en formato Excel 2016, donde se detallaron los siguientes datos:

- a) Magnitud de sismo.
- b) Hipocentro de sismo.
- c) Intensidad de sismo mostrada en reporte sísmico.
- d) Coordenadas geográficas del epicentro del sismo.
- e) Departamento, provincia y localidad del epicentro del sismo.
- f) Aceleración pico del suelo.

3.3.3. Procedimientos para la obtención del modelo matemático:

En la Figura 3, se presenta el procedimiento a seguir para la obtención del modelo.

Figura 3: Esquema de los pasos a seguir para obtener el modelo matemático.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.4. Criterios de validación del modelo

Se establecieron los siguientes criterios para validación de modelos (Benedini & Tsakiris, 2013, págs. 226-28).

a) Error absoluto medio (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |Q_i^{mod} - Q_i^{obs}|}{N} \quad (1)$$

Donde “N” es el valor total de sismos empleados,

Q_i^{mod} , valor obtenido por el modelo

Q_i^{obs} , valor observado o valor obtenido de la base de datos empleada

Nota: cuándo el resultado está más cerca a “cero”, se considera un resultado favorable para el modelo.

b) Coeficiente de eficiencia de Nash – Sutcliffe (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{mod} - Q_i^{obs})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - Q^{-obs})^2} \quad (2)$$

Nota: cuándo el resultado se encuentra en el rango de “cero” y “uno”, se considera un resultado favorable para el modelo.

c) Error de la media cuadrática (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{mod} - Q_i^{obs})^2}{N} \right]^{1/2} \quad (3)$$

Donde “N” es el valor total de sismos empleados.

Nota: cuándo el resultado está más cerca a “cero”, se considera un resultado favorable para el modelo.

d) Coeficiente de determinación (R^2)

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - Q^{-obs}) * (Q_i^{mod} - Q^{-mod})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - Q^{-obs})^2} * \sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_i^{mod} - Q^{-mod})^2}} \right]^2 \quad (4)$$

Nota: cuándo el resultado está más cerca a “uno”, se considera un resultado favorable para el modelo.

(Medina Peralta, Vargas Villamil, Navarro, Canul Pech, & Peraza Romero, págs. 256-57), establecen los siguientes criterios:

a) Coeficiente de determinación del modelo (CD)

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i^{mod} - \bar{y})^2} \quad (5)$$

- \bar{y} : es la media aritmética de los valores observados.

Nota:

- Cuando el resultado supera el valor de “uno”, el modelo se considera un poco deficiente.
- Cuando el resultado es menor a “uno”, el modelo es considerado como sobre predicción.

b) Medida de desviación de eficiente modelado (MEF)

$$MEF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - Q_i^{mod})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - \bar{y})^2} \quad (6)$$

Nota: cuándo el resultado está más cerca a “uno”, se considera un resultado favorable para el modelo.

c) Coeficiente del error (C)

$$C = \frac{\sum_{i=1}^N |Q_i^{obs} - Q_i^{mod}|}{\frac{n}{\bar{y}}} \quad (7)$$

Nota: cuándo el resultado está más cerca a “cero”, se considera un resultado favorable para el modelo.

3.3.5. Instrumentos:

- Reporte de sismos registrados por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.
- Software Excel 2016
- Software Matlab 2015.
- Paquete fuzzy de Matlab 2015.

3.4. Análisis de datos.

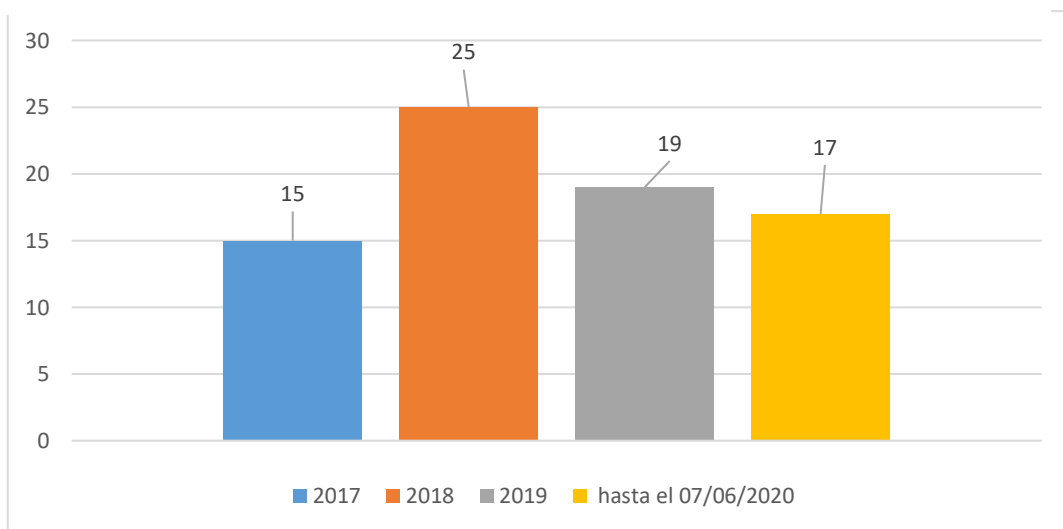
Después de la recolección de la información, se realizará el proceso de sistematización, tabulación, además de modelar los resultados.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterizar los registros acelerográficos desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.

En la Figura 4, se presenta la cantidad de sismos registrados por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén, desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020.

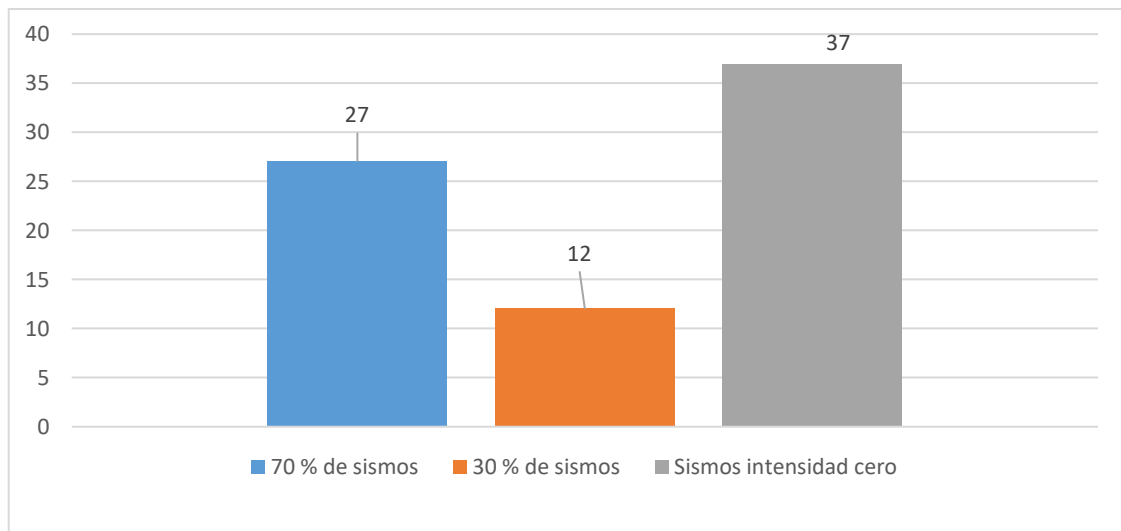
Figura 4: Cantidad de sismos registrados desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5, se presenta la cantidad de sismos registrados por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén, correspondientes a cada clasificación del 70 %, 30 %, y sismos con valor de intensidad cero, desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020.

Figura 5: Cantidad de registros acelerográficos empleados para elaboración de modelo, según clasificación en porcentajes, desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, registrados por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.-



Fuente: Elaboración propia

4.2. Identificar modelos que permiten estimar la intensidad de sismos.

- (Preethi & Santhi, 2011), presentan el siguiente modelo:

- Magnitud (M) – baja, media y alta.
- Profundidad (H) – Superficial (S) y profunda (P)
- Impacto (I) – Bajo (B), Medio(M) y alto (A)

Reglas difusas

- Si (M) = baja y H = superficial, entonces I = media.
- Si (M) = baja y H = profunda, entonces I = alto
- Si (M) = media y H = superficial, entonces I = alto.
- Si (M) = media y H = profunda, entonces I = media.
- Si (M) = alto y H = superficial, entonces I = alto.
- Si (M) = alto y H = profundo, entonces I = alto.

- (E. Hurtado & Bedoya R., 2008, pág. 73), presentan las siguientes ecuaciones:

- Ecuación para México:

$$I = 1.45M - 5.7 \log_{10} R + 7.9 \quad (8)$$

Dónde:

Fuente: Elaboración propia

M: Magnitud del sismo.

I: Intensidad.

R: Distancia epicentral.

- Empleo de ecuación al oeste de EE.UU.

$$\log_{10} A = 0.01 + 0.30I \quad (9)$$

Dónde:

A: Aceleración horizontal pico del suelo

I: Intensidad.

- Escala de intensidades sísmicas de Japón (JMA)

$$I_{JMA} = 0.63 + 1.81 \log_{10} A \quad (10)$$

Dónde:

A: Aceleración horizontal pico del suelo

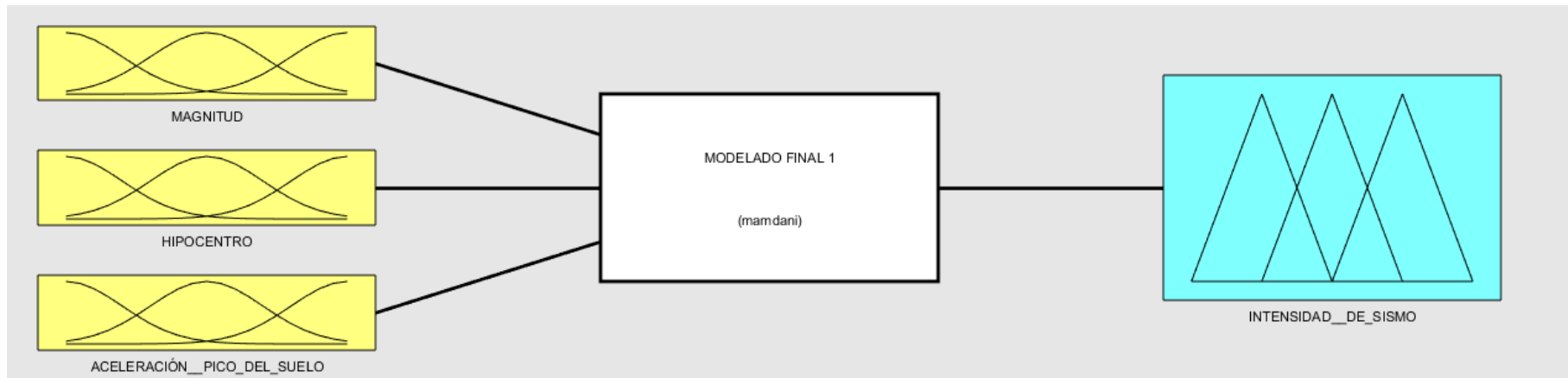
I: Intensidad.

4.3. Elaboración del modelo y selección de variables

4.3.1. Proceso de modelado con paquete fuzzy

a) Esquema de modelo difuso

Figura 6: Esquema de modelo difuso.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Cuadro de variables a usar en el proyecto.

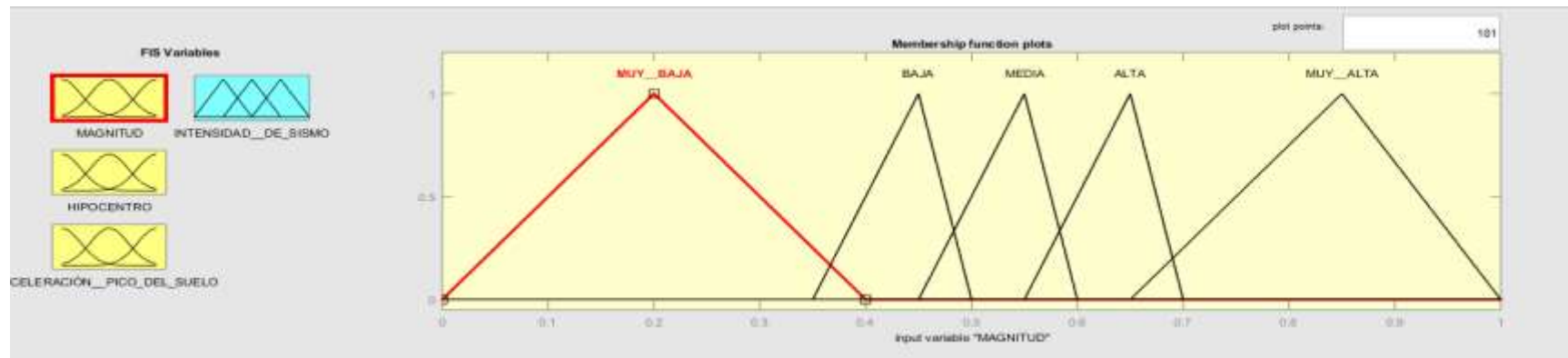
Variables
a. Magnitud
b. Hipocentro
c. Aceleración pico del suelo
d. Intensidad de sismo

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1. Variables independientes

a) Magnitud

Figura 7: Gráfica de valores difusos de la variable “Magnitud”.



Fuente: Elaboración propia

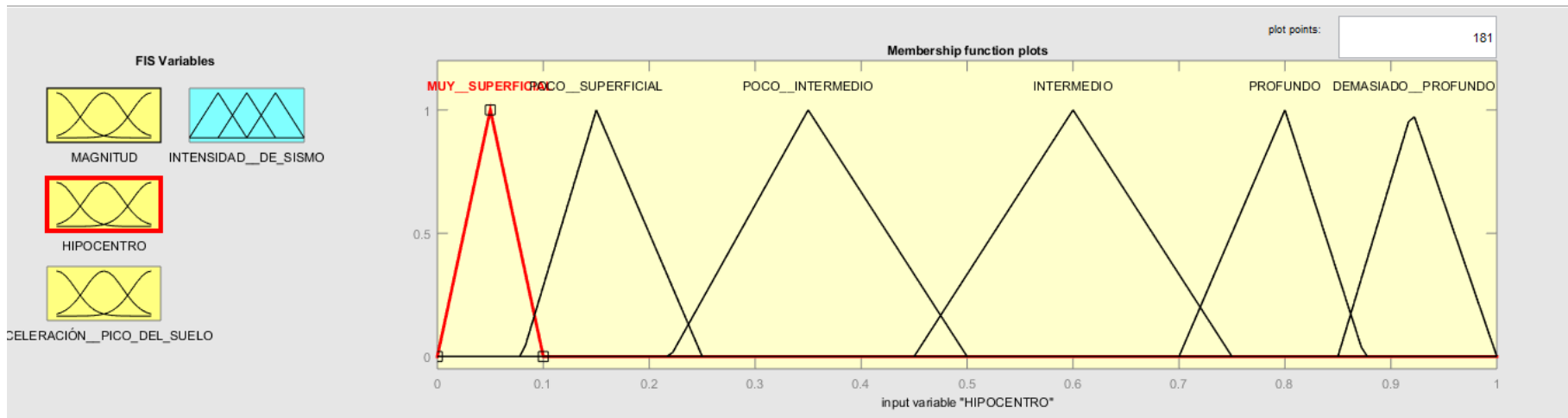
Tabla 4: Datos difusos de la variable "Magnitud".

Descripción	Valor normalizado
Muy Baja	0.000
	0.200
	0.400
Baja	0.350
	0.450
	0.500
Media	0.450
	0.550
	0.600
Alta	0.550
	0.650
	0.700
Muy Alta	0.650
	0.850
	1.000

Fuente: Elaboración propia

b) Hipocentro

Figura 8: Gráfica de valores difusos de la variable "Hipocentro".



Fuente: Elaboración propia

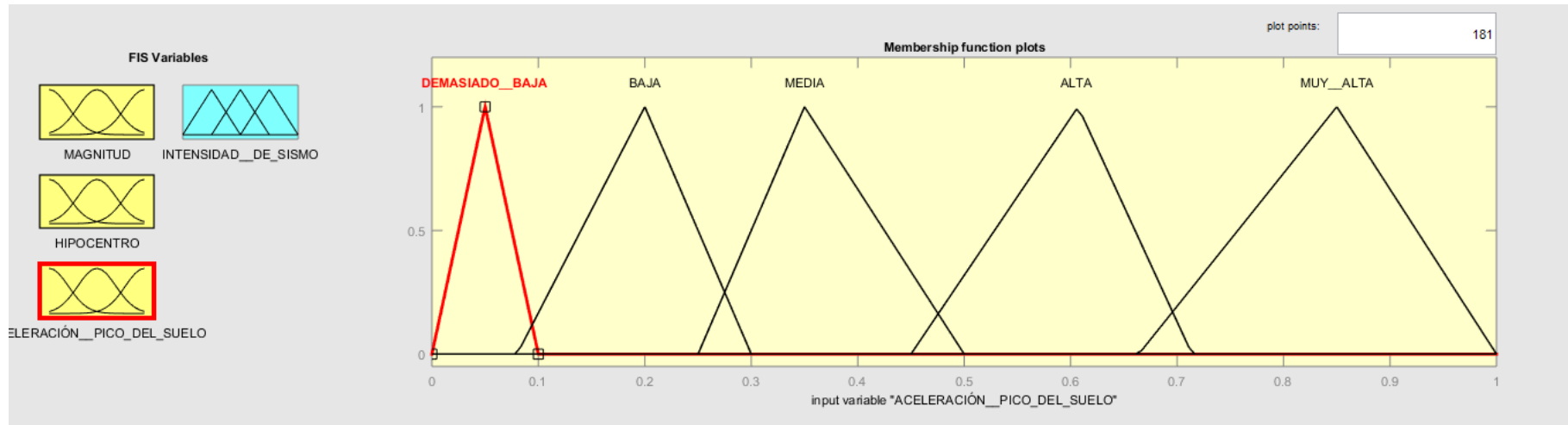
Tabla 5: Datos difusos de la variable "Hipocentro".

Descripción	Valor normalizado
Muy superficial	0.000
	0.005
	0.100
Poco superficial	0.080
	0.150
	0.250
Poco intermedio	0.220
	0.350
	0.500
Intermedio	0.450
	0.600
	0.750
Profundo	0.700
	0.800
	0.875
Demasiado profundo	0.850
	0.920
	1.000

Fuente: Elaboración propia

c) Aceleración pico del suelo

Figura 9: Gráfica de valores difusos de la variable "Aceleración pico del suelo".



Fuente: Elaboración propia

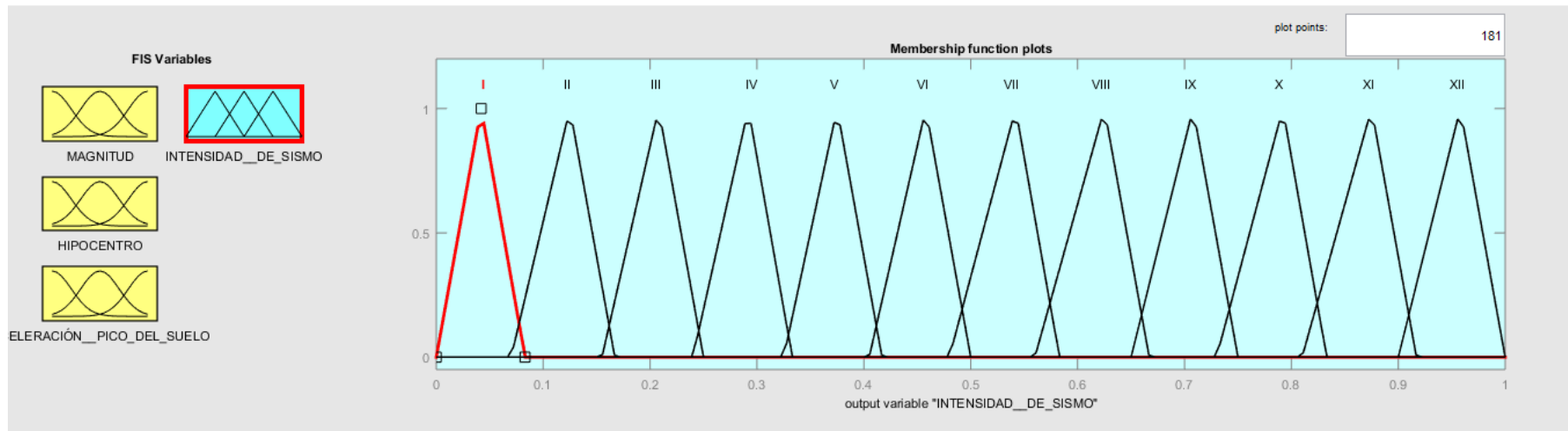
Tabla 6: Datos difusos de la variable "Aceleración pico del suelo".

Descripción	Valor normalizado
Demasiado baja	0.000
	0.050
	0.010
Baja	0.080
	0.200
	0.300
Media	0.250
	0.350
	0.500
Alta	0.450
	0.607
	0.714
Muy alta	0.664
	0.850
	1.000

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2. Variables dependientes

d) Intensidad de sismo



Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Gráfica de valores difusos de la variable "Intensidad de sismo".

Tabla 7: Cuadro de valores difusos de la variable "Intensidad".

Descripción	Valor normalizado
I	0.000
	0.042
	0.083
II	0.070
	0.125
	0.167
III	0.155
	0.208
	0.250
IV	0.240
	0.292
	0.333
V	0.325
	0.375
	0.417
VI	0.405
	0.458
	0.500
VII	0.480
	0.542
	0.583
VIII	0.560
	0.625
	0.667
IX	0.650
	0.708
	0.750
X	0.730
	0.792
	0.833
XI	0.810
	0.875
	0.917
XII	0.900
	0.958
	1.000

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Evaluación de reglas

Para la respectiva elaboración del modelo basado en lógica difusa o “fuzzy logic”, se elaboraron 56 reglas, bajo las cuales va a funcionar el sistema difuso.

- Magnitud (**M**)
- Hipocentro (**H**)
- Aceleración pico del suelo (**A**)
- Intensidad (**I**)

Tabla 8: Reglas difusas.

1. Si (M es muy_baja) y (H es muy_superficial) y (A es demasiado_baja) entonces (I es II).
2. Si (M es muy_baja) y (H es poco_superficial) y (A es demasiado_baja) entonces (I es II).
3. Si (M es muy_baja) y (H es poco_intermedio) y (A es demasiado_baja) entonces (I es I).
4. Si (M es muy_baja) y (H es muy_superficial) y (A es baja) entonces (I es III).
5. Si (M es muy_baja) y (H es poco_superficial) y (A es baja) entonces (I es III).
6. Si (M es muy_baja) y (H es poco_intermedio) y (A es baja) entonces (I es II).
7. Si (M es baja) y (H es muy_superficial) y (A es baja) entonces (I es III).
8. Si (M es baja) y (H es poco_superficial) y (A es baja) entonces (I es II).
9. Si (M es baja) y (H es poco_intermedio) y (A es baja) entonces (I es II).
10. Si (M es baja) y (H es muy_superficial) y (A es media) entonces (I es V).
11. Si (M es baja) y (H es poco_superficial) y (A es media) entonces (I es IV).

12. Si (M es baja) y (H es poco_intermedio) y (A es media) entonces (I es III).
13. Si (M es media) y (H es muy_superficial) y (A es media) entonces (I es VI).
14. Si (M es media) y (H es poco_superficial) y (A es media) entonces (I es VI).
15. Si (M es media) y (H es poco_intermedio) y (A es media) entonces (I es IV).
16. Si (M es media) y (H es intermedio) y (A es media) entonces (I es III) (1).
17. Si (M es media) y (H es muy_superficial) y (A es alta) entonces (I es VIII).
18. Si (M es media) y (H es poco_superficial) y (A es alta) entonces (I es VII).
19. Si (M es media) y (H es poco_intermedio) y (A es alta) entonces (I es V).
20. Si (M es media) y (H es intermedio) y (A es alta) entonces (I es III).
21. Si (M es alta) y (H es muy_superficial) y (A es alta) entonces (I es IX).
22. Si (M es alta) y (H es poco_superficial) y (A es alta) entonces (I es VII).
23. Si (M es alta) y (H es poco_intermedio) y (A es alta) entonces (I es V).

24. Si (M es alta) y (H es intermedio) y (A es alta) entonces (I es IV).
25. Si (M es alta) y (H es profundo) y (A es alta) entonces (I es III).
26. Si (M es alta) y (H es muy_superficial) y (A es muy_alta) entonces (I es X).
27. Si (M es alta) y (H es poco_superficial) y (A es muy_alta) entonces (I es VIII).
28. Si (M es alta) y (H es poco_intermedio) y (A es muy_alta) entonces (I es VI).
29. Si (M es alta) y (H es intermedio) y (A es muy_alta) entonces (I es IV).
30. Si (M es alta) y (H es profundo) y (A es muy_alta) entonces (I es III).
31. Si (M es muy_alta) y (H es muy_superficial) y (A es muy_alta) entonces (I es XI).
32. Si (M es muy_alta) y (H es poco_superficial) y (A es muy_alta) entonces (I es X).
33. Si (M es muy_alta) y (H es poco_intermedio) y (A es muy_alta) entonces (I es IX).
34. Si (M es muy_alta) y (H es INtermedio) y (A es muy_alta) entonces (I es VIII).
35. Si (M es muy_alta) y (H es profundo) y (A es muy_alta) entonces (I es IV).

36. Si (M es muy_alta) y (H es demasiado_profundo) y (A es muy_alta) entonces (I es II).
37. Si (M es media) y (H es poco_intermedio) y (A es demasiado_baja) entonces (I es III).
38. Si (M es baja) y (H es poco_superficial) y (A es demasiado_baja) entonces (I es II).
39. Si (M es baja) y (H es poco_intermedio) y (A es demasiado_baja) entonces (I es III).
40. Si (M es alta) y (H es muy_superficial) y (A es demasiado_baja) entonces (I es VI).
41. Si (M es muy_alta) y (H es poco_intermedio) y (A es demasiado_baja) entonces (I es VI).
42. Si (M es muy_alta) y (H es poco_intermedio) y (A es baja) entonces (I es VII).
43. Si (M es muy_alta) y (H es poco_intermedio) y (A es media) entonces (I es VII).
44. Si (M es muy_alta) y (H es poco_intermedio) y (A es alta) entonces (I es VIII).
45. Si (M es muy_alta) y (H es poco_intermedio) y (A es muy_alta) entonces (I es IX).
46. Si (M es muy_alta) y (H es intermedio y (A es demasiado_baja) entonces (I es VI).
47. Si (M es muy_alta) y (H es intermedio) y (A es baja) entonces (I es VI).

48. Si (M es muy_alta) y (H es intermedio) y (A es media) entonces (I es VII).
49. Si (M es muy_alta) y (H es intermedio) y (A es alta) entonces (I es VIII).
50. Si (M es muy_alta) y (H es intermedio) y (A es muy_alta) entonces (I es VIII).
51. Si (M es baja) y (H es poco_superficial) y (A es baja) entonces (I es III).
52. Si (M es media) y (H es poco_superficial) y (A es baja) entonces (I es IV).
53. Si (M es media) y (H es poco_superficial) y (A es demasiado_baja) entonces (I es III).
54. Si (M es media) y (H es muy_superficial) y (A es demasiado_baja) entonces (I es III).
55. Si (M es alta) y (H es poco_superficial) y (A es demasiado_baja) entonces (I es IV).
56. Si (M es baja) y (H es muy_superficial) y (A es demasiado_baja) entonces (I es IV).

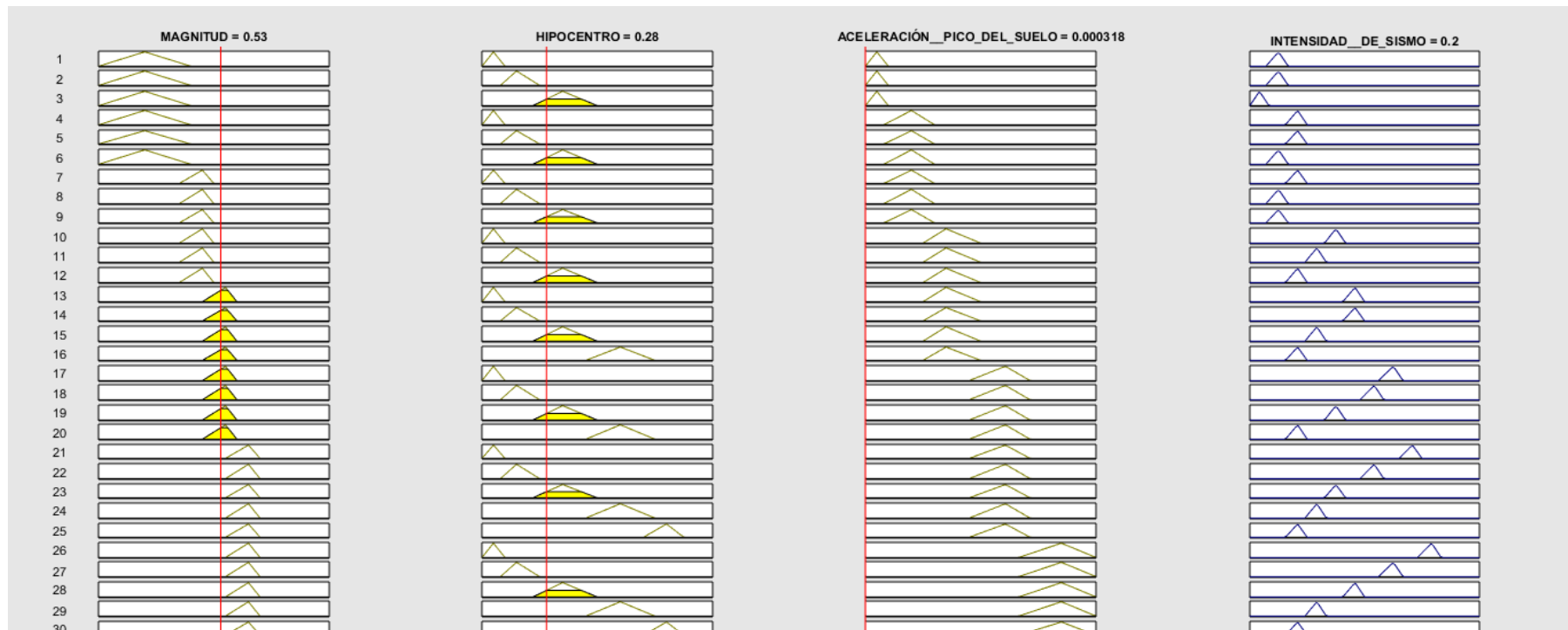
Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Proceso de defuzzificación

4.3.3.1. Agregando parámetros de entrada

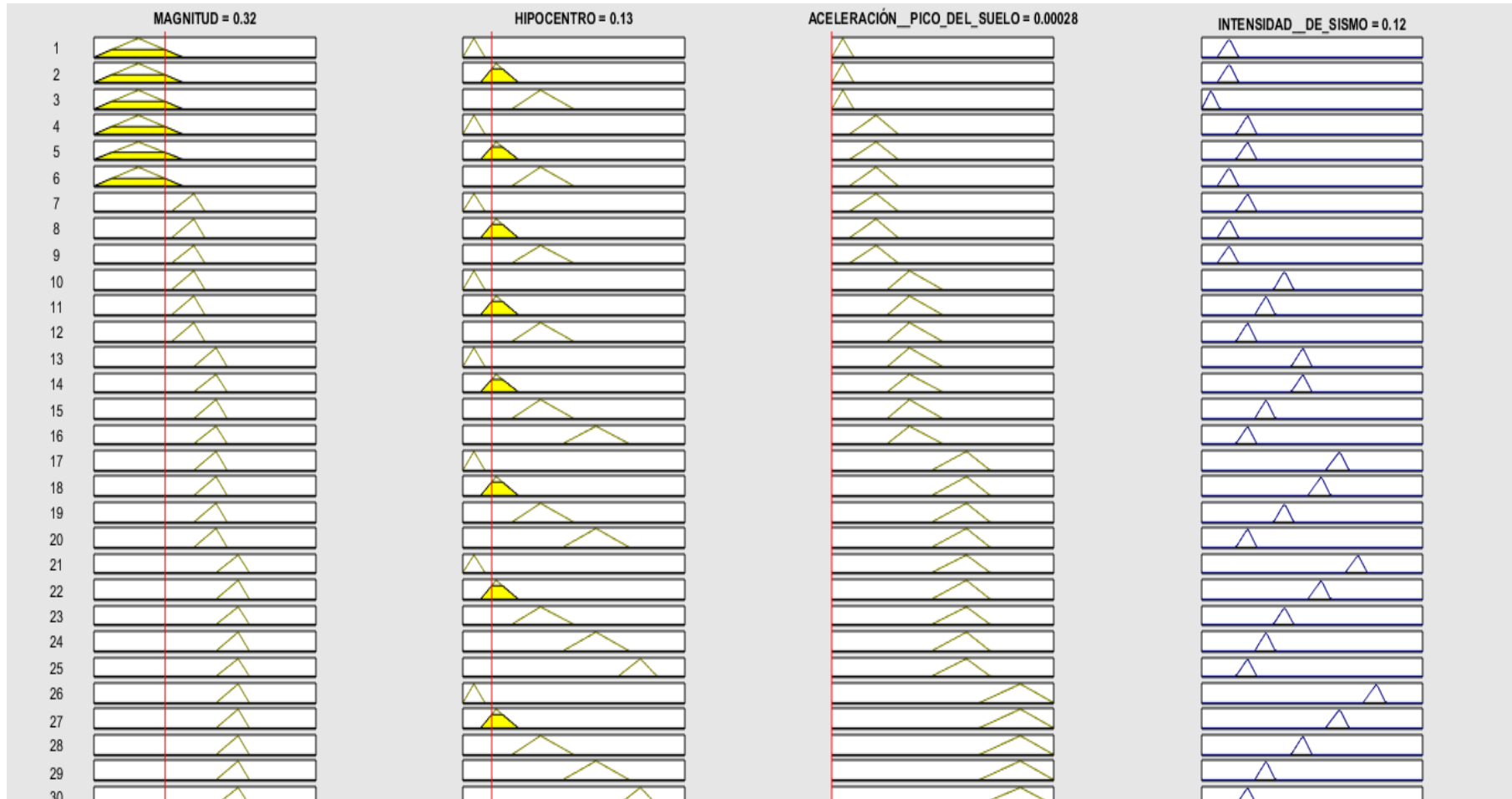
- a) El proceso de defuzzificación se va a realizar para cada sismo, registrado por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén, empleando la base de datos con el 70 % de sismos con valores normalizados según el Anexo 2.

Figura 11: Sismo del 18/01/2019 con Magnitud: 5.8 ML, Hipocentro: 111 km, Aceleración pico del suelo: 1.59 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud : 0.533, Hipocentro: 0.278, Aceleración pico del suelo: 0.00318



Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Sismo del 18/10/2017 con Magnitud: 3.9 ML, Hipocentro: 52 km, Aceleración pico del suelo: 0.14 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.322, Hipocentro: 0.130, Aceleración pico del suelo: 0.00028.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Sismo del 10/08/2019 con Magnitud: 4.10 ML, Hipocentro: 28 km, Aceleración pico del suelo: 19.98 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.344, Hipocentro: 0.070, Aceleración pico del suelo: 0.0393.



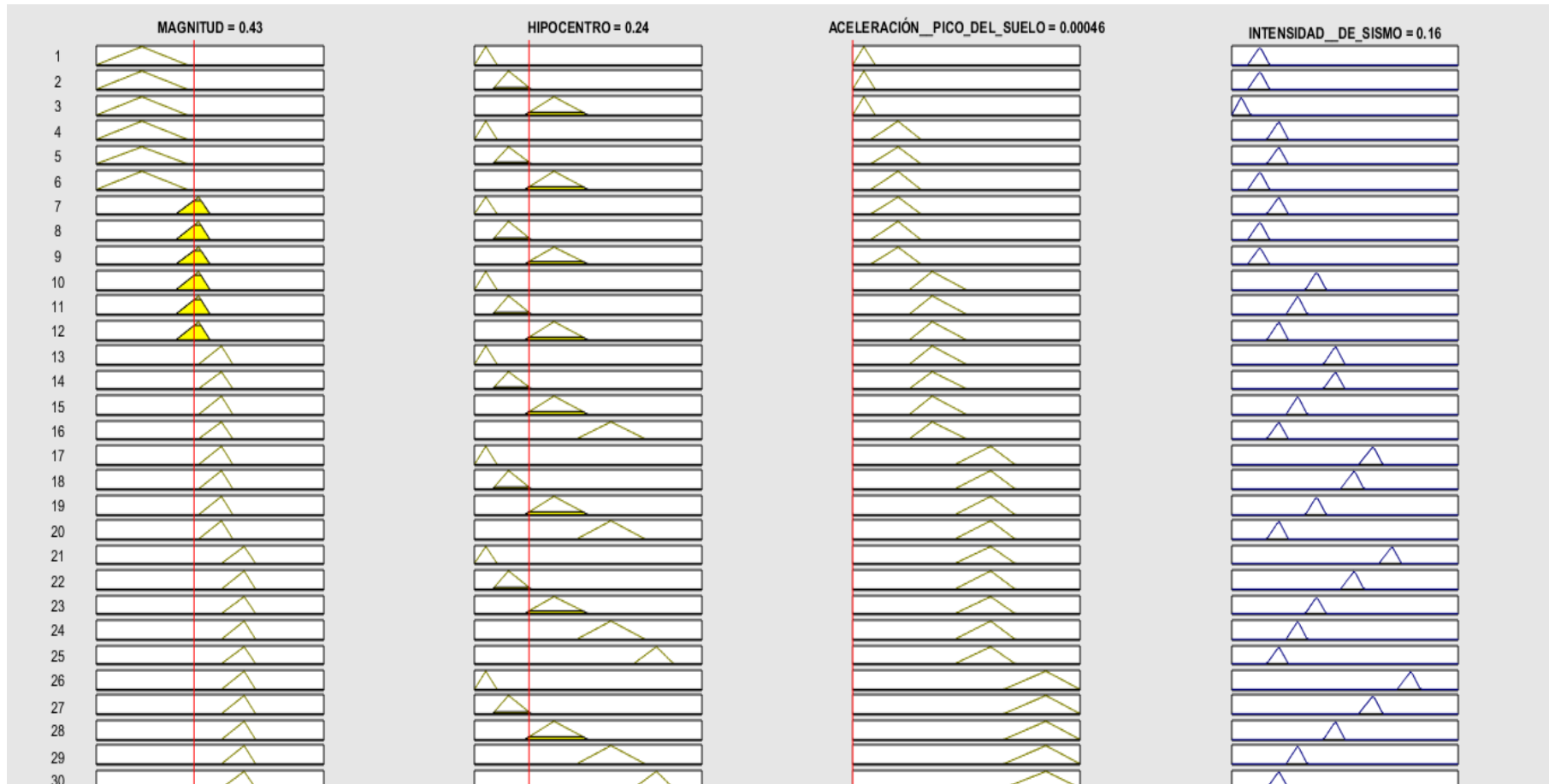
Fuente: Elaboración propia

Figura 14: Sismo del 19/01/2019 con Magnitud: 4.50 ML, Hipocentro: 56 km, Aceleración pico del suelo: 0.13 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud 0.389, Hipocentro: 0.140, Aceleración pico del suelo: 0.00026.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Sismo del 05/02/2019 con Magnitud: 4.9 ML, Hipocentro: 94 km, Aceleración pico del suelo: 0.23 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.433, Hipocentro: 0.240, Aceleración pico del suelo: 0.00046.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Sismo del 29/05/2019 con Magnitud: 5.0 ML, Hipocentro: 140 km, Aceleración pico del suelo: 0.54 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.444, Hipocentro: 0.350, Aceleración pico del suelo: 0.00108.



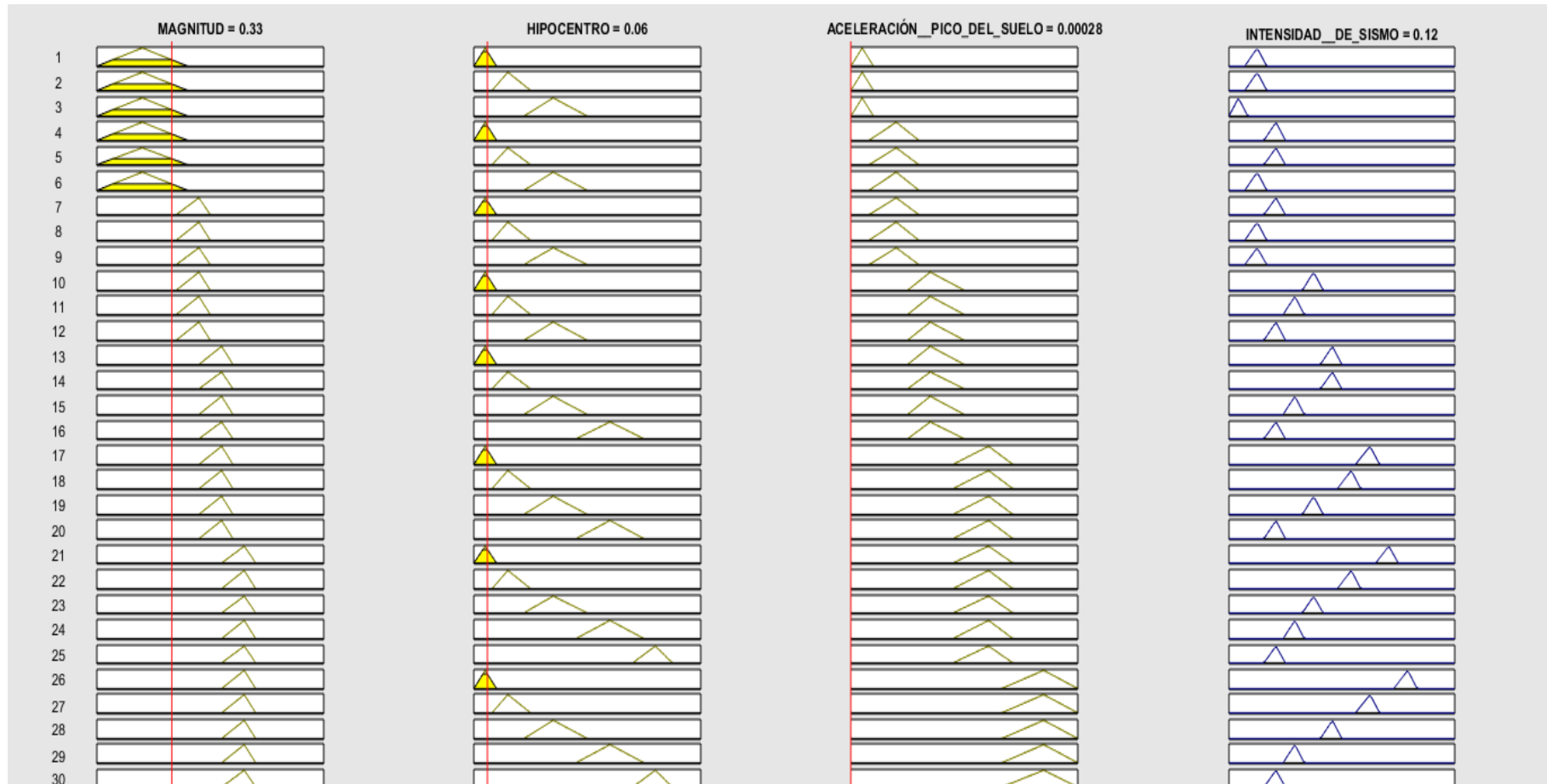
Fuente: Elaboración propia

Figura 17 :Sismo del 18/11/2017 con Magnitud: 6.2 ML, Hipocentro:46 km, Aceleración pico del suelo: 0.16 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.578, Hipocentro: 0.115, Aceleración pico del suelo: 0.00032.



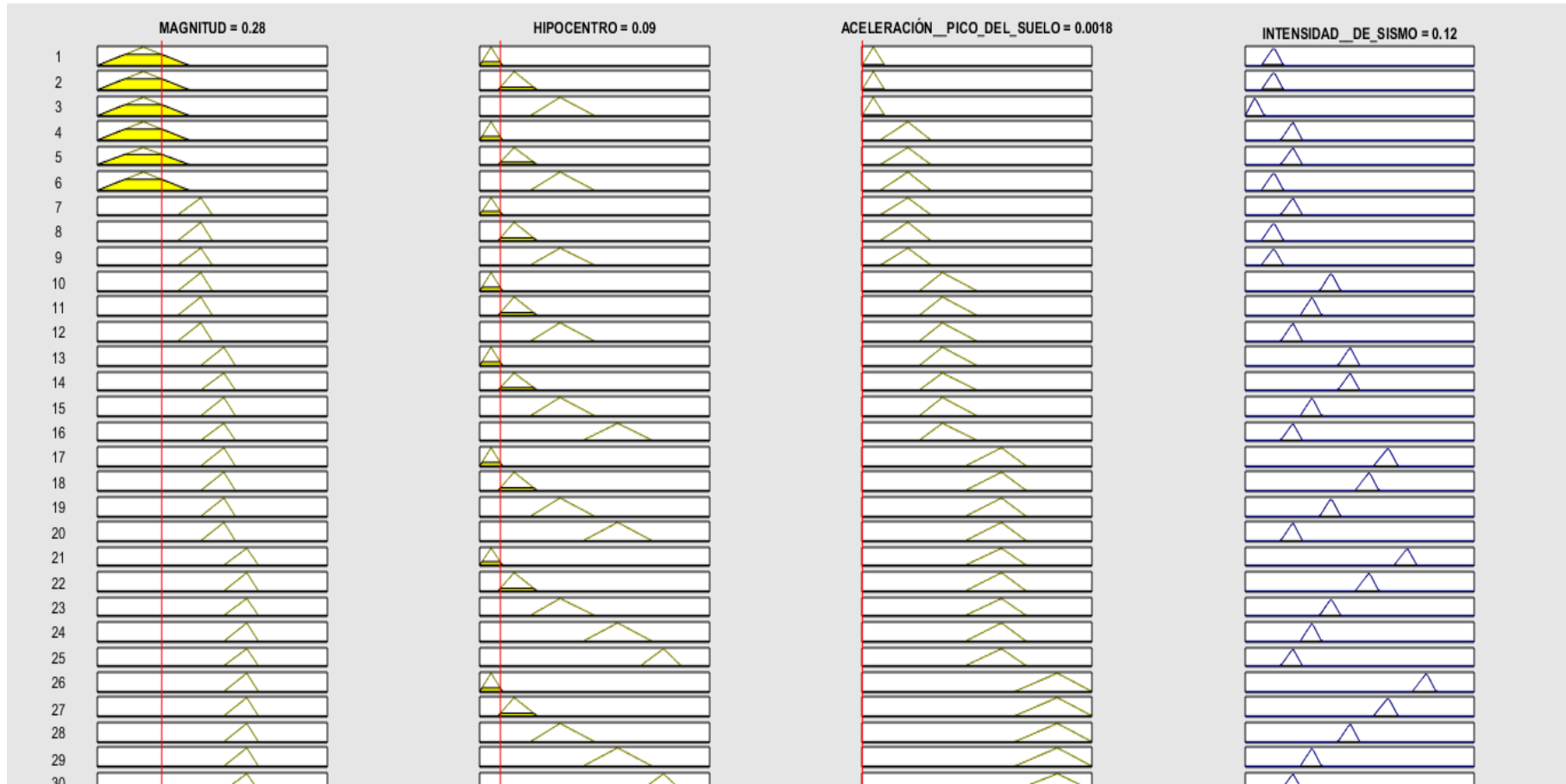
Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Sismo del 26/04/2020 con Magnitud: 4.0 ML, Hipocentro: 23 km, Aceleración pico del suelo: 0.14 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.333, Hipocentro: 0.058, Aceleración pico del suelo: 0.00028.



Fuente: Elaboración propia

Figura 19: Sismo del 23/10/2018 con Magnitud: 3.5 ML, Hipocentro: 37 km, Aceleración pico del suelo: 0.9 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.278, Hipocentro: 0.093, Aceleración pico del suelo: 0.00180.



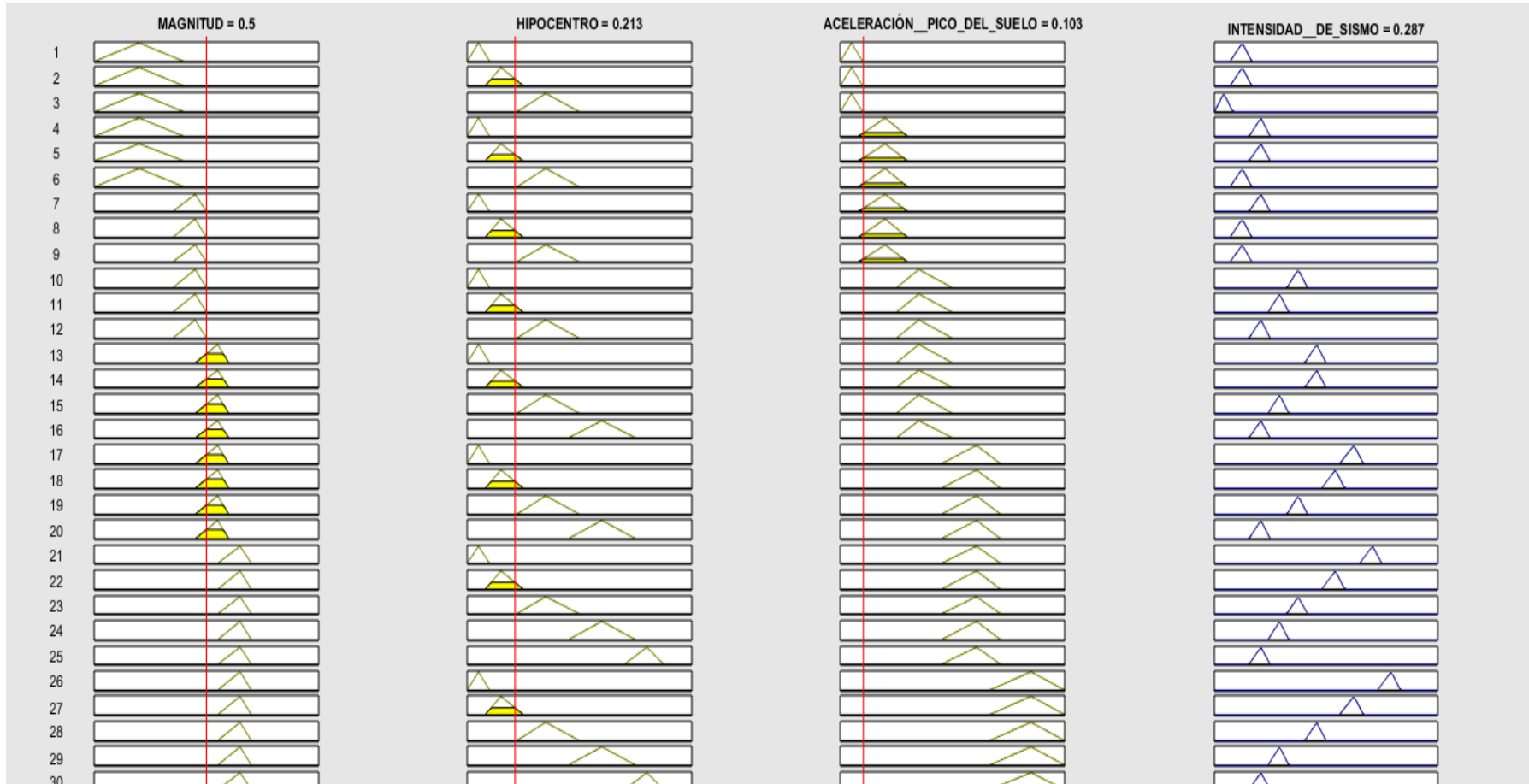
Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Sismo del 08/05/2020 con Magnitud: 4.7 ML, Hipocentro: 39 km, Aceleración pico del suelo: 0.39 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.411, Hipocentro: 0.098, Aceleración pico del suelo: 0.00078.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Sismo del 17/04/2019 con Magnitud: 5.5 ML, Hipocentro: 85 km, Aceleración pico del suelo: 51.68 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.500, Hipocentro: 0.213, Aceleración pico del suelo: 0.10336.



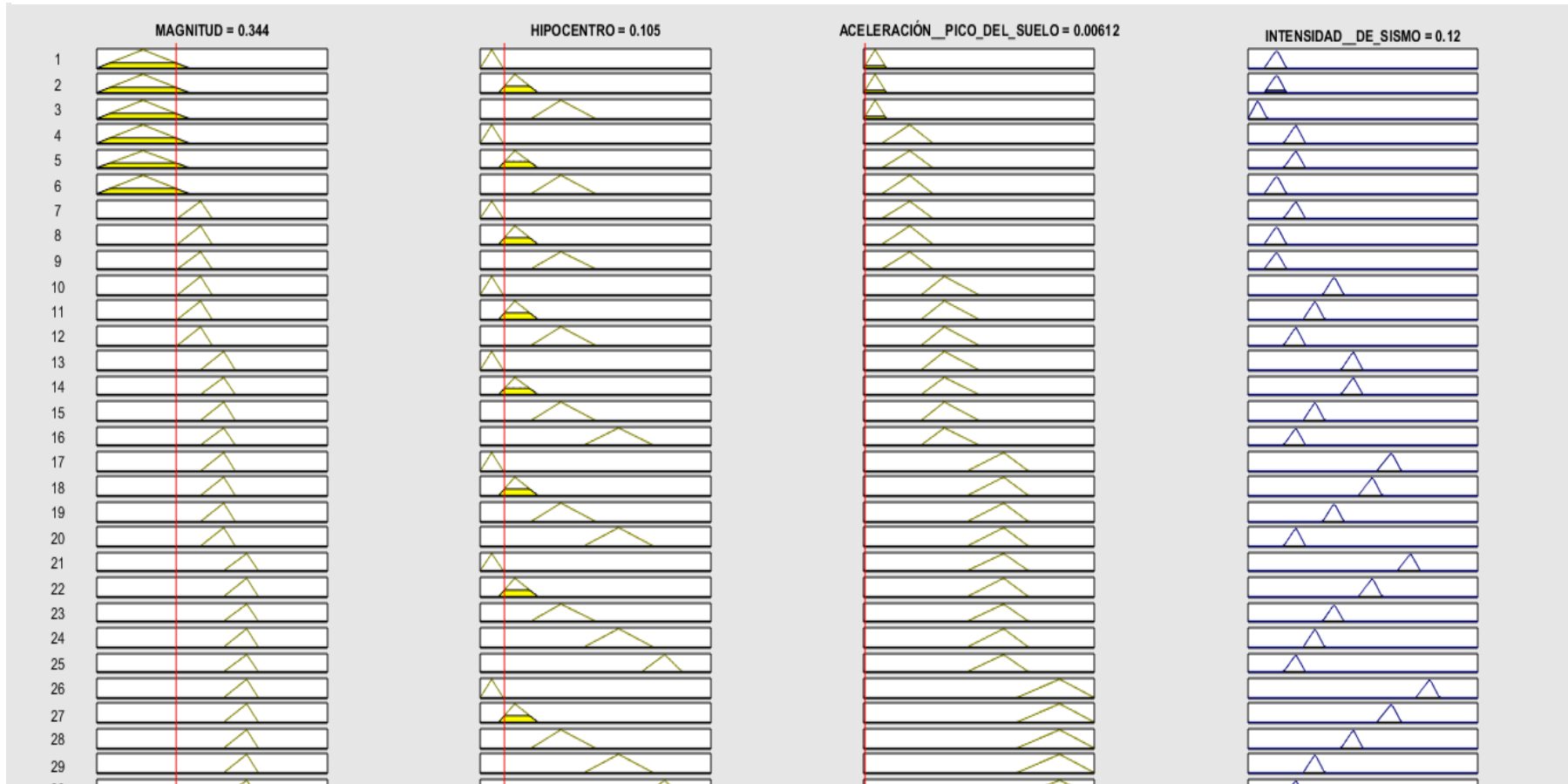
Fuente: Elaboración propia

Figura 22: Sismo del 02/04/2020 con Magnitud: 4.6 ML, Hipocentro: 42 km, Aceleración pico del suelo: 0.34 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.400, Hipocentro: 0.105, Aceleración pico del suelo: 0.00068.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23: Sismo del 13/04/2020 con Magnitud: 4.1 ML, Hipocentro: 42 km, Aceleración pico del suelo: 3.06 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.344, Hipocentro: 0.105, Aceleración pico del suelo: 0.00612.



Fuente: Elaboración propia

Figura 24: Sismo del 03/01/2020 con Magnitud: 5.0 ML, Hipocentro: 48 km, Aceleración pico del suelo: 0.43 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.444, Hipocentro: 0.120, Aceleración pico del suelo: 0.00086.



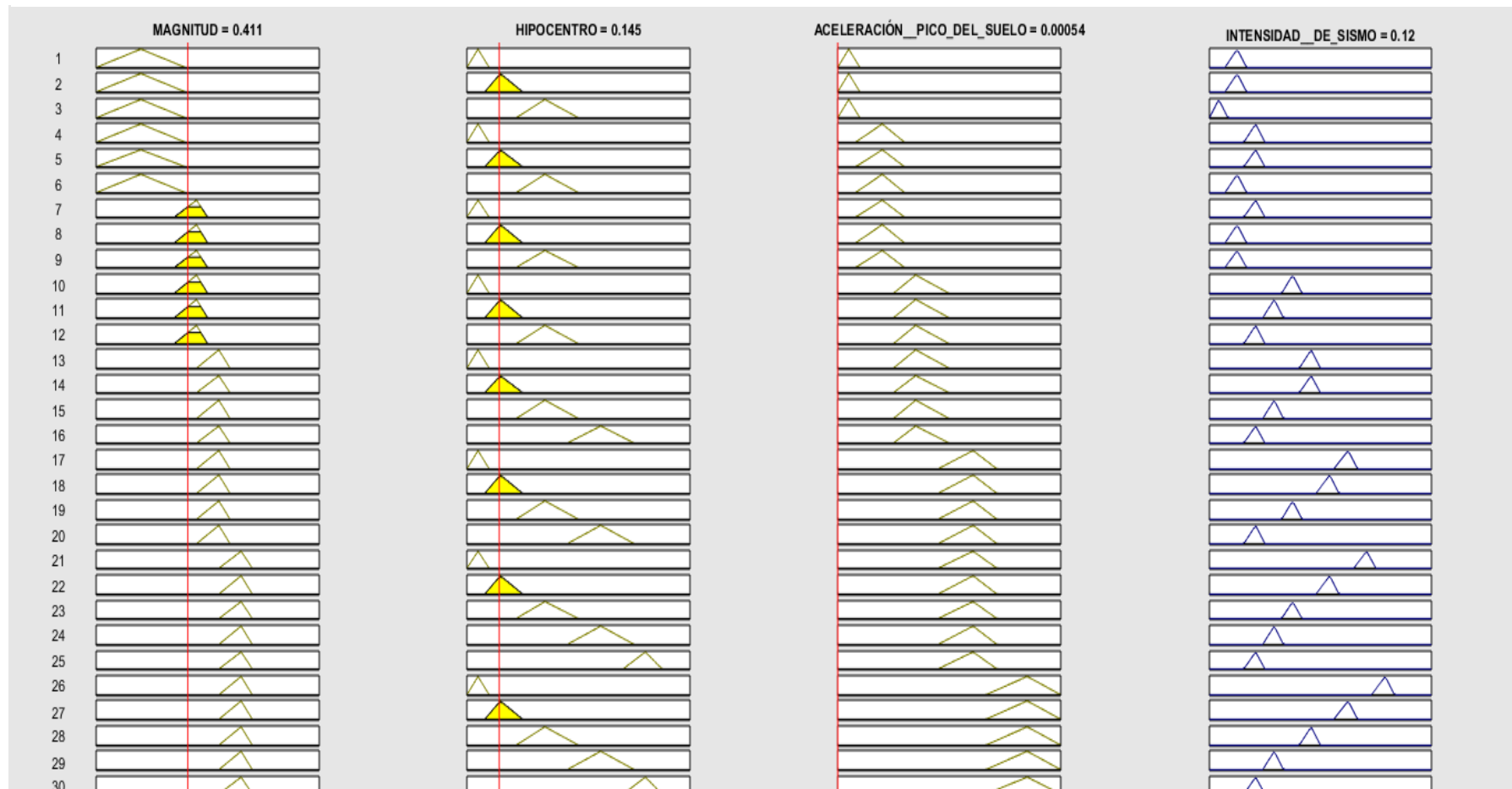
Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Sismo del 07/06/2020 con Magnitud: 5.9 ML, Hipocentro: 126 km, Aceleración pico del suelo: 1.24 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.544, Hipocentro: 0.315, Aceleración pico del suelo: 0.00248.



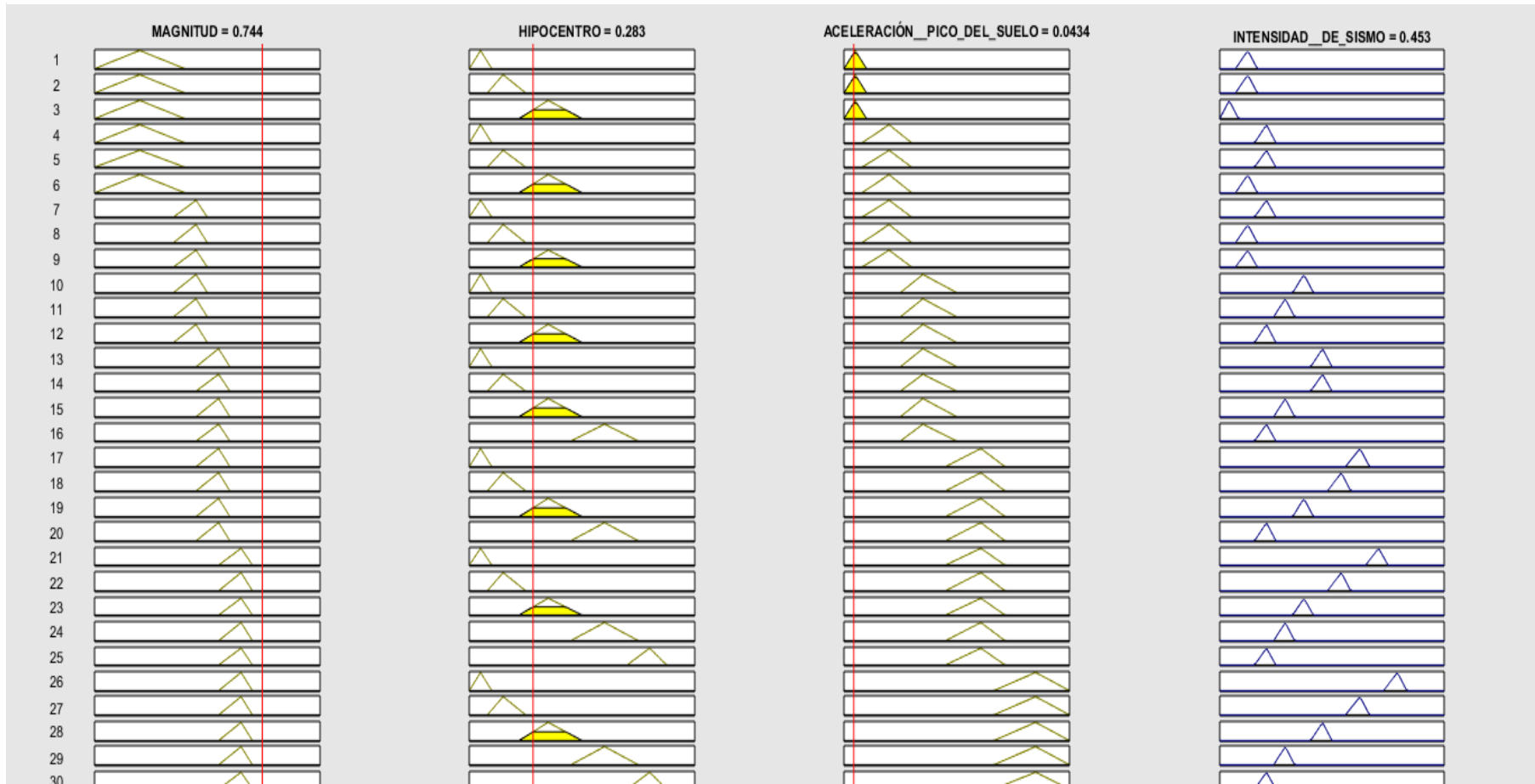
Fuente: Elaboración propia

Figura 26: Sismo del 06/12/2017 con Magnitud: 4.7 ML, Hipocentro: 58 km, Aceleración pico del suelo: 0.27 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.411, Hipocentro: 0.145, Aceleración pico del suelo: 0.00054.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27: Sismo del 22/02/2019 con Magnitud: 7.7 ML, Hipocentro: 113 km, Aceleración pico del suelo: 21.69 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.744, Hipocentro: 0.283, Aceleración pico del suelo: 0.04338.



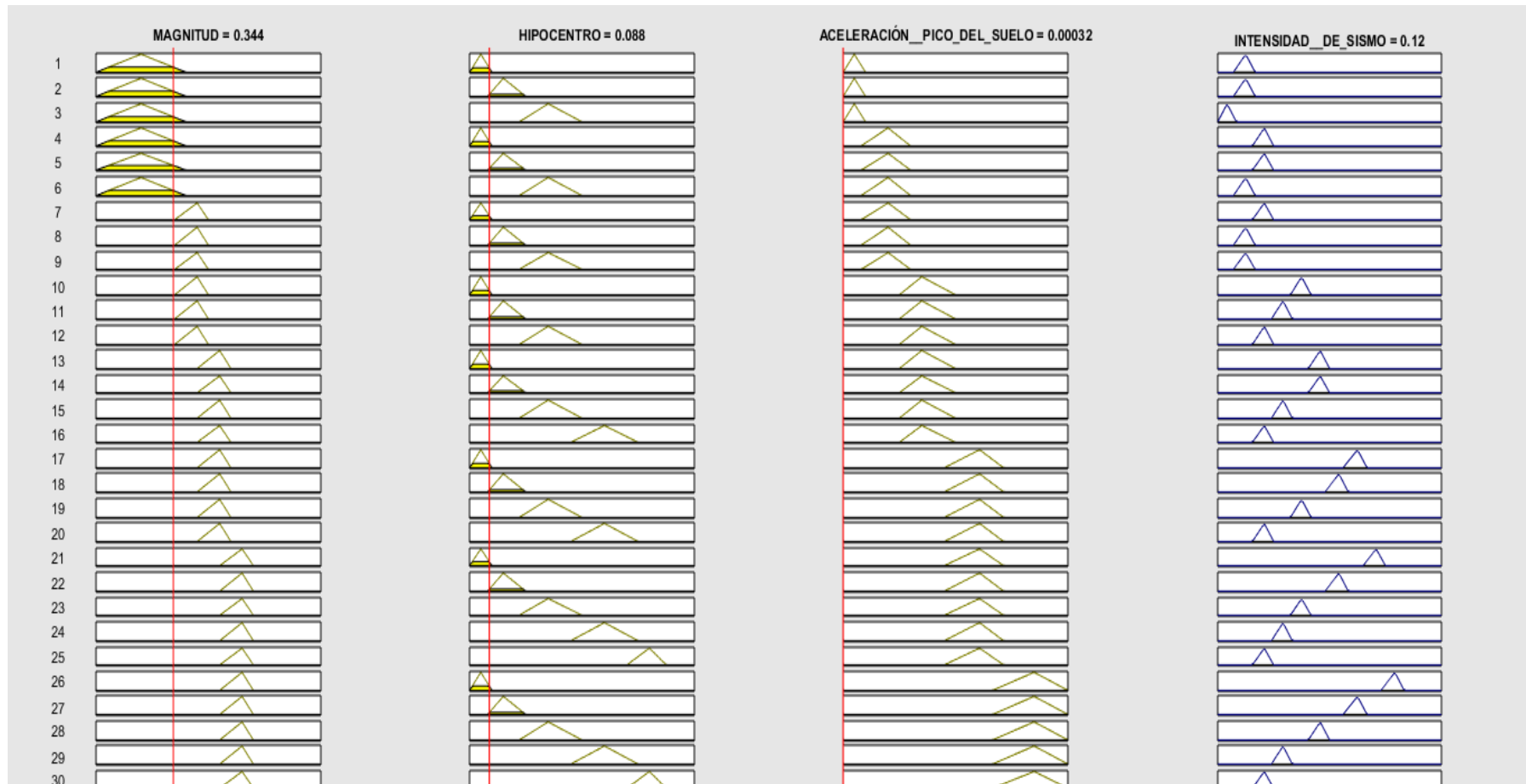
Fuente: Elaboración propia

Figura 28: Sismo del 20/03/2019 con Magnitud: 5.5 ML, Hipocentro: 88 km, Aceleración pico del suelo: 0.43 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.500, Hipocentro: 0.220, Aceleración pico del suelo: 0.00086.



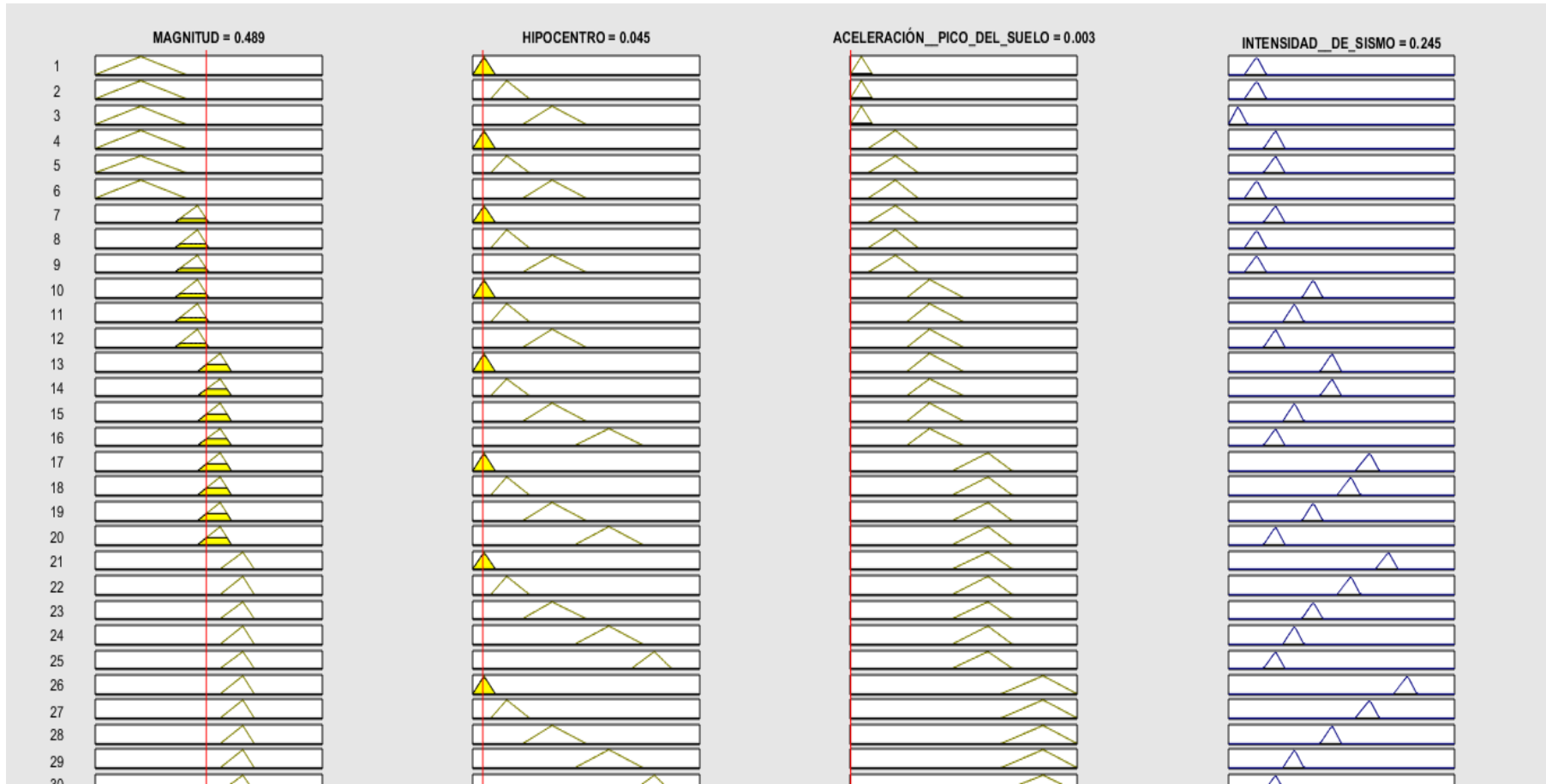
Fuente: Elaboración propia

Figura 29: Sismo del 10/03/2018 con Magnitud: 4.1 ML, Hipocentro: 35 km, Aceleración pico del suelo: 0.16 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.344, Hipocentro: 0.088, Aceleración pico del suelo: 0.00032.



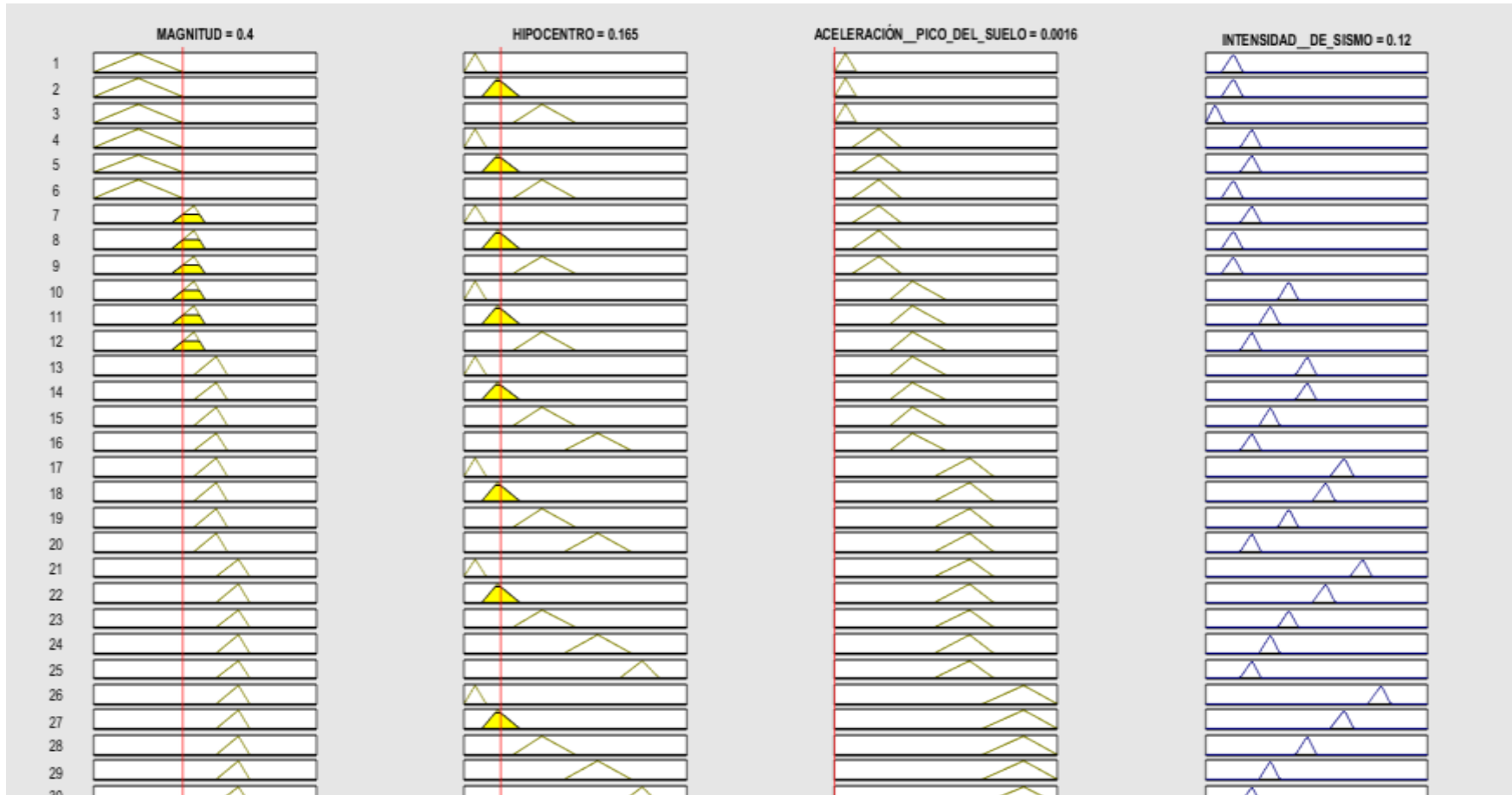
Fuente: Elaboración propia

Figura 30: Sismo del 06/03/2019 con Magnitud: 5.4 ML, Hipocentro: 18 km, Aceleración pico del suelo: 0.43 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4849
Hipocentro: 0.045, Aceleración pico del suelo: 0.00300.



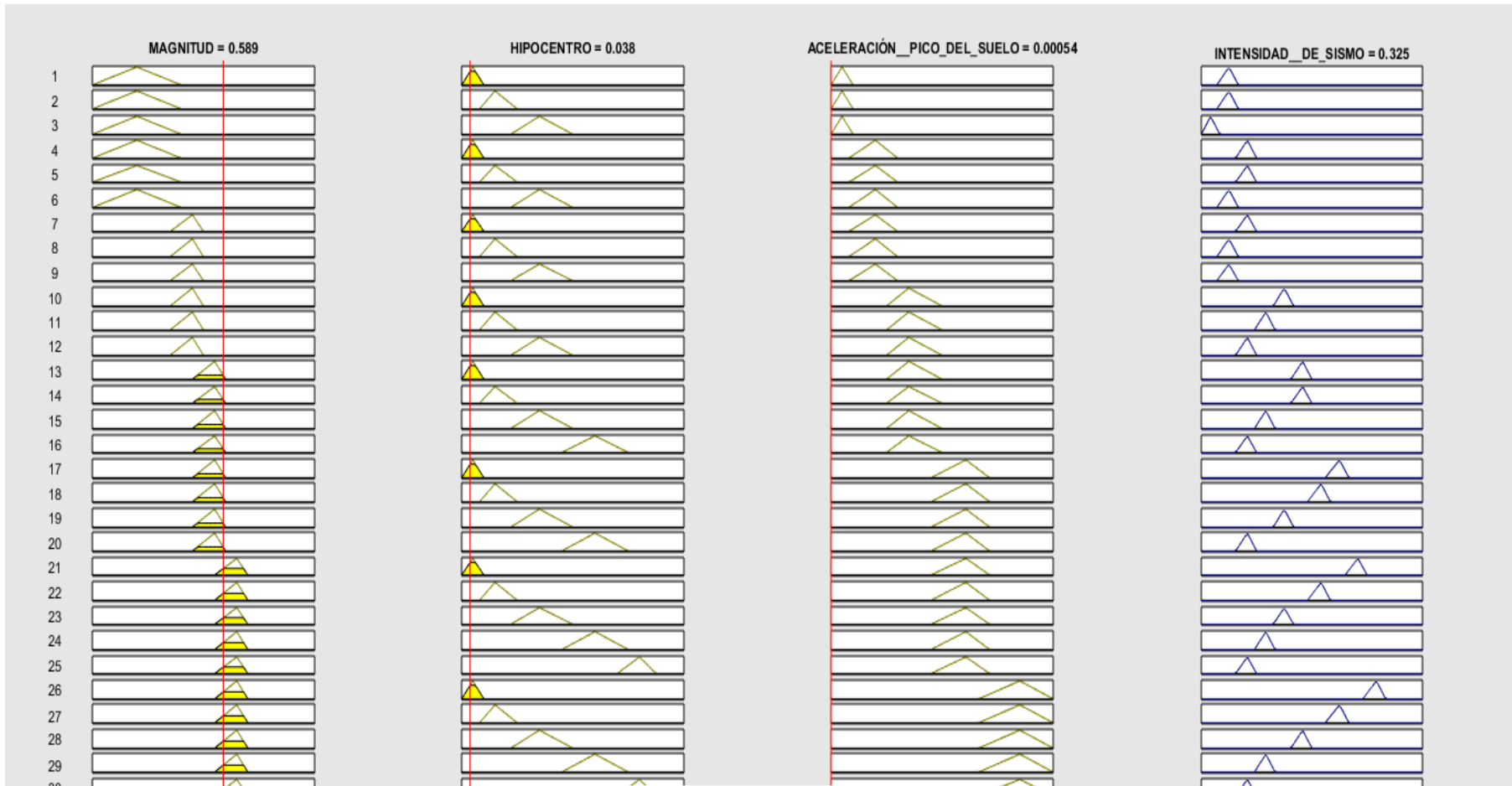
Fuente: Elaboración propia

Figura 31: Sismo del 09/03/2020 con Magnitud: 4.6 ML, Hipocentro: 66 km, Aceleración pico del suelo: 0.80 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.400, Hipocentro: 0.165, Aceleración pico del suelo: 0.0016.



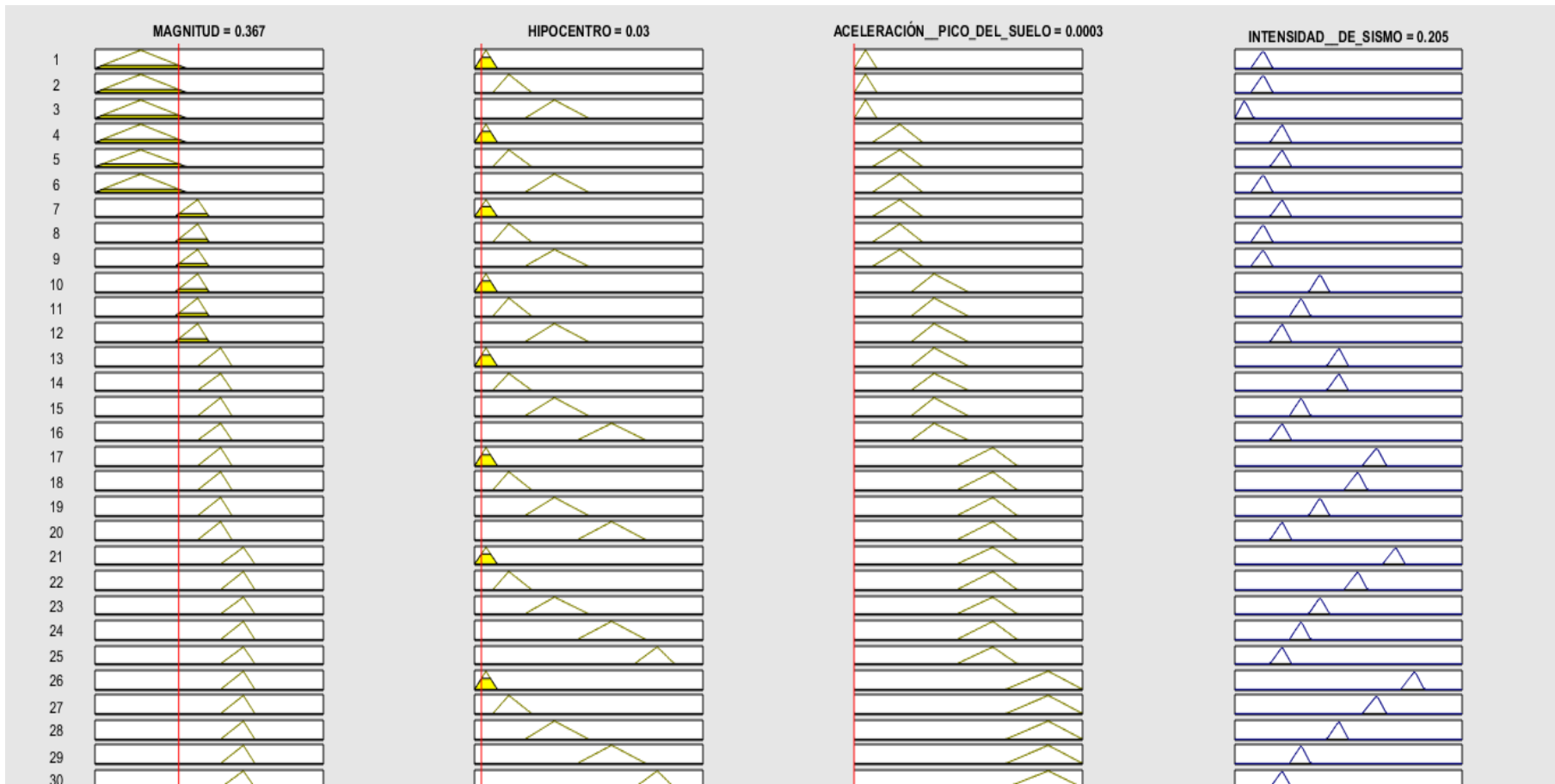
Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Sismo del 08/01/2020 con Magnitud: 6.3 ML, Hipocentro: 15 km, Aceleración pico del suelo: 0.27 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.589, Hipocentro: 0.038, Aceleración pico del suelo: 0.00054.



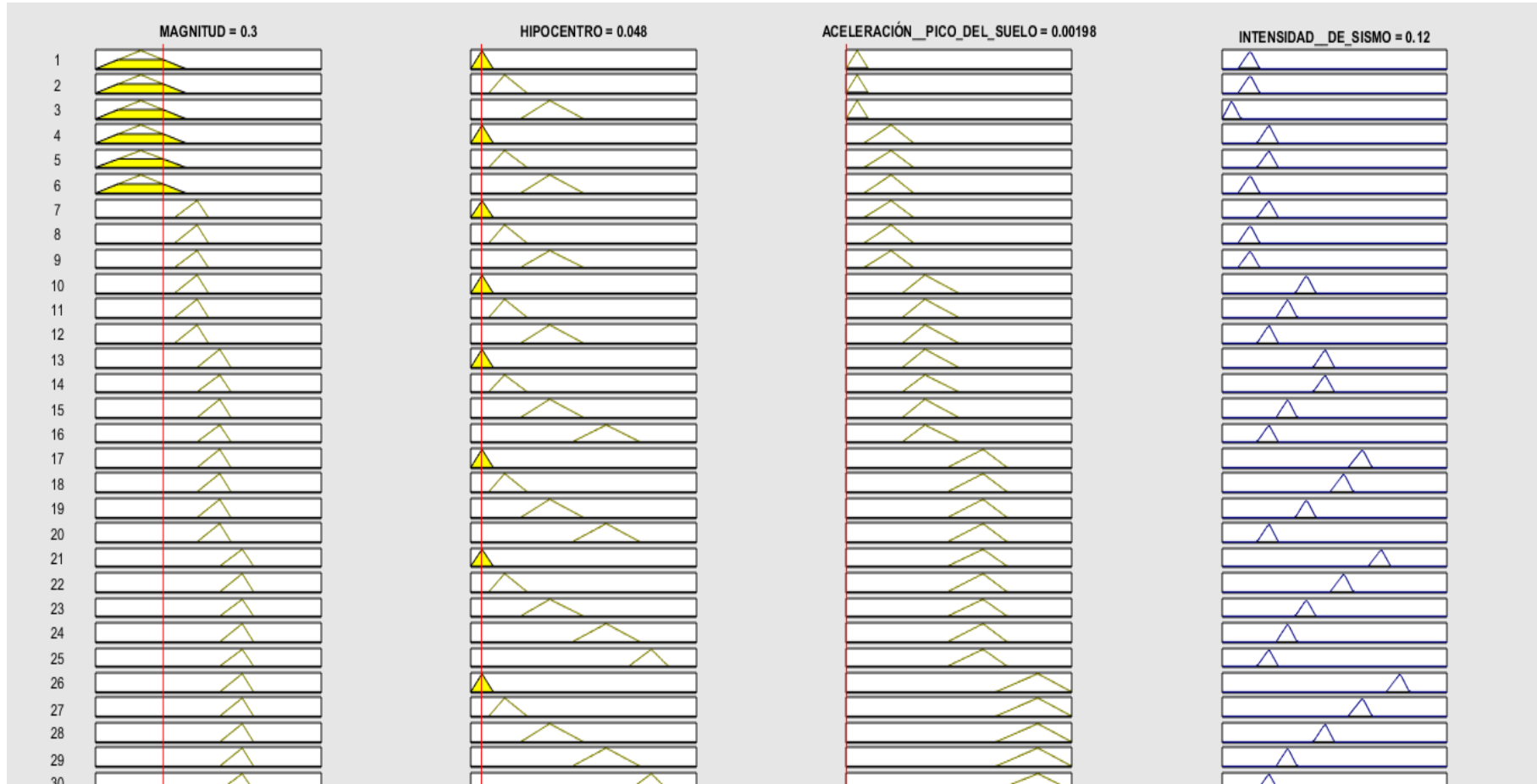
Fuente: Elaboración propia

Figura 33: Sismo del 19/07/2020 con Magnitud: 4.3 ML, Hipocentro: 12 km, Aceleración pico del suelo: 0.15 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.367, Hipocentro: 0.030, Aceleración pico del suelo: 0.00030.



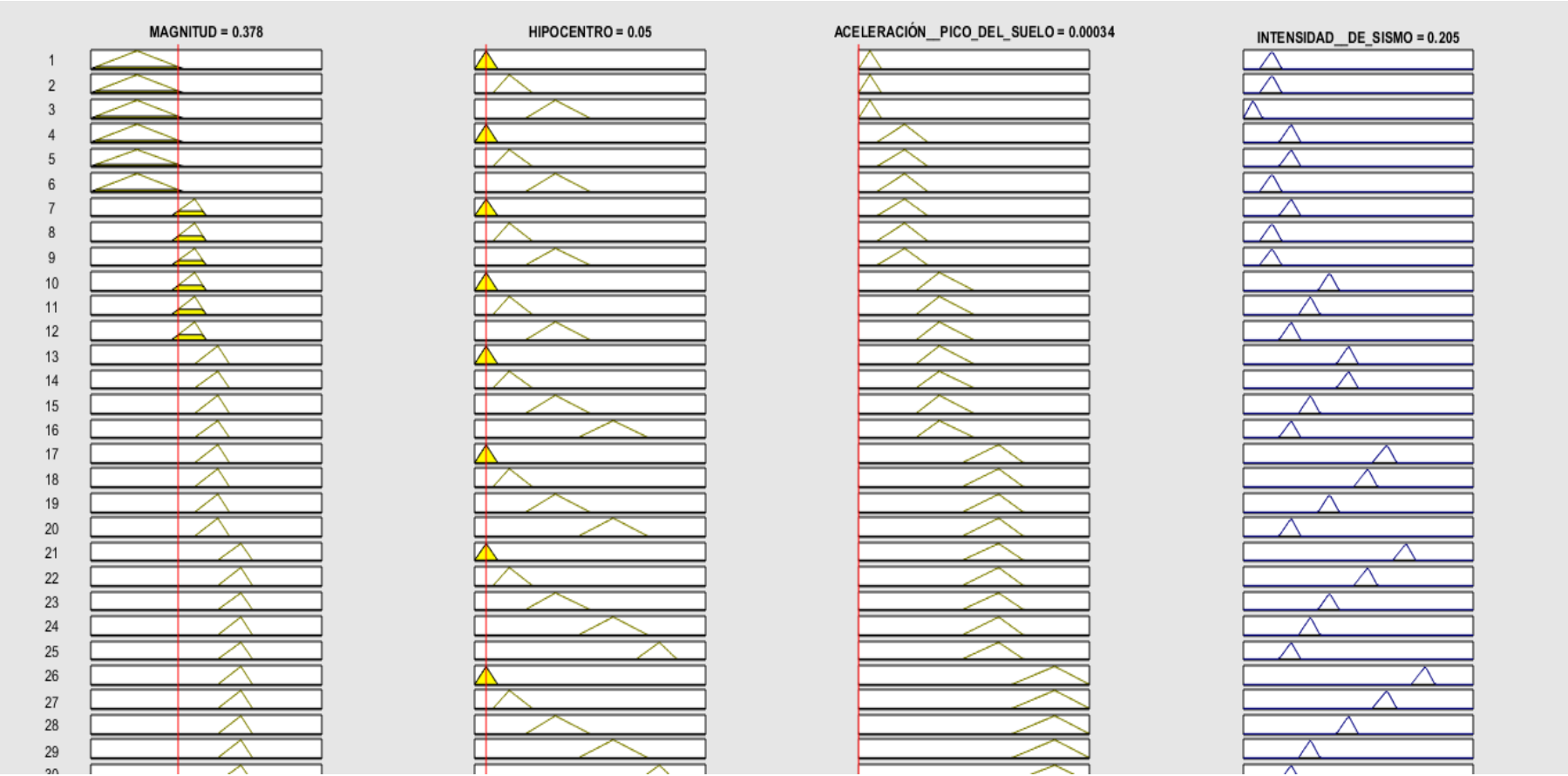
Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Sismo del 22/05/2020 con Magnitud: 3.7 ML, Hipocentro: 19 km, Aceleración pico del suelo: 0.99 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.300, Hipocentro: 0.048, Aceleración pico del suelo: 0.00198.



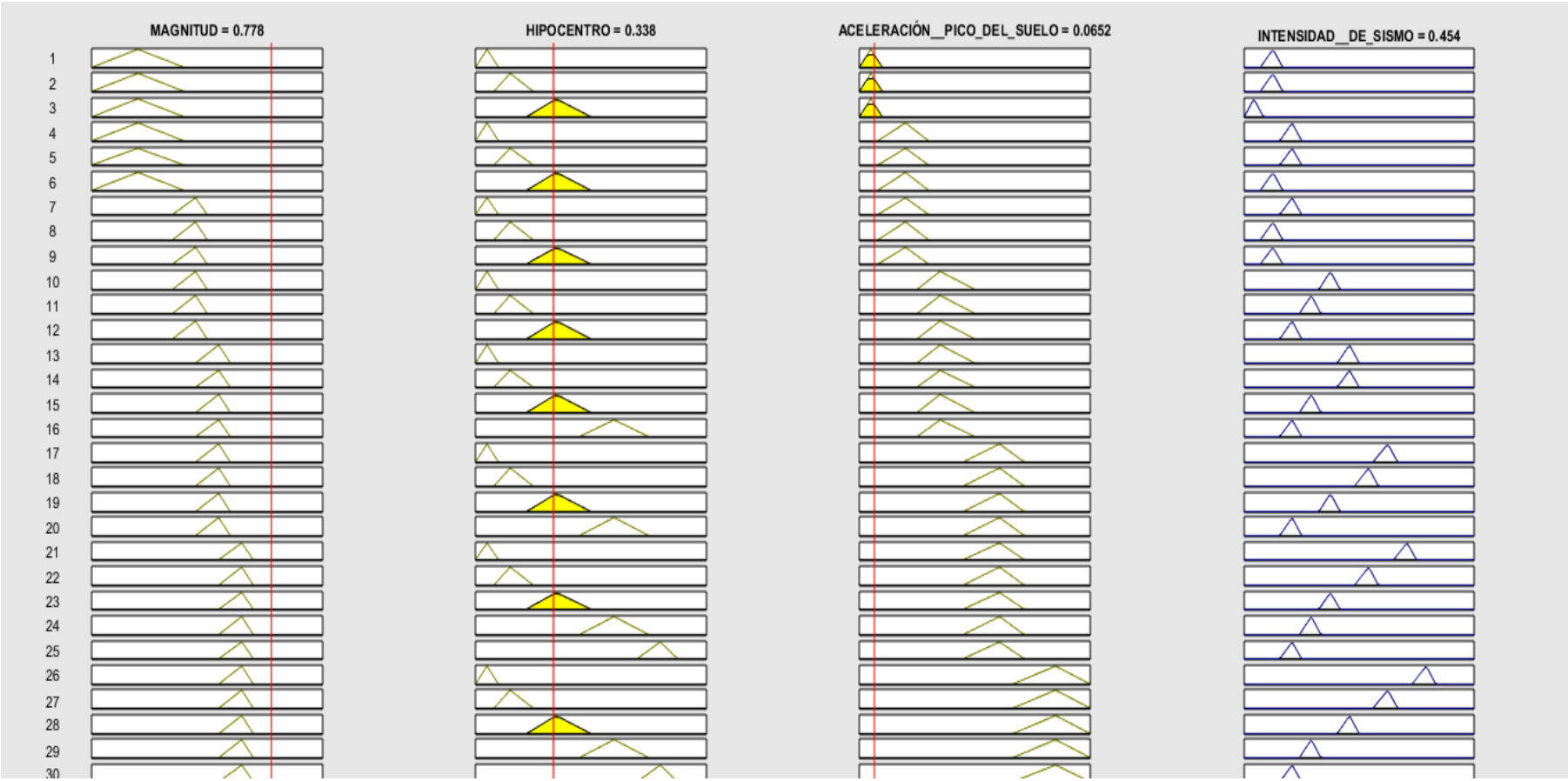
Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Sismo del 01/09/2018 con Magnitud: 4.4 ML, Hipocentro: 20 km, Aceleración pico del suelo: 0.17 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.378, Hipocentro: 0.050, Aceleración pico del suelo: 0.00034.



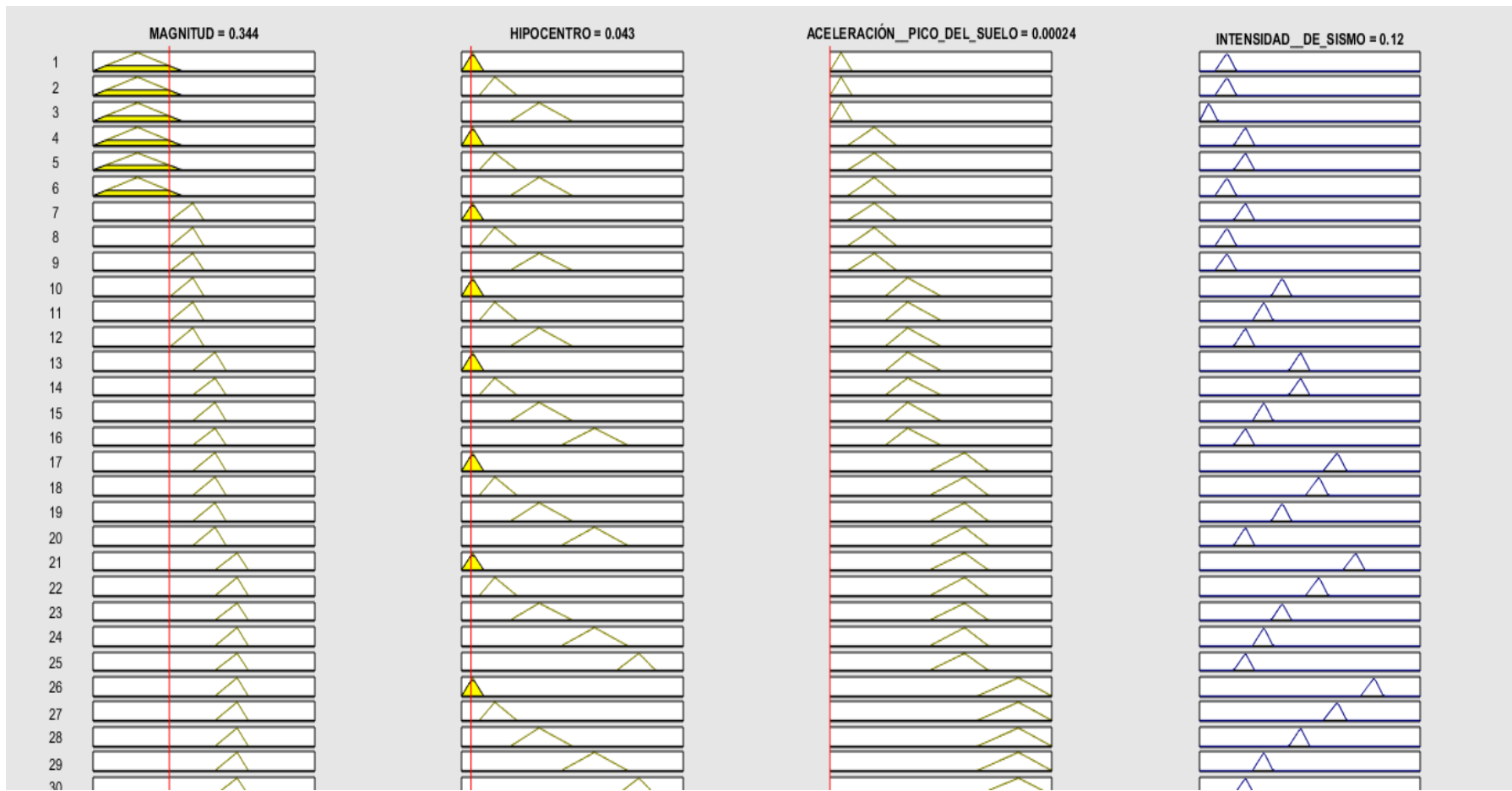
Fuente: Elaboración propia

Figura 36: Sismo del 03/01/2020 con Magnitud: 8.0 Mw, Hipocentro: 135 km, Aceleración pico del suelo: 32.6 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.778, Hipocentro: 0.338, Aceleración pico del suelo: 0.06520.



Fuente: Elaboración propia

Figura 37: Sismo del 08/02/2020 con Magnitud: 4.1 ML, Hipocentro: 17 km, Aceleración pico del suelo: 0.12 cm/s²; en valores normalizados, Magnitud :0.344, Hipocentro: 0.043, Aceleración pico del suelo: 0.00024.



Fuente: Elaboración propia

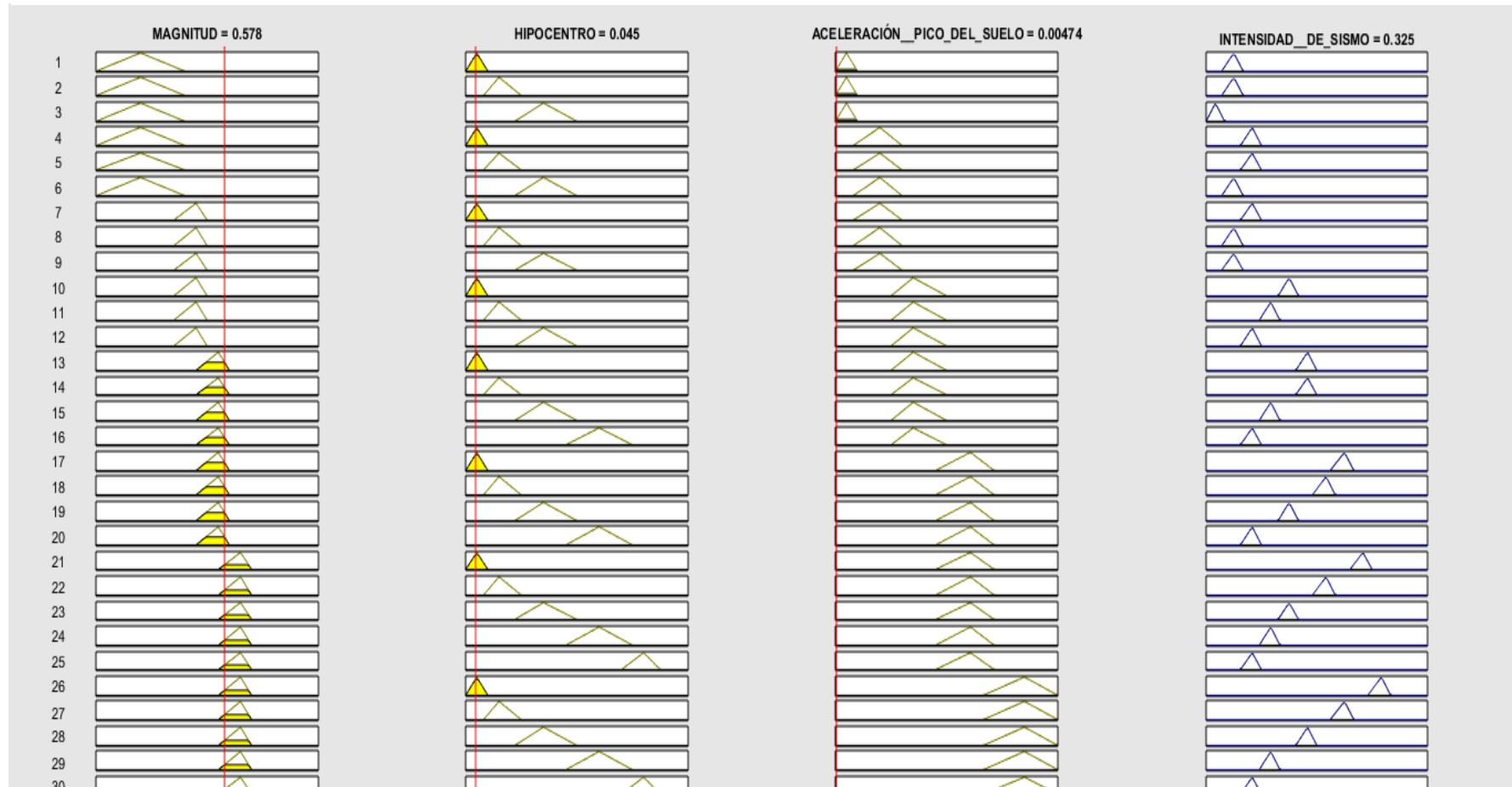
- b) Proceso de defuzzificación para cada sismo, empleando la base de datos con el 30 % de sismos con valores normalizados según la Anexo 3.

Figura 38: Sismo del 11/08/2017 con Magnitud: 4.2 ML, Hipocentro: 33 km, Aceleración pico del suelo: 0.26 cm/s²; en valores normalizados, Magnitud :0.3556, Hipocentro: 0.0825, Aceleración pico del suelo: 0.00052.



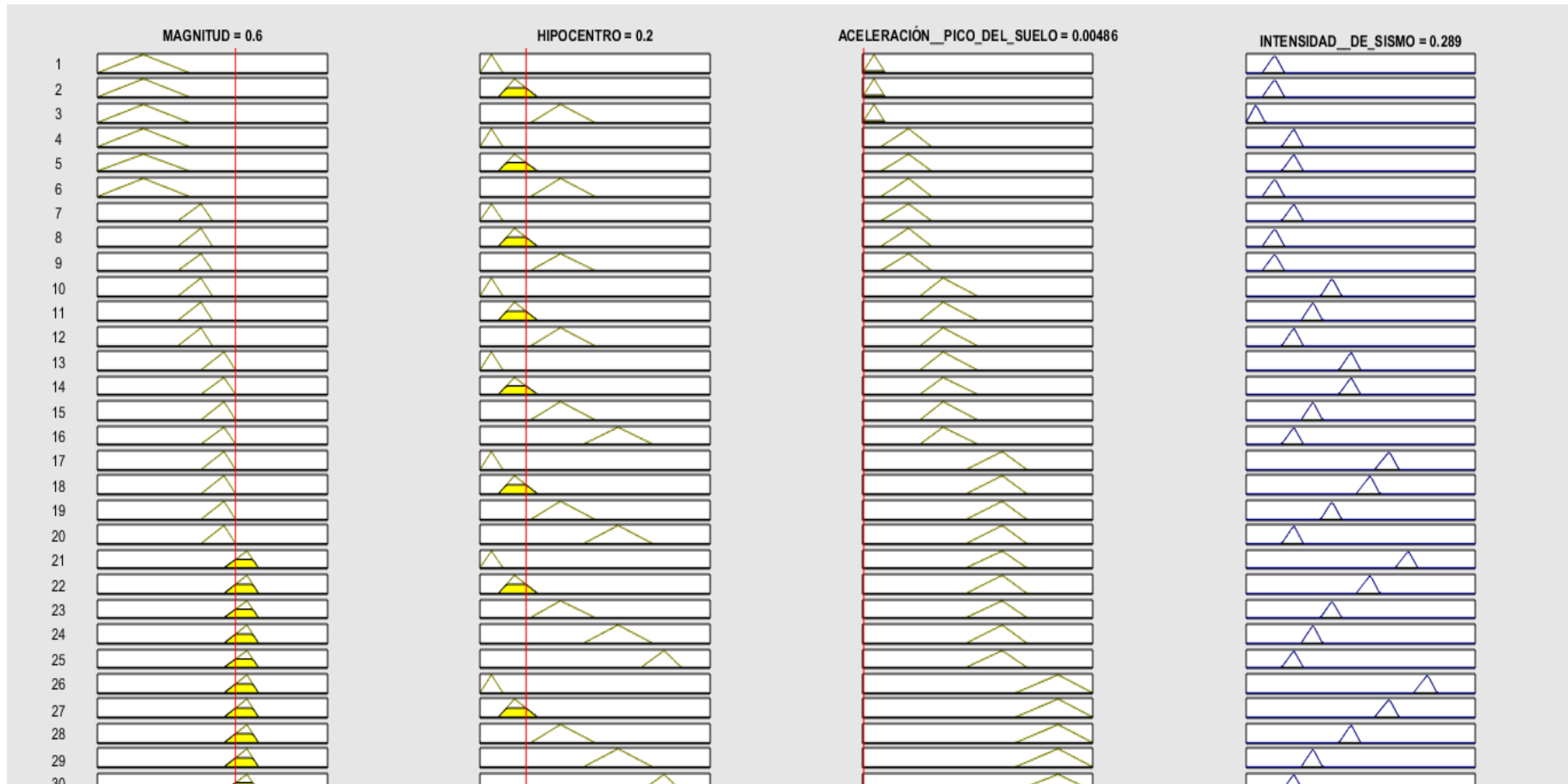
Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Sismo del 05/06/2017 con Magnitud: 6.2 ML, Hipocentro: 18 km, Aceleración pico del suelo: 2.37 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.5778, Hipocentro: 0.0450, Aceleración pico del suelo: 0.00474.



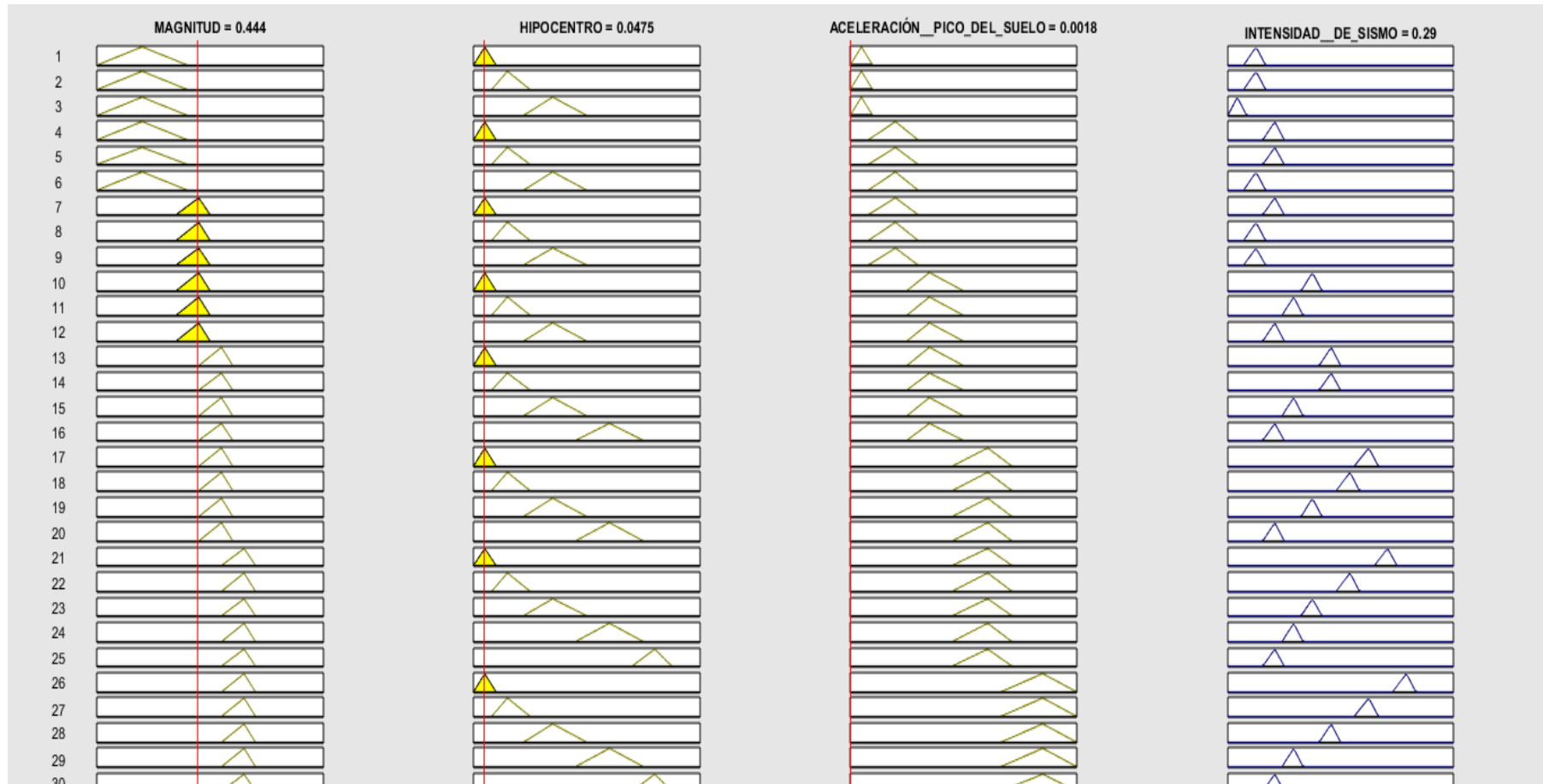
Fuente: Elaboración propia

Figura 40: Sismo del 06/09/2018 con Magnitud: 6.4 ML, Hipocentro: 80 km, Aceleración pico del suelo: 2.43 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.600, Hipocentro: 0.200, Aceleración pico del suelo: 0.00486.



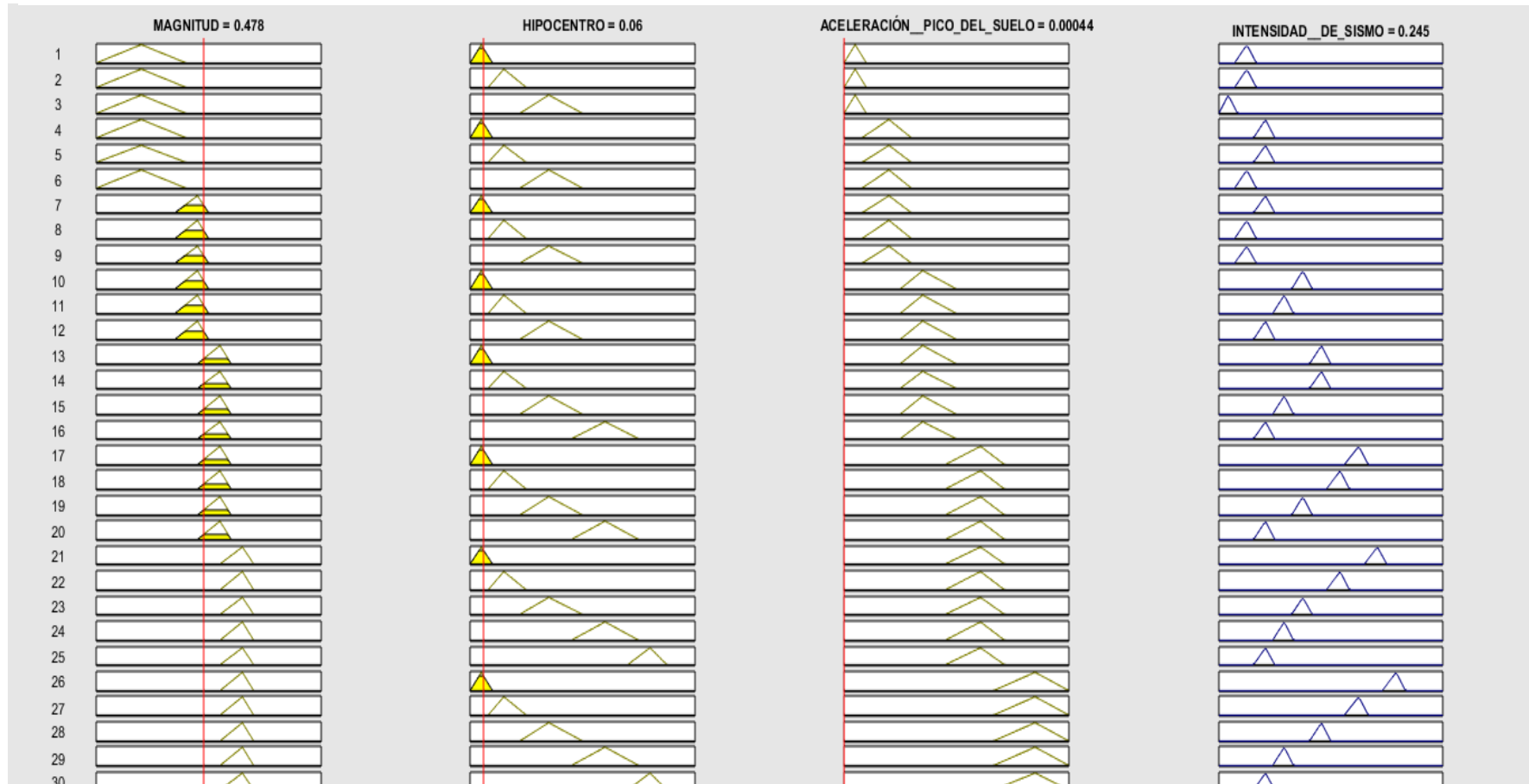
Fuente: Elaboración propia

Figura 41: Sismo del 03/01/2019 con Magnitud: 5.0 ML, Hipocentro: 19 km, Aceleración pico del suelo: 0.90 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4444, Hipocentro: 0.475, Aceleración pico del suelo: 0.00180.



Fuente: Elaboración propia

Figura 42: Sismo del 15/01/2019 con Magnitud: 5.3 ML, Hipocentro: 24 km, Aceleración pico del suelo: 0.22cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4778, Hipocentro: 0.060, Aceleración pico del suelo: 0.00044.



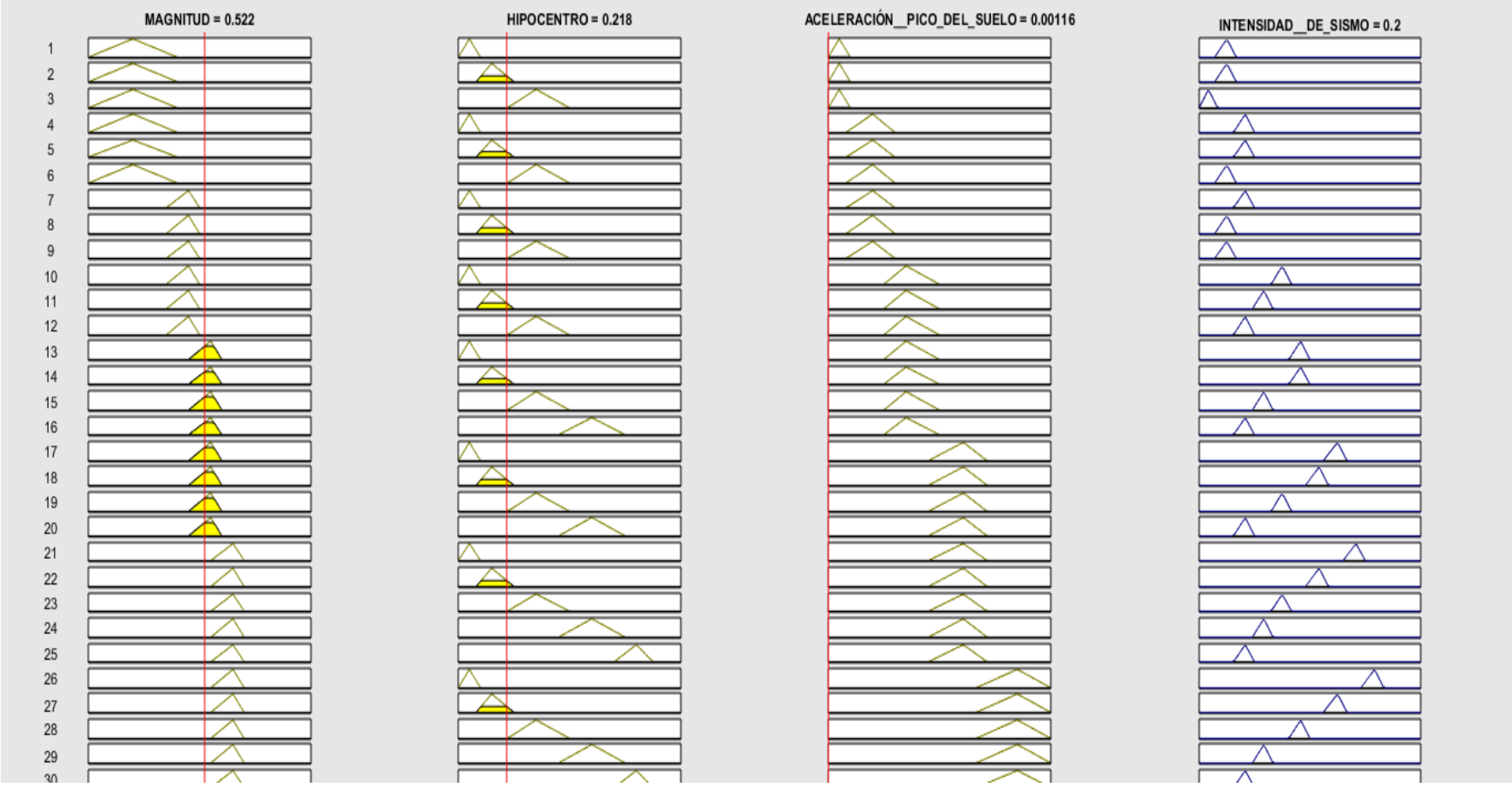
Fuente: Elaboración propia

Figura 43: Sismo del 04/02/2019 con Magnitud: 5.9 ML, Hipocentro: 73 km, Aceleración pico del suelo: 1.41 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.5444, Hipocentro: 0.1825, Aceleración pico del suelo: 0.00282.



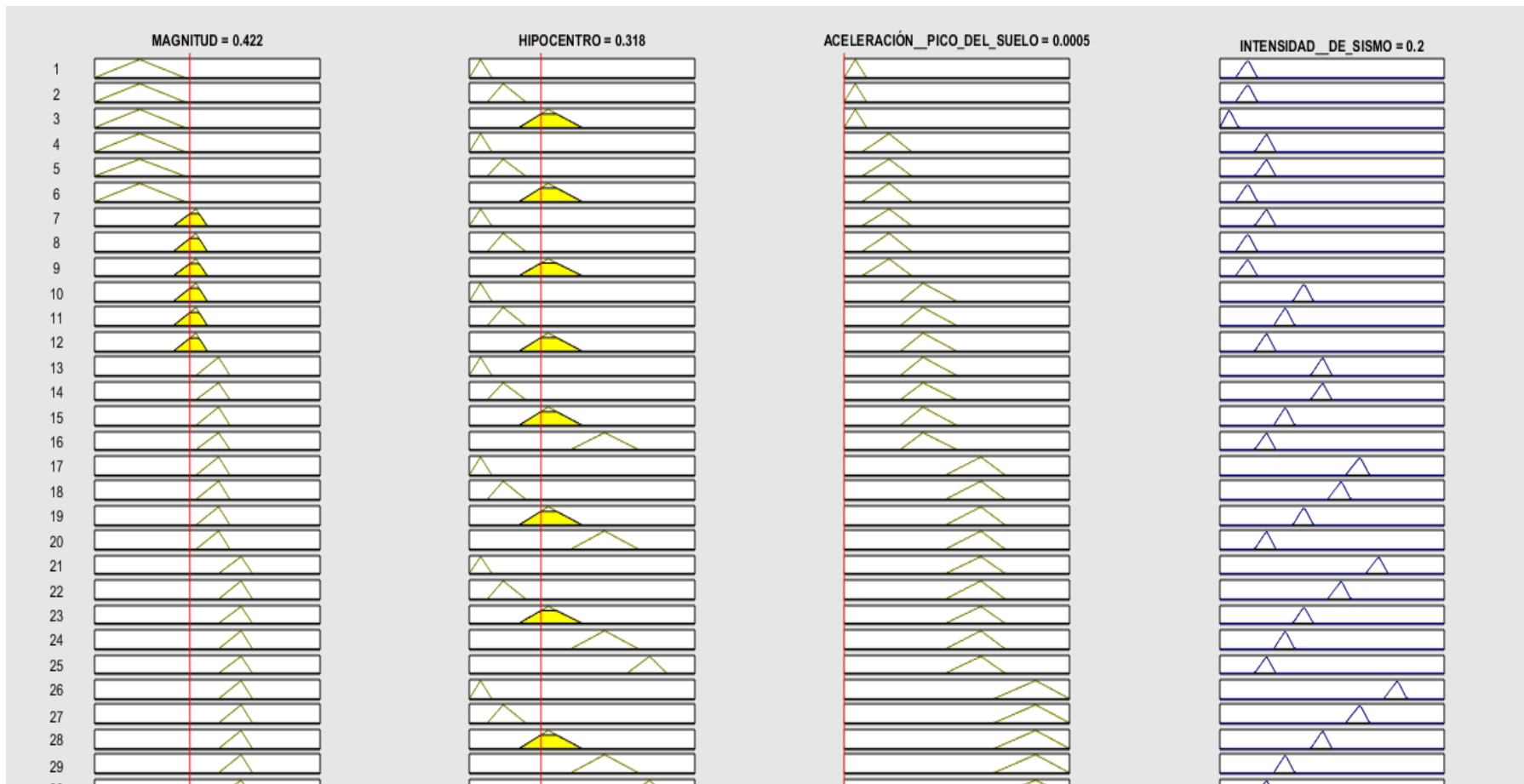
Fuente: Elaboración propia

Figura 44: Sismo del 22/02/2019 con Magnitud: 5.7 ML, Hipocentro: 87 km, Aceleración pico del suelo: 0.58 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.5222, Hipocentro: 0.2175, Aceleración pico del suelo: 0.00116.



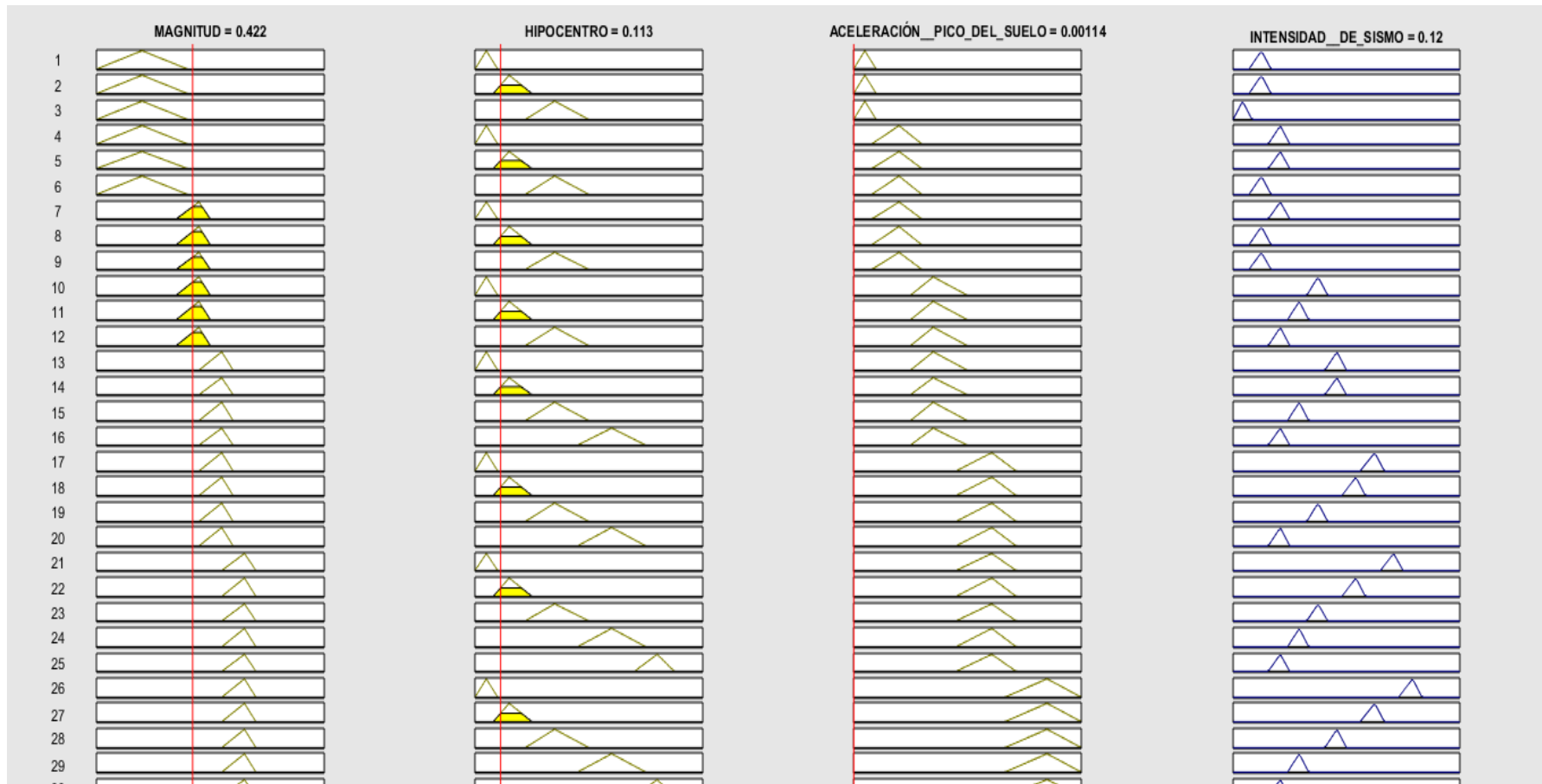
Fuente: Elaboración propia

Figura 45: Sismo del 06/08/2019 con Magnitud: 4.8 ML, Hipocentro: 127 km, Aceleración pico del suelo: 0.25cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4222, Hipocentro: 0.3175, Aceleración pico del suelo: 0.00050.



Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Sismo del 19/11/2019 con Magnitud: 4.8 ML, Hipocentro: 45 km, Aceleración pico del suelo: 0.57 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.4222, Hipocentro: 0.1125, Aceleración pico del suelo: 0.00114.



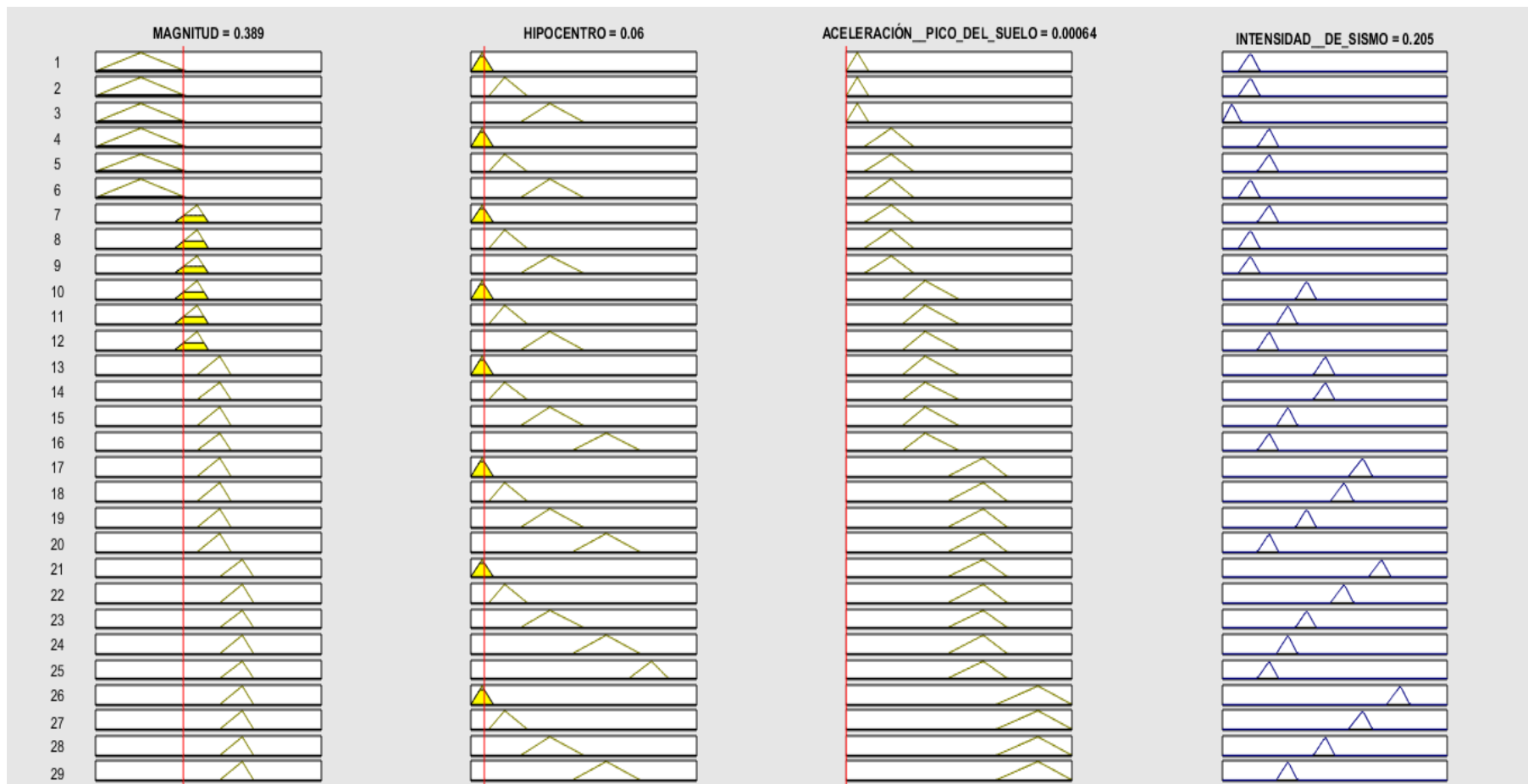
Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Sismo del 02/04/2020 con Magnitud: 4.6 ML, Hipocentro: 42 km, Aceleración pico del suelo: 0.34 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.400, Hipocentro: 0.105, Aceleración pico del suelo: 0.00068.



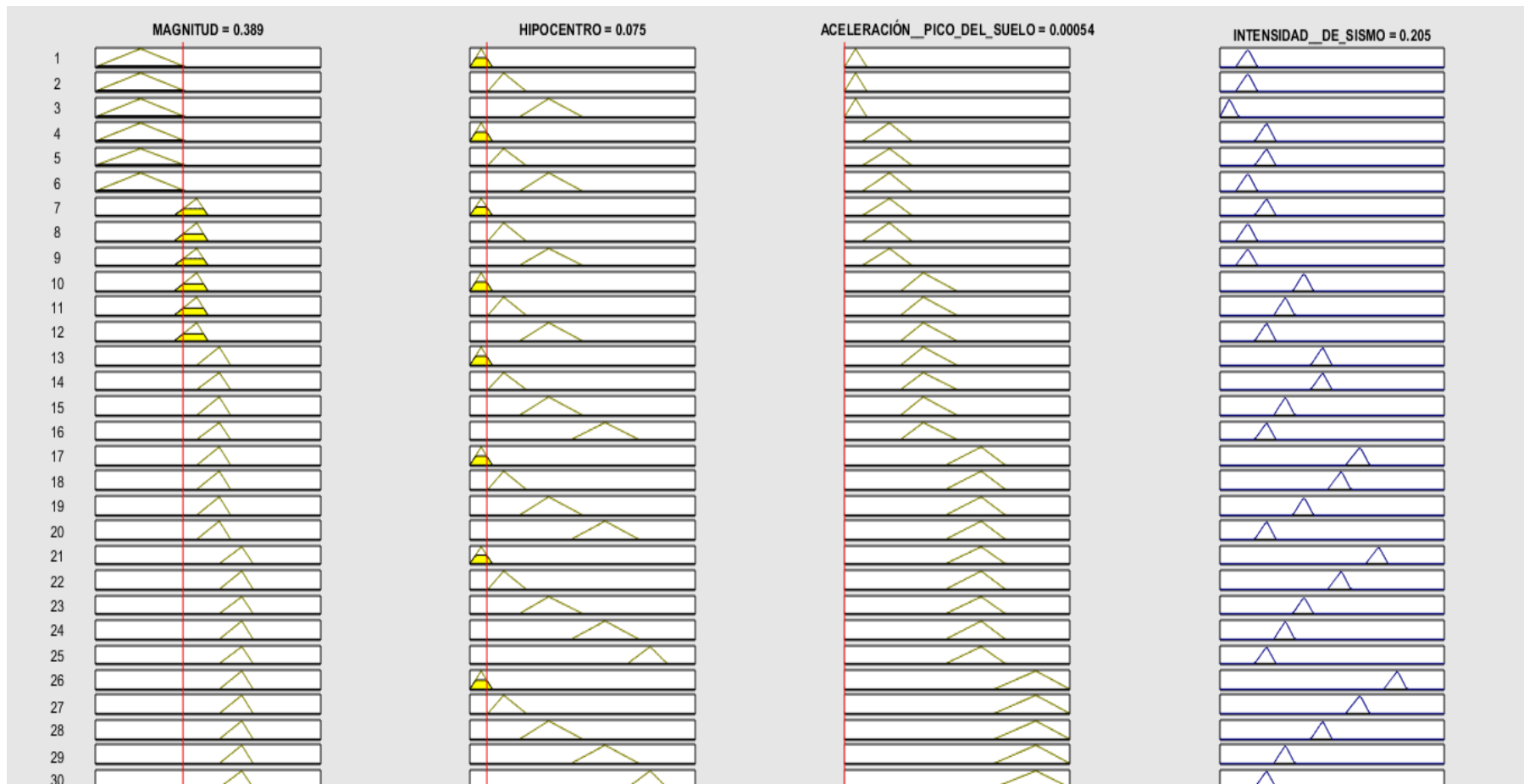
Fuente: Elaboración propia

Figura 48: Sismo del 25/04/2020 con Magnitud: 4.5 ML, Hipocentro: 24 km, Aceleración pico del suelo: 0.32 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.3889, Hipocentro: 0.060, Aceleración pico del suelo: 0.00064.



Fuente: Elaboración propia

Figura 49: Sismo del 17/05/2020 con Magnitud: 4.5 ML, Hipocentro: 30 km, Aceleración pico del suelo: 0.27 cm / s² ; en valores normalizados, Magnitud :0.3889, Hipocentro: 0.075, Aceleración pico del suelo: 0.00054.



Fuente: Elaboración propia

4.4. Validar el modelo mediante análisis de residuos.

En las tablas 9, 10,11 y 12, se presenta los datos normalizados, obtenidos por los reportes sísmicos de la red acelerográfica y por el modelo.

En la tabla 13 y 15, se presentan los datos obtenidos en el proceso de validación y calibración del modelo, donde se han empleado las ecuaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7. Permitiendo de esa manera, verificar si el modelo realizado es confiable, respetando los rangos de validez detallados en cada una de las ecuaciones antes mencionadas.

En la Tabla 9, se presentan los valores normalizados, según los datos obtenidos de los reportes sísmicos de la red acelerográfica (Datos observados “ Q_i^{obs} ”) y en la tabla 10, los valores normalizados, obtenidos por el modelo (Datos obtenidos del modelo “ Q_i^{mod} ”), correspondientes al 70 % de sismos empleados según Anexo 10.

Tabla 9: Datos observados de intensidad sísmica normalizada, con el 70 % de sismos empleados, según el Anexo 10.

Datos observados (Según registros sísmicos “Q_i^{obs}”)
0.182
0.091
0.091
0.091
0.182
0.182
0.364
0.091
0.091
0.182
0.182
0.182
0.091
0.182
0.182

0.364
0.091
0.091
0.091
0.182
0.182
0.273
0.364
0.091
0.091
0.455
0.091

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Datos obtenidos de intensidad sísmica normalizada, con el 70 % de sismos empleados, según el

Anexo 10.

Datos obtenidos del modelo “Q_i^{mod}”
0.2
0.12
0.12
0.12
0.16
0.2
0.245
0.12
0.12
0.205
0.287
0.12
0.12

0.12
0.2
0.453
0.12
0.12
0.2
0.245
0.12
0.205
0.325
0.12
0.205
0.454
0.12

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 11 y 12, se presentan valores normalizados, según los datos obtenidos por los reportes sísmicos de la red acelerográfica (Datos observados “ Q_i^{obs} ”) y los valores obtenidos por el modelo (Datos obtenidos del modelo “ Q_i^{mod} ”), correspondientes al 30 % de sismos empleados según Anexo 11.

Tabla 11: Valores de intensidad sísmica normalizada, con el 30 % de sismos empleados, según el Anexo 11.

Datos observados (Según registros sísmicos “Q_i^{obs}”)
0.36364
0.09091
0.27273
0.27273
0.18182
0.18182

0.18182
0.09091
0.18182
0.18182
0.18182
0.09091

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Datos obtenidos de intensidad sísmica normalizada, con el 30 % de sismos empleados, según el Anexo 11.

Datos obtenidos del modelo “Q_i^{mod}”
0.325
0.205
0.289
0.29
0.245
0.2
0.2
0.2
0.12
0.12
0.205
0.205

Fuente: Elaboración propia

4.5. Calibración y verificación del modelo.

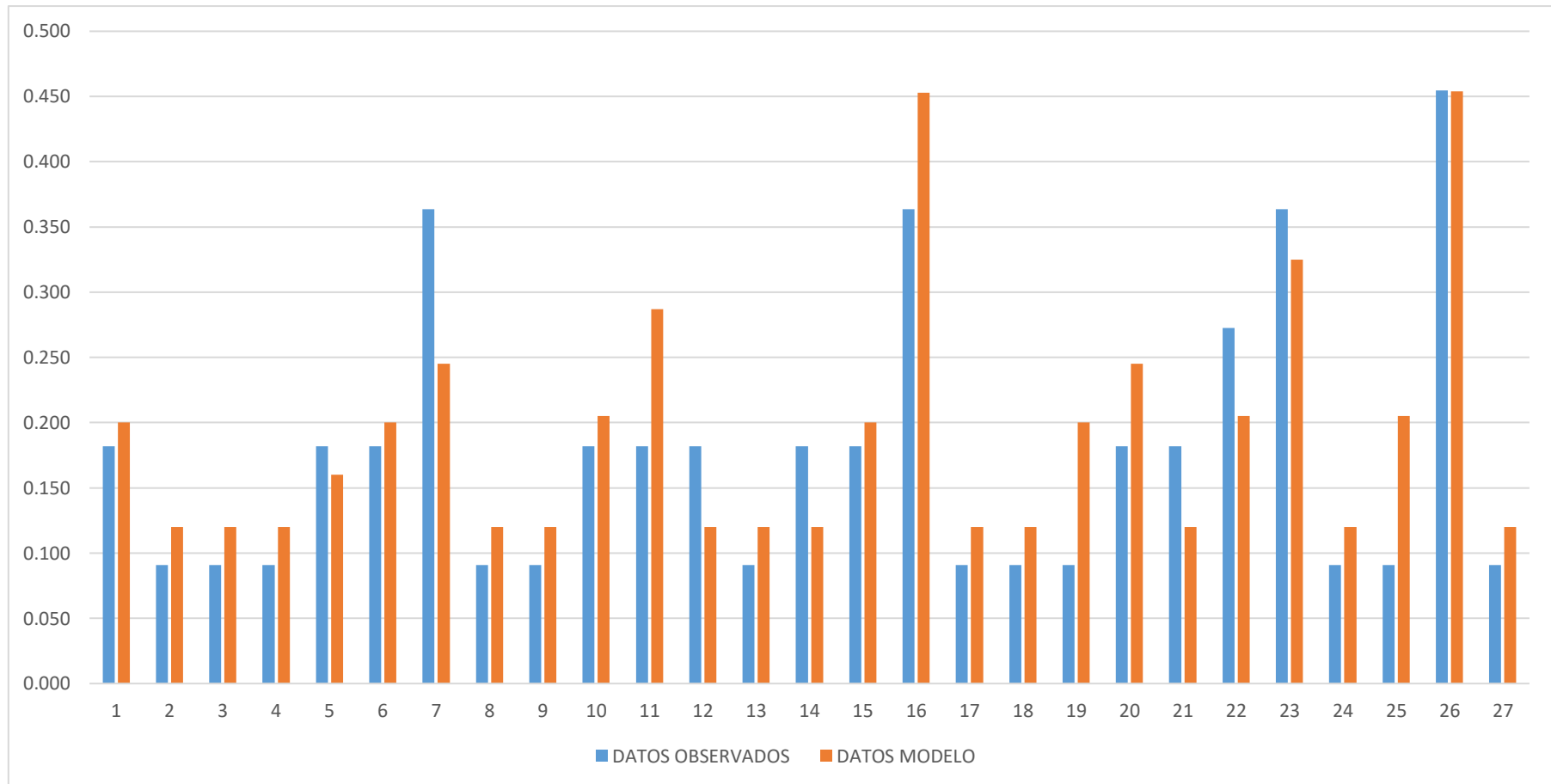
En la Tabla 13, se presenta el resumen obtenido para cada criterio de validación correspondiente al 70 % de registros sísmicos, dónde se puede apreciar que se obtiene un porcentaje de validación mayor al 70 % con el criterio de R^2 .

Tabla 13: Resumen de valores obtenidos por los diferentes criterios de validación, empleando el 70 % de registros sísmicos.

Criterios de validación	Valor
MAE	0.047
NSE	0.678
RMSE	0.080
R^2	0.708
CD	1.144
MEF	0.678
C	0.2713

Fuente: Elaboración propia

Figura 50: Diagrama de columnas, donde se puede observar la variación entre los datos observados y los datos obtenidos por el modelo, con el 70 % de sismos empleados.



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14, se presenta la comparación entre el grado de intensidad brindado por los reportes sísmicos de la red acelerográfica según la escala de Mercalli Modificado y su respectivo valor normalizado y el grado de intensidad obtenido por el modelo, según la representación de la escala de Mercalli Modificado y su respectivo valor normalizado.

Tabla 14: Comparación de valores de grado de intensidad obtenidos por el modelo realizado y los valores brindados por el 70 % de registros sísmicos.

Valores de grado de intensidad observado		Valores de grado de intensidad obtenido por el modelo	
Grado de Intensidad	Valor normalizado	Grado de Intensidad	Valor normalizado
III	0.182	III	0.2
II	0.091	II	0.12
II	0.091	II	0.12
II	0.091	II	0.12
III	0.182	III	0.16
III	0.182	III	0.2
V	0.364	IV	0.245
II	0.091	II	0.12
II	0.091	II	0.12
III	0.182	III	0.205
III	0.182	IV	0.287
III	0.182	II	0.12
II	0.091	II	0.12
III	0.182	II	0.12
III	0.182	III	0.2
V	0.364	VI	0.453
II	0.091	II	0.12
II	0.091	II	0.12
II	0.091	III	0.2
III	0.182	III	0.245
III	0.182	II	0.12
IV	0.273	III	0.205
V	0.364	V	0.325

II	0.091	II	0.12
II	0.091	III	0.205
VI	0.455	VI	0.454
II	0.091	II	0.12

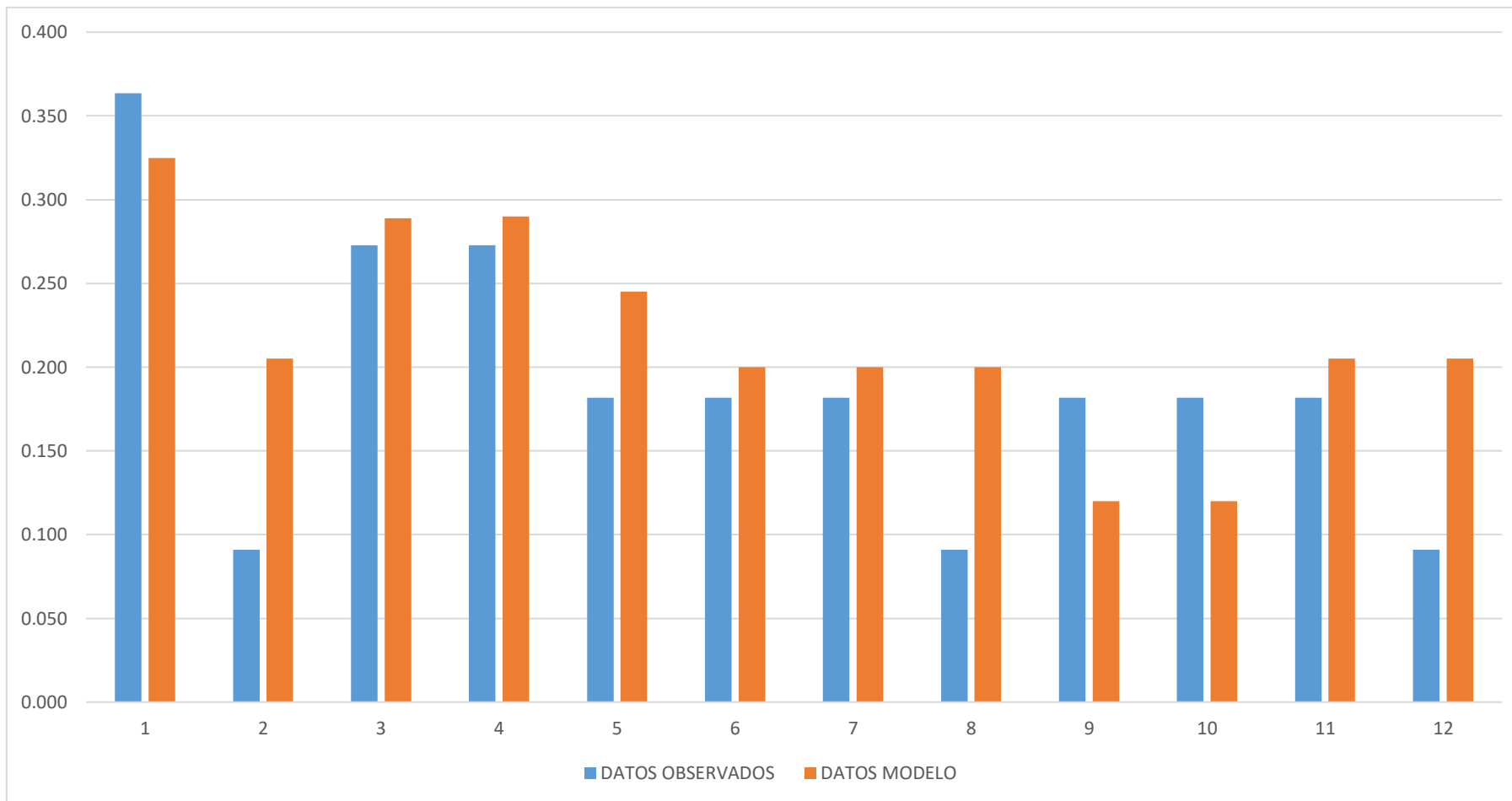
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15, se presenta el resumen obtenido para cada criterio de validación correspondiente al 30 % de registros sísmicos, dónde se puede apreciar que se obtiene un porcentaje de validación mayor al 40 % con el criterio de R^2 .

Tabla 15: Resumen de valores obtenidos por los diferentes criterios de validación, empleando el 30 % de registros sísmicos.

Criterios de validación	Valor
MAE	0.063
NSE	0.283
RMSE	0.066
R^2	0.4207
CD	1.411
MEF	0.283
C	0.3319

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 51: Diagrama de columnas, donde se puede observar la variación entre los datos observados y los datos obtenidos por el modelo, con el 30 % de sismos empleados.

En la Tabla 16, se presenta la comparación entre el grado de intensidad brindado por los reportes sísmicos de la red acelerográfica según la escala de Mercalli Modificado y su respectivo valor normalizado y el grado de intensidad obtenido por el modelo, según la representación de la escala de Mercalli Modificado y su respectivo valor normalizado.

Tabla 16: Comparación de valores de grado de intensidad obtenidos por el modelo realizado y los valores brindados por el 30 % de registros sísmicos.

Valores de grado de intensidad observado		Valores de grado de intensidad obtenido por el modelo	
Grado de Intensidad	Valor normalizado	Grado de Intensidad	Valor normalizado
V	0.36364	V	0.325
II	0.09091	III	0.205
IV	0.27273	IV	0.289
IV	0.27273	IV	0.29
III	0.18182	IV	0.245
III	0.18182	III	0.2
III	0.18182	III	0.2
II	0.09091	III	0.2
III	0.18182	II	0.12
III	0.18182	II	0.12
III	0.18182	III	0.205
II	0.09091	III	0.205

Fuente: Elaboración propia

V. DISCUSIÓN

Para la presente tesis se han empleado treinta y nueve reportes sísmicos, registrados desde el 30/01/2017 hasta el 07/06/2020, en comparación con el artículo presentado por G.Preethi y B.Santhi de la India, en la Jornada Internacional de aplicaciones informáticas, realizado en el año 2011 en Reino Unido, donde se han empleado cincuenta reportes sísmicos desde el año 2000 al 2011.

Se han identificado diferentes modelos, los cuales se presenta en las ecuaciones 8, 9 y 10 de la respectiva tesis; sin embargo, dichas ecuaciones son generadas según la realidad de cada país permitiendo hallar un valor de intensidad de sismo; sin embargo, no es de aplicación confiable en cualquier parte del mundo, ya que son ecuaciones planteadas para México, Oeste de EE.UU y Japón; por ello, por medio de la presente tesis, se busca un modelo de aplicación para la ciudad de Jaén.

En la elaboración del modelo y a partir del uso del software Matlab se pudo llegar a obtener una estimación de más del 70 % de la intensidad de sismo a partir de las variables obtenidas de los reportes sísmicos de la red acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.

En la presente tesis, se han empleado cuatro variables para estimar la intensidad de sismo; en comparación con el artículo presentado por G.Preethi y B.Santhi de la India, en la Jornada Internacional de aplicaciones informáticas, realizado en el año 2011 en Reino Unido, donde se han empleado tres variables para estimar la intensidad de sismo.

El modelo generado en la presente tesis, consta de cincuenta y seis reglas difusas, en comparación con el modelo presentado por G.Preethi y B.Santhi de la India, en la Jornada Internacional de aplicaciones informáticas, realizado en el año 2011 en Reino Unido consta de seis reglas difusas

El proceso de validación mediante el análisis de residuos, permitió verificar el nivel de confiabilidad del modelo planteado, a partir del empleo de criterios de validación.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La caracterización de los registros sísmicos, permitió organizar una base de datos de los diferentes sismos registrados por la estación acelerográfica UNJ, la cual puede ser empleada para posteriores investigaciones o emplear su información para algún proyecto de ingeniería.

En el proceso de investigación para el proyecto, se pudo encontrar un solo modelo aplicando lógica difusa para estimar la intensidad o impacto del sismo, cuya aplicación se tuvo en Indonesia, por ello es necesario implementar la aplicación de nuevas tecnologías para comprender el mundo que nos rodea.

La elaboración del modelo aplicando lógica difusa, empleando reglas difusas y variables independientes según el área de estudio, permitió obtener un resultado favorable de la variable “Intensidad”, siendo el fin de la lógica difusa, describir u obtener resultados de eventos inciertos para las personas.

La selección de variables se ha realizado acorde a la realidad del área en estudio, empleando los datos brindados por los reportes sísmicos de la red acelerográfica.

El empleo del modelo elaborado mediante el software Matlab, el cual posee en su sistema el paquete “fuzzy”, permitió simplificar el proceso matemático para la obtención de los resultados de la variable “Intensidad”.

El empleo de los diferentes criterios de validación, permitió conocer la confiabilidad o veracidad del modelo elaborado, pudiendo a partir de los resultados, realizar la calibración del modelo, añadiendo o eliminando reglas difusas y obteniéndose una confiabilidad mayor al 70 %.

6.2. RECOMENDACIONES

Luego de la ocurrencia de algún evento sísmico, es necesario que las instituciones como el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), registre todos los daños ocasionados por dicho sismo en las construcciones, tanto de centros de salud, viviendas, centros educativos, locales comunales, municipales, información como la siguiente: material, antigüedad, tipo de suelo en el que se encuentra cimentado.

Es necesario que en una posterior investigación realizada en universidades o institutos, se aumenten la cantidad de variables en estudio, tal como el material de las construcciones existentes, tipos de suelos en las que se encuentran cimentadas o variables que el investigador crea conveniente emplear. Pudiendo de esa manera obtener un modelo más confiable a la realidad.

La Universidad Nacional de Jaén, debe ampliar su red de acelerógrafos en la ciudad de Jaén, para de esa manera tener un mejor conocimiento del comportamiento del suelo en la ciudad, siendo ello indispensable para los diseños antisísmicos.

Es necesario que el Instituto Geofísico del Perú y la Red Acelerográfica, implementen sus tecnologías para registrar los eventos sísmicos, así como los criterios para el procesamiento de la información. Para lo cual, no sólo se debe utilizar las ecuaciones antiguas, sino aplicar tecnología del siglo XXI, que se adecue a la realidad de cada país, ciudad o localidad, asimismo, la implementación de registro sísmico a partir de la adquisición de acelerógrafos y contar con un personal capacitado.

A la carrera profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Jaén, la implementación y adecuación del plan curricular, acorde el avance de la tecnología. Asimismo, brindar capacitaciones con el fin de enriquecer el conocimiento del estudiante; específicamente; en el área de la ingeniería sísmica.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benedini, M., & Tsakiris, G. (2013). En *Water Quality Modeling for Rivers and Streams* (págs. 226-228). Springer.
- Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada. (2006). *La Lógica Difusa en Ingeniería: Principios, aplicaciones y futuro*. Queretaro, México.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre. (2017). Dimensiones de la Vulnerabilidad. En *Manual Para Evaluación del Riesgo por Sismos*.
- Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres. (2017). *Manual para la evaluación de riesgo por sismos*. Lima.
- Christopher, A., & Reitherman, R. (1987). *Configuración y diseño sísmico de edificios*. México: Limusa.
- E. Hurtado, J., & Bedoya R., D. (2008). *Relación de la escala de intensidad de Mercalli y la información instrumental como una tarea de clasificación de patrones*. Universidad de Medellín, Medellín.
- García Reyes, L. E. (1998). Sismos, Sismogramas y Acelerogramas. En L. E. García Reyes, *Dinámica Estructural aplicada al Diseño Sísmico*.
- González Morcillo, C. (2011). *Lógica Difusa, una introducción práctica*. Universidad Castilla de la Mancha.
- Jiménez Vilcherrez, J., Quiñones Huatangari, L., Timana Jaramillo, P., & Vallejo Huamán, A. A. (2017). *Sistemas Difusos*. Universidad Nacional de Piura, Piura.
- Medina Peralta, S., Vargas Villamil, L., Navarro, A. J., Canul Pech, C., & Peraza Romero, S. (s.f.). *Comparación de medidas de desviación para validar modelos sin sesgo, sesgo constante o proporcional*. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Preethi, & Santhi. (2011). Study on techniques oh earthquake prediction. *International Journal of Computer Applications*, 29(4).
- Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO. (2020). *Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO*. Obtenido de <http://www.red-acelerografica-peru.uni.edu.pe/es/simple/reports>
- Romero Cardalda, J. J., Dafonte Vázquez, C., Gómez García, Á., & Penousal Martins Machado, F. J. (2007). *Inteligencia Artificial y Computación Avanzada*.

DEDICATORIA

A mis padres, Eliceo Jesús Caballero Tocto y Maura Flores Cumbay, por su incondicionable apoyo, en todos estos años de formación universitaria. Así mismo, a mi tío Francisco Asunción Caballero Tocto, quién nunca dudo de mí y me brindó su confianza en el proceso de postulación a esta hermosa carrera.

Al profesor Ramses Lobato Cortez, quién me brindó su confianza y apoyo en el proceso de postulación y formación académica.

Euler Caballero

Dedico esta tesis a Segundo Fernández Tantalean y Leandra Guevara Martínez mis abuelos, Erlander Fernández Guevara mi guía y ejemplo de vida. A mi familia, mis tíos, primos y amistades. Que me apoyaron incansablemente para perseverar profesionalmente.

Marco Fernández

AGRADECIMIENTO

Estamos seguros de que el estudio y la preparación es un avance personal y social, ya que en la experiencia de un individuo confluyen múltiples y variadas influencias de otros, los cuales resultan imposibles de descubrir por completo; por tanto, el ser humano busca superarse.

Motivo por el cual, en esta oportunidad debemos agradecer a la Universidad Nacional de Jaén por habernos acogido y así poder lograr nuestro primer objetivo.

Asimismo, agradecemos profundamente a nuestros asesores, el Mag. Lenin Quiñones Huatangari y el Dr. Manuel Emilio Milla Pino, quienes de manera desinteresada nos orientaron con sus sabios conocimientos para el desarrollo de esta investigación, de igual manera agradecemos al Ingeniero Wilmer Rojas Pintado, docente de la Universidad Nacional de Jaén, quién nos orientó a seguir un proyecto en el área sísmica y en aquellos momentos difíciles nos animó a no rendirnos; asimismo, al Ingeniero José Martín Velásquez Vargas, docente de la Pontificia Universidad Católica del Perú, quién supo orientarnos de una manera favorable sobre la orientación de la investigación.

Por otra parte, agradecemos a todos nuestros amigos y familiares que nos alentaron para culminar nuestros estudios universitarios y así podamos culminar nuestro objetivo.

Euler Caballero y Marco Fernandez

ANEXOS

Anexo 1: Base de datos de registros sísmicos empleados desde el 30 de enero del 2017, hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén (Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO, 2020).

Nombre Estación	Año	Fecha	Latitud Sur	Longitud Oeste	HoraLocal	Región	Provincia	Magnitud	Hipocentro	AcelMax	Intensidad
UNJ	2017	05/06/2017	-4.17	-80.66	06:34:09	Piura	Máncora	6.20	18	2.370	IV-V
UNJ	2017	19/07/2017	-6.01	-76.97	05:05:15	San Martín	Moyobamba	4.30	12	0.150	IV-V
UNJ	2017	11/08/2017	-5.49	-81.18	15:17:52	Piura	Paíta	4.20	33	0.260	II
UNJ	2017	17/08/2017	-6.08	-76.64	02:00:36	San Martín	Moyobamba	3.90	15	0.150	0
UNJ	2017	09/09/2017	-4.92	-78.44	11:08:06	Cajamarca	San Ignacio	4.30	42	0.170	0
UNJ	2017	12/09/2017	-5.71	-78.78	22:53:30	Cajamarca	Jaén	3.60	43	0.500	0
UNJ	2017	17/09/2017	-3.55	-77.59	20:16:53	Amazonas	Santa Maria de Nieva	4.30	15	0.130	0
UNJ	2017	17/10/2017	-5.18	-78.84	13:23:30	Cajamarca	San Ignacio	3.60	16	0.390	0
UNJ	2017	18/10/2017	-5.49	-80.32	20:21:46	Piura	Piura	3.90	52	0.140	II
UNJ	2017	07/11/2017	-5.02	-77.91	07:57:32	Amazonas	Santa Maria de Nieva	4.10	24	0.160	0
UNJ	2017	17/11/2017	-5.41	-78.72	20:47:22	Amazonas	Bagua	3.70	15	0.450	0
UNJ	2017	18/11/2017	-4.32	-80.75	22:35:47	Piura	Máncora	4.40	20	0.170	II
UNJ	2017	18/11/2017	-2.37	-80.01	20:40:42	Guayas	Guayaquil	6.20	46	0.160	V
UNJ	2017	24/11/2017	-4.32	-78.15	15:04:58	Amazonas	Santa Maria de Nieva	3.90	80	0.160	0
UNJ	2017	06/12/2017	-4.16	-80.26	21:37:42	Piura	Chulucanas	4.70	58	0.270	II
UNJ	2018	25/01/2018	-4.84	-76.51	17:03:30	Loreto	Lagunas	4.70	103	0.120	0
UNJ	2018	25/01/2018	-5.55	-78.97	07:16:39	Cajamarca	Jaén	3.50	17	2.210	0
UNJ	2018	28/01/2018	-5.74	-78.7	17:44:07	Cajamarca	Jaén	3.50	12	1.010	0
UNJ	2018	04/02/2018	-5.19	-78.79	11:24:20	Cajamarca	San Ignacio	3.90	16	0.280	0
UNJ	2018	04/02/2018	-5.74	-78.64	19:24:44	Amazonas	Bagua	3.80	15	11.690	0
UNJ	2018	07/02/2018	-3.23	-81.1	04:47:40	Tumbes	Zorritos	4.20	28	0.250	0

UNJ	2018	16/02/2018	-5.8741	-81.5247	03:01:21	Piura	Sechura	5.30	38	0.420	0
UNJ	2018	17/02/2018	-5.1631	-76.7602	01:51:31	Amazonas	Bagua	3.80	19	0.190	0
UNJ	2018	04/03/2018	-5.85	-81.13	01:16:16	Piura	Sechura	4.50	39	0.120	0
UNJ	2018	08/03/2018	-5.2507	-76.7206	01:02:00	San Martín	Moyobamba	4.40	132	0.150	0
UNJ	2018	08/03/2018	-4.7354	-78.3447	04:52:53	Amazonas	Santa Maria de Nieva	4.50	14	1.470	0
UNJ	2018	10/03/2018	-4.9167	-8.9223	15:55:04	Piura	Sullana	4.10	35	0.160	II
UNJ	2018	22/03/2018	-4.87	-77.54	23:58:46	Amazonas	Santa Maria de Nieva	4.60	28	0.850	0
UNJ	2018	08/05/2018	-5.83	-78.52	00:18:27	Amazonas	Utcubamba	3.50	19	0.180	0
UNJ	2018	14/05/2018	-4.34	-80.53	00:48:33	Piura	Talara	4.00	46	0.110	0
UNJ	2018	30/05/2018	-4.7	-76.52	02:27:05	Loreto	Lagunas	4.20	125	0.210	0
UNJ	2018	17/07/2018	-5.43	-77.64	06:27:11	Amazonas	Bongara	4.30	89	0.840	0
UNJ	2018	17/07/2018	-5.4	-76.52	20:29:38	Loreto	Alto Amazonas	4.50	120	0.200	0
UNJ	2018	01/09/2018	-3.07	-78.74	02:25:49	Tumbes	Zarumilla	4.20	120	0.160	0
UNJ	2018	06/09/2018	-2.17	-78.82	21:12:03	Tumbes	Zarumilla	6.40	80	2.430	III-IV
UNJ	2018	02/10/2018	-6.5	-80.88	05:40:17	Piura	Sechura	4.40	41	0.190	0
UNJ	2018	15/10/2018	-3.53	-77.58	18:41:53	Amazonas	Condorcanqui	4.70	114	0.400	0
UNJ	2018	23/10/2018	-5.75	-78.75	23:16:35	Cajamarca	Jaén	3.50	37	6.490	II
UNJ	2018	26/10/2018	-1.37	-78	04:11:50	Loreto	Alto Amazonas	5.00	101	0.150	0
UNJ	2018	07/11/2018	-4.9	-78.73	01:27:13	Cajamarca	San Ignacio	4.00	20	0.670	0
UNJ	2019	03/01/2019	-5.75	-77.17	16:11:48	San Martín	Rioja	5.00	19	0.900	IV
UNJ	2019	04/01/2019	-2.87	-76.62	03:49:52	Loreto	Alto Amazonas	4.60	120	0.160	0
UNJ	2019	08/01/2019	-4.41	-73.82	05:00:09	Loreto	Loreto	6.30	15	0.270	V
UNJ	2019	15/01/2019	-9.12	-79.35	15:24:07	Ancash	Santa	5.30	24	0.220	II-III
UNJ	2019	18/01/2019	-3.17	-76.93	16:26:58	Loreto	Alto amazonas	5.80	111	1.590	III
UNJ	2019	19/01/2019	-5.68	-77.1	07:25:49	San Martín	Rioja	4.50	56	0.130	II-III
UNJ	2019	04/02/2019	-2.47	-80.11	12:45:45	Tumbes	Zarumilla	5.90	73	1.410	III
UNJ	2019	05/02/2019	-2.77	-78.76	04:53:01	Tumbes	Zarumilla	4.90	94	0.230	II-III

UNJ	2019	22/02/2019	-2	-77.19	05:17:18	Loreto	Alto amazonas	7.70	113	21.690	IV-V
UNJ	2019	22/02/2019	-2.36	-80	05:40:38	Tumbes	Zarumilla	5.70	87	0.580	III-IV
UNJ	2019	06/03/2019	-6.4	-79.45	23:05:05	Lambayeque	Ferreñafe	5.40	18	1.500	III-IV
UNJ	2019	20/03/2019	-2.54	-77.27	11:23:19	Loreto	Alto Amazonas	5.50	88	0.430	II-III
UNJ	2019	24/03/2019	-5.52	-79.61	04:55:20	Piura	Huancabamba	4.00	98	0.240	0
UNJ	2019	17/04/2019	-5.02	-78.31	10:01:00	Amazonas	Condorcanqui	5.50	85	51.680	III
UNJ	2019	26/05/2019	-5.74	-75.55	02:41:12	Loreto	Alto Amazonas	8.00	135	32.600	VI-VII
UNJ	2019	29/05/2019	-4.73	-75.38	18:40:21	Loreto	Alto Amazonas	5.00	140	0.540	II-III
UNJ	2019	06/08/2019	-3.83	-77.32	15:00:54	Amazonas	Condorcanqui	4.80	127	0.250	II
UNJ	2019	10/08/2019	-5.75	-78.75	08:32:14	Cajamarca	Jaén	4.10	28	19.980	II
UNJ	2019	19/11/2019	-5.67	-77.09	15:47:39	San Martín	Rioja	4.80	45	0.570	III
UNJ	2020	03/01/2020	-3.26	-80.43	09:16:38	Tumbes	Zarumilla	5.00	48	0.430	III-IV
UNJ	2020	08/02/2020	-4.4	-77.55	04:57:00	Amazonas	Condorcanqui	4.10	17	0.120	II
UNJ	2020	22/02/2020	-3.34	-77.63	03:56:20	Amazonas	Condorcanqui	4.30	67	0.150	0
UNJ	2020	09/03/2020	-4.8	-80.24	04:35:40	Piura	Morropón	4.60	66	0.800	III
UNJ	2020	02/04/2020	-6.03	-80.66	05:30:31	Piura	Sechura	4.60	42	0.340	III-IV
UNJ	2020	13/04/2020	-5.31	-78.49	05:07:23	Amazonas	Bagua	4.10	42	3.060	II
UNJ	2020	16/04/2020	-5.89	-77.34	04:57:58	San Martín	Rioja	4.00	38	0.110	0
UNJ	2020	23/04/2020	-5.28	-80.02	01:52:27	Piura	Morropón	4.00	87	0.110	0
UNJ	2020	25/04/2020	-5.78	-77.59	09:35:09	Amazonas	Bongara	4.50	24	0.320	III
UNJ	2020	26/04/2020	-4.2	-77.89	18:23:04	Amazonas	Condorcanqui	4.00	23	0.140	II
UNJ	2020	28/04/2020	-2.91	-77.52	04:06:06	Loreto	Alto Amazonas	4.70	15	0.120	II
UNJ	2020	28/04/2020	-2.93	-77.67	05:06:38	Loreto	Alto Amazonas	4.00	10	0.120	0
UNJ	2020	29/04/2020	-2.69	-77.18	02:20:25	Loreto	Alto Amazonas	4.60	48	0.100	0
UNJ	2020	08/05/2020	-5.67	-76.79	23:27:38	San Martín	Moyobamba	4.70	39	0.390	II-III
UNJ	2020	17/05/2020	-4.19	-77.41	14:27:04	Amazonas	Condorcanqui	4.50	30	0.270	II
UNJ	2020	22/05/2020	-5.71	-78.81	21:41:06	Cajamarca	Jaén	3.70	19	0.990	II
UNJ	2020	07/06/2020	-4.34	-77.39	05:31:18	Amazonas	Condorcanqui	5.90	126	1.240	III-IV

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 2: Base de datos del 70 % de registros sísmicos empleados desde el 30 de enero del 2017, hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén (Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO, 2020).

Nombre Estación	Año	Fecha	Latitud Sur	Longitud Oeste	HoraLocal	Región	Provincia	Magnitud	Hipocentro	Intensidad	AcelMax
UNJ	2019	18/01/2019	-3.17	-76.93	16:26:58	Loreto	Alto amazonas	5.80	111	III	1.59
UNJ	2017	18/10/2017	-5.49	-80.32	20:21:46	Piura	Piura	3.90	52	II	0.14
UNJ	2019	10/08/2019	-5.75	-78.75	08:32:14	Cajamarca	Jaén	4.10	28	II	19.98
UNJ	2019	19/01/2019	-5.68	-77.1	07:25:49	San Martín	Rioja	4.50	56	II-III	0.13
UNJ	2019	05/02/2019	-2.77	-78.76	04:53:01	Tumbes	Zarumilla	4.90	94	II-III	0.23
UNJ	2019	29/05/2019	-4.73	-75.38	18:40:21	Loreto	Alto Amazonas	5.00	140	II-III	0.54
UNJ	2017	18/11/2017	-2.37	-80.01	20:40:42	Guayas	Guayaquil	6.20	46	V	0.16
UNJ	2020	26/04/2020	-4.2	-77.89	18:23:04	Amazonas	Condorcanqui	4.00	23	II	0.14
UNJ	2018	23/10/2018	-5.75	-78.75	23:16:35	Cajamarca	Jaén	3.50	37	II	0.9
UNJ	2020	08/05/2020	-5.67	-76.79	23:27:38	San Martín	Moyobamba	4.70	39	II-III	0.39
UNJ	2019	17/04/2019	-5.02	-78.31	10:01:00	Amazonas	Condorcanqui	5.50	85	III	51.68
UNJ	2020	02/04/2020	-6.03	-80.66	05:30:31	Piura	Sechura	4.60	42	III-IV	0.34
UNJ	2020	13/04/2020	-5.31	-78.49	05:07:23	Amazonas	Bagua	4.10	42	II	3.06
UNJ	2020	03/01/2020	-3.26	-80.43	09:16:38	Tumbes	Zarumilla	5.00	48	III-IV	0.43
UNJ	2020	07/06/2020	-4.34	-77.39	05:31:18	Amazonas	Condorcanqui	5.90	126	III-IV	1.24
UNJ	2019	22/02/2019	-2	-77.19	05:17:18	Loreto	Alto amazonas	7.70	113	IV-V	21.69
UNJ	2017	06/12/2017	-4.16	-80.26	21:37:42	Piura	Chulucanas	4.70	58	II	0.27
UNJ	2018	10/03/2018	-4.9167	-8.9223	15:55:04	Piura	Sullana	4.10	35	II	0.16
UNJ	2019	20/03/2019	-2.54	-77.27	11:23:19	Loreto	Alto Amazonas	5.50	88	II-III	0.43
UNJ	2019	06/03/2019	-6.4	-79.45	23:05:05	Lambayeque	Ferreñafe	5.40	18	III-IV	1.5
UNJ	2020	09/03/2020	-4.8	-80.24	04:35:40	Piura	Morropón	4.60	66	III	0.8
UNJ	2017	19/07/2017	-6.01	-76.97	05:05:15	San Martín	Moyobamba	4.30	12	IV-V	0.15
UNJ	2019	08/01/2019	-4.41	-73.82	05:00:09	Loreto	Loreto	6.30	15	V	0.27

UNJ	2020	22/05/2020	-5.71	-78.81	21:41:06	Cajamarca	Jaén	3.70	19	II	0.99
UNJ	2017	18/11/2017	-4.32	-80.75	0.941516	Piura	Máncora	4.40	20	II	0.17
UNJ	2019	26/05/2019	-5.74	-75.55	0.111944	Loreto	Alto Amazonas	8.00	135	VI-VII	32.6
UNJ	2020	08/02/2020	-4.4	-77.55	0.20625	Amazonas	Condorcanqui	4.10	17	II	0.12

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 3: Base de datos del 30 % de registros sísmicos empleados desde el 30 de enero del 2017, hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén (Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO, 2020).

Nombre Estación	Año	Fecha	Latitud Sur	Longitud Oeste	HoraLocal	Región	Provincia	Magnitud	Hipocentro	Intensidad	AcelMax
UNJ	2017	05/06/2017	-4.17	-80.66	06:34:09	Piura	Máncora	6.20	18	IV-V	2.37
UNJ	2017	11/08/2017	-5.49	-81.18	15:17:52	Piura	Paita	4.20	33	II	0.26
UNJ	2018	06/09/2018	-2.17	-78.82	21:12:03	Tumbes	Zarumilla	6.40	80	III-IV	2.43
UNJ	2019	03/01/2019	-5.75	-77.17	16:11:48	San Martín	Rioja	5.00	19	IV	0.9
UNJ	2019	15/01/2019	-9.12	-79.35	15:24:07	Ancash	Santa	5.30	24	II-III	0.22
UNJ	2019	04/02/2019	-2.47	-80.11	12:45:45	Tumbes	Zarumilla	5.90	73	III	1.41
UNJ	2019	22/02/2019	-2.36	-80	05:40:38	Tumbes	Zarumilla	5.70	87	III-IV	0.58
UNJ	2019	06/08/2019	-3.83	-77.32	15:00:54	Amazonas	Condorcanqui	4.80	127	II	0.25
UNJ	2019	19/11/2019	-5.67	-77.09	15:47:39	San Martín	Rioja	4.80	45	III	0.57
UNJ	2020	02/04/2020	-6.03	-80.66	05:30:31	Piura	Sechura	4.60	42	III-IV	0.34
UNJ	2020	25/04/2020	-5.78	-77.59	09:35:09	Amazonas	Bongara	4.50	24	III	0.32
UNJ	2020	17/05/2020	-4.19	-77.41	14:27:04	Amazonas	Condorcanqui	4.50	30	II	0.27

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 4: Base de datos de registros sísmicos con intensidad “cero” empleados desde el 30 de enero del 2017, hasta el 07 de junio del 2020, por la estación de la Universidad Nacional de Jaén (Red Acelerográfica UNI-CIP-SENCICO, 2020).

Nombre Estación	Año	Fecha	Latitud Sur	Longitud Oeste	HoraLocal	Región	Provincia	Magnitud	Hipocentro	Intensidad	AcelMax
UNJ	2017	17/08/2017	-6.08	-76.64	02:00:36	San Martín	Moyobamba	3.90	15	0	0.15
UNJ	2017	09/09/2017	-4.92	-78.44	11:08:06	Cajamarca	San Ignacio	4.30	42	0	0.17
UNJ	2017	12/09/2017	-5.71	-78.78	22:53:30	Cajamarca	Jaén	3.60	43	0	0.5
UNJ	2017	17/09/2017	-3.55	-77.59	20:16:53	Amazonas	Santa Maria de Nieva	4.30	15	0	0.13
UNJ	2017	17/10/2017	-5.18	-78.84	13:23:30	Cajamarca	San Ignacio	3.60	16	0	0.39
UNJ	2017	07/11/2017	-5.02	-77.91	07:57:32	Amazonas	Santa Maria de Nieva	4.10	24	0	0.16
UNJ	2017	17/11/2017	-5.41	-78.72	20:47:22	Amazonas	Bagua	3.70	15	0	0.45
UNJ	2017	24/11/2017	-4.32	-78.15	15:04:58	Amazonas	Santa Maria de Nieva	3.90	80	0	0.16
UNJ	2018	25/01/2018	-4.84	-76.51	17:03:30	Loreto	Lagunas	4.70	103	0	0.12
UNJ	2018	25/01/2018	-5.55	-78.97	07:16:39	Cajamarca	Jaén	3.50	17	0	2.21
UNJ	2018	28/01/2018	-5.74	-78.7	17:44:07	Cajamarca	Jaén	3.50	12	0	1.01
UNJ	2018	04/02/2018	-5.19	-78.79	11:24:20	Cajamarca	San Ignacio	3.90	16	0	0.28
UNJ	2018	04/02/2018	-5.74	-78.64	19:24:44	Amazonas	Bagua	3.80	15	0	11.69
UNJ	2018	07/02/2018	-3.23	-81.1	04:47:40	Tumbes	Zorritos	4.20	28	0	0.25
UNJ	2018	16/02/2018	-5.8741	-81.5247	03:01:21	Piura	Sechura	5.30	38	0	0.42
UNJ	2018	17/02/2018	-5.1631	-76.7602	01:51:31	Amazonas	Bagua	3.80	19	0	0.19
UNJ	2018	04/03/2018	-5.85	-81.13	01:16:16	Piura	Sechura	4.50	39	0	0.12
UNJ	2018	08/03/2018	-5.2507	-76.7206	01:02:00	San Martín	Moyobamba	4.40	132	0	0.15
UNJ	2018	08/03/2018	-4.7354	-78.3447	04:52:53	Amazonas	Santa Maria de Nieva	4.50	14	0	1.47

UNJ	2018	22/03/2018	-4.87	-77.54	23:58:46	Amazonas	Santa Maria de Nieva	4.60	28	0	0.85
UNJ	2018	08/05/2018	-5.83	-78.52	00:18:27	Amazonas	Utcubamba	3.50	19	0	0.18
UNJ	2018	14/05/2018	-4.34	-80.53	00:48:33	Piura	Talara	4.00	46	0	0.11
UNJ	2018	30/05/2018	-4.7	-76.52	02:27:05	Loreto	Lagunas	4.20	125	0	0.21
UNJ	2018	17/07/2018	-5.43	-77.64	06:27:11	Amazonas	Bongara	4.30	89	0	0.84
UNJ	2018	17/07/2018	-5.4	-76.52	20:29:38	Loreto	Alto Amazonas	4.50	120	0	0.2
UNJ	2018	01/09/2018	-3.07	-78.74	02:25:49	Tumbes	Zarumilla	4.20	120	0	0.16
UNJ	2018	02/10/2018	-6.5	-80.88	05:40:17	Piura	Sechura	4.40	41	0	0.19
UNJ	2018	15/10/2018	-3.53	-77.58	18:41:53	Amazonas	Condorcanqui	4.70	114	0	0.4
UNJ	2018	26/10/2018	-1.37	-78	04:11:50	Loreto	Alto Amazonas	5.00	101	0	0.15
UNJ	2018	07/11/2018	-4.9	-78.73	01:27:13	Cajamarca	San Ignacio	4.00	20	0	0.67
UNJ	2019	04/01/2019	-2.87	-76.62	03:49:52	Loreto	Alto Amazonas	4.60	120	0	0.16
UNJ	2019	24/03/2019	-5.52	-79.61	04:55:20	Piura	Huancabamba	4.00	98	0	0.24
UNJ	2020	22/02/2020	-3.34	-77.63	03:56:20	Amazonas	Condorcanqui	4.30	67	0	0.15
UNJ	2020	16/04/2020	-5.89	-77.34	04:57:58	San Martín	Rioja	4.00	38	0	0.11
UNJ	2020	23/04/2020	-5.28	-80.02	01:52:27	Piura	Morropón	4.00	87	0	0.11
UNJ	2020	28/04/2020	-2.93	-77.67	05:06:38	Loreto	Alto Amazonas	4.00	10	0	0.12
UNJ	2020	29/04/2020	-2.69	-77.18	02:20:25	Loreto	Alto Amazonas	4.60	48	0	0.1

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 5: Normalización de datos

Ecuación 1: Ecuación para normalización de datos.

$$X_{NORMALIZADO} = (X - X_{MIN}) / (X_{MAX} - X_{MIN})$$

Normalización para datos de la variable “magnitud”.

Valor Máximo: 10

Valor Mínimo: 1

Normalización para datos de la variable “hipocentro”.

Valor Máximo: 400 km

Valor Mínimo: 0 km

Normalización para datos de la variable “aceleración pico del suelo”.

Valor Máximo: 500 cm/s^2

Valor Mínimo: 0 cm/s^2

Normalización para datos de la variable “intensidad”.

Valor Máximo: 12

Valor Mínimo: 1

Anexo 6: Valores normalizados para la variable "Magnitud", con un mínimo de: Magnitud 1, hasta un máximo de Magnitud 10.

Magnitud	Valor normalizado
1.000	0.000
1.100	0.011
1.200	0.022
1.300	0.033
1.400	0.044
1.500	0.056
1.600	0.067
1.700	0.078
1.800	0.089
1.900	0.100
2.000	0.111
2.100	0.122
2.200	0.133
2.300	0.144
2.400	0.156
2.500	0.167
2.600	0.178
2.700	0.189
2.800	0.200
2.900	0.211
3.000	0.222
3.100	0.233
3.200	0.244
3.300	0.256
3.400	0.267
3.500	0.278

3.600	0.289
3.700	0.300
3.800	0.311
3.900	0.322
4.000	0.333
4.100	0.344
4.200	0.356
4.300	0.367
4.400	0.378
4.500	0.389
4.600	0.400
4.700	0.411
4.800	0.422
4.900	0.433
5.000	0.444
5.100	0.456
5.200	0.467
5.300	0.478
5.400	0.489
5.500	0.500
5.600	0.511
5.700	0.522
5.800	0.533
5.900	0.544
6.000	0.556
6.100	0.567
6.200	0.578
6.300	0.589

6.400	0.600
6.500	0.611
6.600	0.622
6.700	0.633
6.800	0.644
6.900	0.656
7.000	0.667
7.100	0.678
7.200	0.689
7.300	0.700
7.400	0.711
7.500	0.722
7.600	0.733
7.700	0.744
7.800	0.756
7.900	0.767
8.000	0.778
8.100	0.789
8.200	0.800
8.300	0.811
8.400	0.822
8.500	0.833
8.600	0.844
8.700	0.856
8.800	0.867
8.900	0.878
9.000	0.889
9.100	0.900
9.200	0.911
9.300	0.922
9.400	0.933
9.500	0.944

9.600	0.956
9.700	0.967
9.800	0.978
9.900	0.989
10.000	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 7: Valores normalizados para la variable " Hipocentro ", con un valor mínimo de 0 km, y un valor máximo de 400 km.

Hipocentro (Km)	Valor normalizado
0	0.000
1	0.003
2	0.005
3	0.008
4	0.010
5	0.013
6	0.015
7	0.018
8	0.020
9	0.023
10	0.025
11	0.028
12	0.030
13	0.033
14	0.035
15	0.038
16	0.040
17	0.043
18	0.045
19	0.048
20	0.050
21	0.053
22	0.055
23	0.058
24	0.060
25	0.063

26	0.065
27	0.068
28	0.070
29	0.073
30	0.075
31	0.078
32	0.080
33	0.083
34	0.085
35	0.088
36	0.090
37	0.093
38	0.095
39	0.098
40	0.100
41	0.103
42	0.105
43	0.108
44	0.110
45	0.113
46	0.115
47	0.118
48	0.120
49	0.123
50	0.125
51	0.128
52	0.130
53	0.133

54	0.135
55	0.138
56	0.140
57	0.143
58	0.145
59	0.148
60	0.150
61	0.153
62	0.155
63	0.158
64	0.160
65	0.163
66	0.165
67	0.168
68	0.170
69	0.173
70	0.175
71	0.178
72	0.180
73	0.183
74	0.185
75	0.188
76	0.190
77	0.193
78	0.195
79	0.198
80	0.200
81	0.203
82	0.205
83	0.208
84	0.210
85	0.213

86	0.215
87	0.218
88	0.220
89	0.223
90	0.225
91	0.228
92	0.230
93	0.233
94	0.235
95	0.238
96	0.240
97	0.243
98	0.245
99	0.248
100	0.250
101	0.253
102	0.255
103	0.258
104	0.260
105	0.263
106	0.265
107	0.268
108	0.270
109	0.273
110	0.275
111	0.278
112	0.280
113	0.283
114	0.285
115	0.288
116	0.290
117	0.293

118	0.295
119	0.298
120	0.300
121	0.303
122	0.305
123	0.308
124	0.310
125	0.313
126	0.315
127	0.318
128	0.320
129	0.323
130	0.325
131	0.328
132	0.330
133	0.333
134	0.335
135	0.338
136	0.340
137	0.343
138	0.345
139	0.348
140	0.350
141	0.353
142	0.355
143	0.358
144	0.360
145	0.363
146	0.365
147	0.368
148	0.370
149	0.373

150	0.375
151	0.378
152	0.380
153	0.383
154	0.385
155	0.388
156	0.390
157	0.393
158	0.395
159	0.398
160	0.400
161	0.403
162	0.405
163	0.408
164	0.410
165	0.413
166	0.415
167	0.418
168	0.420
169	0.423
170	0.425
171	0.428
172	0.430
173	0.433
174	0.435
175	0.438
176	0.440
177	0.443
178	0.445
179	0.448
180	0.450
181	0.453

182	0.455
183	0.458
184	0.460
185	0.463
186	0.465
187	0.468
188	0.470
189	0.473
190	0.475
191	0.478
192	0.480
193	0.483
194	0.485
195	0.488
196	0.490
197	0.493
198	0.495
199	0.498
200	0.500
201	0.503
202	0.505
203	0.508
204	0.510
205	0.513
206	0.515
207	0.518
208	0.520
209	0.523
210	0.525
211	0.528
212	0.530
213	0.533

214	0.535
215	0.538
216	0.540
217	0.543
218	0.545
219	0.548
220	0.550
221	0.553
222	0.555
223	0.558
224	0.560
225	0.563
226	0.565
227	0.568
228	0.570
229	0.573
230	0.575
231	0.578
232	0.580
233	0.583
234	0.585
235	0.588
236	0.590
237	0.593
238	0.595
239	0.598
240	0.600
241	0.603
242	0.605
243	0.608
244	0.610
245	0.613

246	0.615
247	0.618
248	0.620
249	0.623
250	0.625
251	0.628
252	0.630
253	0.633
254	0.635
255	0.638
256	0.640
257	0.643
258	0.645
259	0.648
260	0.650
261	0.653
262	0.655
263	0.658
264	0.660
265	0.663
266	0.665
267	0.668
268	0.670
269	0.673
270	0.675
271	0.678
272	0.680
273	0.683
274	0.685
275	0.688
276	0.690
277	0.693

278	0.695
279	0.698
280	0.700
281	0.703
282	0.705
283	0.708
284	0.710
285	0.713
286	0.715
287	0.718
288	0.720
289	0.723
290	0.725
291	0.728
292	0.730
293	0.733
294	0.735
295	0.738
296	0.740
297	0.743
298	0.745
299	0.748
300	0.750
301	0.753
302	0.755
303	0.758
304	0.760
305	0.763
306	0.765
307	0.768
308	0.770
309	0.773

310	0.775
311	0.778
312	0.780
313	0.783
314	0.785
315	0.788
316	0.790
317	0.793
318	0.795
319	0.798
320	0.800
321	0.803
322	0.805
323	0.808
324	0.810
325	0.813
326	0.815
327	0.818
328	0.820
329	0.823
330	0.825
331	0.828
332	0.830
333	0.833
334	0.835
335	0.838
336	0.840
337	0.843
338	0.845
339	0.848
340	0.850
341	0.853

342	0.855
343	0.858
344	0.860
345	0.863
346	0.865
347	0.868
348	0.870
349	0.873
350	0.875
351	0.878
352	0.880
353	0.883
354	0.885
355	0.888
356	0.890
357	0.893
358	0.895
359	0.898
360	0.900
361	0.903
362	0.905
363	0.908
364	0.910
365	0.913
366	0.915
367	0.918
368	0.920
369	0.923
370	0.925
371	0.928
372	0.930
373	0.933

374	0.935
375	0.938
376	0.940
377	0.943
378	0.945
379	0.948
380	0.950
381	0.953
382	0.955
383	0.958
384	0.960
385	0.963
386	0.965
387	0.968

388	0.970
389	0.973
390	0.975
391	0.978
392	0.980
393	0.983
394	0.985
395	0.988
396	0.990
397	0.993
398	0.995
399	0.998
400	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 8: Valores normalizados, para la variable " Aceleración pico del suelo", con un valor mínimo de 0 cm/s², hasta un valor máximo de 500 cm/s².

Aceleración pico del suelo (cm/s²)	Valor normalizado
0.000	0.000
1.000	0.002
2.000	0.004
3.000	0.006
4.000	0.008
5.000	0.010
6.000	0.012
7.000	0.014
8.000	0.016
9.000	0.018
10.000	0.020
11.000	0.022
12.000	0.024
13.000	0.026
14.000	0.028
15.000	0.030
16.000	0.032
17.000	0.034
18.000	0.036
19.000	0.038
20.000	0.040
21.000	0.042
22.000	0.044
23.000	0.046
24.000	0.048
25.000	0.050
26.000	0.052

27.000	0.054
28.000	0.056
29.000	0.058
30.000	0.060
31.000	0.062
32.000	0.064
33.000	0.066
34.000	0.068
35.000	0.070
36.000	0.072
37.000	0.074
38.000	0.076
39.000	0.078
40.000	0.080
41.000	0.082
42.000	0.084
43.000	0.086
44.000	0.088
45.000	0.090
46.000	0.092
47.000	0.094
48.000	0.096
49.000	0.098
50.000	0.100
51.000	0.102
52.000	0.104
53.000	0.106
54.000	0.108
55.000	0.110
56.000	0.112

57.000	0.114
58.000	0.116
59.000	0.118
60.000	0.120
61.000	0.122
62.000	0.124
63.000	0.126
64.000	0.128
65.000	0.130
66.000	0.132
67.000	0.134
68.000	0.136
69.000	0.138
70.000	0.140
71.000	0.142
72.000	0.144
73.000	0.146
74.000	0.148
75.000	0.150
76.000	0.152
77.000	0.154
78.000	0.156
79.000	0.158
80.000	0.160
81.000	0.162
82.000	0.164
83.000	0.166
84.000	0.168
85.000	0.170
86.000	0.172
87.000	0.174
88.000	0.176

89.000	0.178
90.000	0.180
91.000	0.182
92.000	0.184
93.000	0.186
94.000	0.188
95.000	0.190
96.000	0.192
97.000	0.194
98.000	0.196
99.000	0.198
100.000	0.200
101.000	0.202
102.000	0.204
103.000	0.206
104.000	0.208
105.000	0.210
106.000	0.212
107.000	0.214
108.000	0.216
109.000	0.218
110.000	0.220
111.000	0.222
112.000	0.224
113.000	0.226
114.000	0.228
115.000	0.230
116.000	0.232
117.000	0.234
118.000	0.236
119.000	0.238
120.000	0.240

121.000	0.242
122.000	0.244
123.000	0.246
124.000	0.248
125.000	0.250
126.000	0.252
127.000	0.254
128.000	0.256
129.000	0.258
130.000	0.260
131.000	0.262
132.000	0.264
133.000	0.266
134.000	0.268
135.000	0.270
136.000	0.272
137.000	0.274
138.000	0.276
139.000	0.278
140.000	0.280
141.000	0.282
142.000	0.284
143.000	0.286
144.000	0.288
145.000	0.290
146.000	0.292
147.000	0.294
148.000	0.296
149.000	0.298
150.000	0.300
151.000	0.302
152.000	0.304

153.000	0.306
154.000	0.308
155.000	0.310
156.000	0.312
157.000	0.314
158.000	0.316
159.000	0.318
160.000	0.320
161.000	0.322
162.000	0.324
163.000	0.326
164.000	0.328
165.000	0.330
166.000	0.332
167.000	0.334
168.000	0.336
169.000	0.338
170.000	0.340
171.000	0.342
172.000	0.344
173.000	0.346
174.000	0.348
175.000	0.350
176.000	0.352
177.000	0.354
178.000	0.356
179.000	0.358
180.000	0.360
181.000	0.362
182.000	0.364
183.000	0.366
184.000	0.368

185.000	0.370
186.000	0.372
187.000	0.374
188.000	0.376
189.000	0.378
190.000	0.380
191.000	0.382
192.000	0.384
193.000	0.386
194.000	0.388
195.000	0.390
196.000	0.392
197.000	0.394
198.000	0.396
199.000	0.398
200.000	0.400
201.000	0.402
202.000	0.404
203.000	0.406
204.000	0.408
205.000	0.410
206.000	0.412
207.000	0.414
208.000	0.416
209.000	0.418
210.000	0.420
211.000	0.422
212.000	0.424
213.000	0.426
214.000	0.428
215.000	0.430
216.000	0.432

217.000	0.434
218.000	0.436
219.000	0.438
220.000	0.440
221.000	0.442
222.000	0.444
223.000	0.446
224.000	0.448
225.000	0.450
226.000	0.452
227.000	0.454
228.000	0.456
229.000	0.458
230.000	0.460
231.000	0.462
232.000	0.464
233.000	0.466
234.000	0.468
235.000	0.470
236.000	0.472
237.000	0.474
238.000	0.476
239.000	0.478
240.000	0.480
241.000	0.482
242.000	0.484
243.000	0.486
244.000	0.488
245.000	0.490
246.000	0.492
247.000	0.494
248.000	0.496

249.000	0.498
250.000	0.500
251.000	0.502
252.000	0.504
253.000	0.506
254.000	0.508
255.000	0.510
256.000	0.512
257.000	0.514
258.000	0.516
259.000	0.518
260.000	0.520
261.000	0.522
262.000	0.524
263.000	0.526
264.000	0.528
265.000	0.530
266.000	0.532
267.000	0.534
268.000	0.536
269.000	0.538
270.000	0.540
271.000	0.542
272.000	0.544
273.000	0.546
274.000	0.548
275.000	0.550
276.000	0.552
277.000	0.554
278.000	0.556
279.000	0.558
280.000	0.560

281.000	0.562
282.000	0.564
283.000	0.566
284.000	0.568
285.000	0.570
286.000	0.572
287.000	0.574
288.000	0.576
289.000	0.578
290.000	0.580
291.000	0.582
292.000	0.584
293.000	0.586
294.000	0.588
295.000	0.590
296.000	0.592
297.000	0.594
298.000	0.596
299.000	0.598
300.000	0.600
301.000	0.602
302.000	0.604
303.000	0.606
304.000	0.608
305.000	0.610
306.000	0.612
307.000	0.614
308.000	0.616
309.000	0.618
310.000	0.620
311.000	0.622
312.000	0.624

313.000	0.626
314.000	0.628
315.000	0.630
316.000	0.632
317.000	0.634
318.000	0.636
319.000	0.638
320.000	0.640
321.000	0.642
322.000	0.644
323.000	0.646
324.000	0.648
325.000	0.650
326.000	0.652
327.000	0.654
328.000	0.656
329.000	0.658
330.000	0.660
331.000	0.662
332.000	0.664
333.000	0.666
334.000	0.668
335.000	0.670
336.000	0.672
337.000	0.674
338.000	0.676
339.000	0.678
340.000	0.680
341.000	0.682
342.000	0.684
343.000	0.686
344.000	0.688

345.000	0.690
346.000	0.692
347.000	0.694
348.000	0.696
349.000	0.698
350.000	0.700
351.000	0.702
352.000	0.704
353.000	0.706
354.000	0.708
355.000	0.710
356.000	0.712
357.000	0.714
358.000	0.716
359.000	0.718
360.000	0.720
361.000	0.722
362.000	0.724
363.000	0.726
364.000	0.728
365.000	0.730
366.000	0.732
367.000	0.734
368.000	0.736
369.000	0.738
370.000	0.740
371.000	0.742
372.000	0.744
373.000	0.746
374.000	0.748
375.000	0.750
376.000	0.752

377.000	0.754
378.000	0.756
379.000	0.758
380.000	0.760
381.000	0.762
382.000	0.764
383.000	0.766
384.000	0.768
385.000	0.770
386.000	0.772
387.000	0.774
388.000	0.776
389.000	0.778
390.000	0.780
391.000	0.782
392.000	0.784
393.000	0.786
394.000	0.788
395.000	0.790
396.000	0.792
397.000	0.794
398.000	0.796
399.000	0.798
400.000	0.800
401.000	0.802
402.000	0.804
403.000	0.806
404.000	0.808
405.000	0.810
406.000	0.812
407.000	0.814
408.000	0.816

409.000	0.818
410.000	0.820
411.000	0.822
412.000	0.824
413.000	0.826
414.000	0.828
415.000	0.830
416.000	0.832
417.000	0.834
418.000	0.836
419.000	0.838
420.000	0.840
421.000	0.842
422.000	0.844
423.000	0.846
424.000	0.848
425.000	0.850
426.000	0.852
427.000	0.854
428.000	0.856
429.000	0.858
430.000	0.860
431.000	0.862
432.000	0.864
433.000	0.866
434.000	0.868
435.000	0.870
436.000	0.872
437.000	0.874
438.000	0.876
439.000	0.878
440.000	0.880

441.000	0.882
442.000	0.884
443.000	0.886
444.000	0.888
445.000	0.890
446.000	0.892
447.000	0.894
448.000	0.896
449.000	0.898
450.000	0.900
451.000	0.902
452.000	0.904
453.000	0.906
454.000	0.908
455.000	0.910
456.000	0.912
457.000	0.914
458.000	0.916
459.000	0.918
460.000	0.920
461.000	0.922
462.000	0.924
463.000	0.926
464.000	0.928
465.000	0.930
466.000	0.932
467.000	0.934
468.000	0.936
469.000	0.938
470.000	0.940
471.000	0.942
472.000	0.944

473.000	0.946
474.000	0.948
475.000	0.950
476.000	0.952
477.000	0.954
478.000	0.956
479.000	0.958
480.000	0.960
481.000	0.962
482.000	0.964
483.000	0.966
484.000	0.968
485.000	0.970
486.000	0.972
487.000	0.974
488.000	0.976
489.000	0.978
490.000	0.980
491.000	0.982
492.000	0.984
493.000	0.986
494.000	0.988
495.000	0.990
496.000	0.992
497.000	0.994
498.000	0.996
499.000	0.998
500.000	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 9: Valores normalizados para la variable “Intensidad” según la escala de Mercalli Modificado, con un valor mínimo de intensidad “I”, hasta un valor máximo de intensidad “XII”.

Grado de Intensidad (Escala de Mercalli Modificado)	Valor Normalizado
I	0.000
II	0.091
III	0.182
IV	0.273
V	0.364
VI	0.455
VII	0.545
VIII	0.636
IX	0.727
X	0.818
XI	0.909
XII	1.000

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 10: Base de datos con valores normalizados del 70 % de registros sísmicos, empleados desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, registrado por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.

Nombre Estación	Año	Fecha	Latitud Sur	Longitud Oeste	HoraLocal	Región	Provincia	DATOS NORMALIZADOS				
								Magnitud	Hipocentro	Intensidad	Aceleración	
UNJ	2019	18/01/2019	-3.17	-76.93	16:26:58	Loreto	Alto amazonas	0.533	0.278	0.18		0.00318
UNJ	2017	18/10/2017	-5.49	-80.32	20:21:46	Piura	Piura	0.322	0.130	0.09		0.00028
UNJ	2019	10/08/2019	-5.75	-78.75	08:32:14	Cajamarca	Jaén	0.344	0.070	0.09		0.03996
UNJ	2019	19/01/2019	-5.68	-77.1	07:25:49	San Martín	Rioja	0.389	0.140	0.09	0.18	0.00026
UNJ	2019	05/02/2019	-2.77	-78.76	04:53:01	Tumbes	Zarumilla	0.433	0.240	0.09	0.18	0.00046
UNJ	2019	29/05/2019	-4.73	-75.38	18:40:21	Loreto	Alto Amazonas	0.444	0.350	0.09	0.18	0.00108
UNJ	2017	18/11/2017	-2.37	-80.01	20:40:42	Guayas	Guayaquil	0.578	0.115	0.36		0.00032
UNJ	2020	26/04/2020	-4.2	-77.89	18:23:04	Amazonas	Condorcanqui	0.333	0.058	0.09		0.00028
UNJ	2018	23/10/2018	-5.75	-78.75	23:16:35	Cajamarca	Jaén	0.278	0.093	0.09		0.00180
UNJ	2020	08/05/2020	-5.67	-76.79	23:27:38	San Martín	Moyobamba	0.411	0.098	0.09	0.18	0.00078
UNJ	2019	17/04/2019	-5.02	-78.31	10:01:00	Amazonas	Condorcanqui	0.500	0.213	0.18		0.10336
UNJ	2020	02/04/2020	-6.03	-80.66	05:30:31	Piura	Sechura	0.400	0.105	0.18	0.27	0.00068
UNJ	2020	13/04/2020	-5.31	-78.49	05:07:23	Amazonas	Bagua	0.344	0.105	0.09		0.00612
UNJ	2020	03/01/2020	-3.26	-80.43	09:16:38	Tumbes	Zarumilla	0.444	0.120	0.18	0.27	0.00086
UNJ	2020	07/06/2020	-4.34	-77.39	05:31:18	Amazonas	Condorcanqui	0.544	0.315	0.18	0.27	0.00248
UNJ	2019	22/02/2019	-2	-77.19	05:17:18	Loreto	Alto amazonas	0.744	0.283	0.27	0.36	0.04338
UNJ	2017	06/12/2017	-4.16	-80.26	21:37:42	Piura	Chulucanas	0.411	0.145	0.09		0.00054
UNJ	2018	10/03/2018	-4.9167	-8.9223	15:55:04	Piura	Sullana	0.344	0.088	0.09		0.00032
UNJ	2019	20/03/2019	-2.54	-77.27	11:23:19	Loreto	Alto Amazonas	0.500	0.220	0.09	0.18	0.00086
UNJ	2019	06/03/2019	-6.4	-79.45	23:05:05	Lambayeque	Ferreñafe	0.489	0.045	0.18	0.27	0.00300

UNJ	2020	09/03/2020	-4.8	-80.24	04:35:40	Piura	Morropón	0.400	0.165	0.18		0.00160
UNJ	2017	19/07/2017	-6.01	-76.97	05:05:15	San Martín	Moyobamba	0.367	0.030	0.27	0.36	0.00030
UNJ	2019	08/01/2019	-4.41	-73.82	05:00:09	Loreto	Loreto	0.589	0.038	0.36		0.00054
UNJ	2020	22/05/2020	-5.71	-78.81	21:41:06	Cajamarca	Jaén	0.300	0.048	0.09		0.00198
UNJ	2017	01/09/2018	-4.32	-80.75	22:35:47	Piura	Máncora	0.378	0.050	0.09		0.00034
UNJ	2019	03/01/2020	-5.74	-75.55	02:41:12	Loreto	Alto Amazonas	0.778	0.338	0.45	0.55	0.06520
UNJ	2020	08/02/2020	-4.4	-77.55	04:57:00	Amazonas	Condorcanqui	0.344	0.043	0.09		0.00024

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.

Anexo 11: Base de datos con valores normalizados del 30 % de registros sísmicos, empleados desde el 30 de enero del 2017 hasta el 07 de junio del 2020, registrado por la estación acelerográfica de la Universidad Nacional de Jaén.

Nombre Estación	Año	Fecha	Latitud Sur	Longitud Oeste	HoraLocal	Región	Provincia	DATOS NORMALIZADOS				
								Magnitud	Hipocentro	Intensidad	Aceleración	
UNJ	2017	05/06/2017	-4.17	-80.66	06:34:09	Piura	Máncora	0.5778	0.0450	0.27	0.36	0.00474
UNJ	2017	11/08/2017	-5.49	-81.18	15:17:52	Piura	Paita	0.3556	0.0825	0.09		0.00052
UNJ	2018	06/09/2018	-2.17	-78.82	21:12:03	Tumbes	Zarumilla	0.6000	0.2000	0.18	0.27	0.00486
UNJ	2019	03/01/2019	-5.75	-77.17	16:11:48	San Martín	Rioja	0.4444	0.0475	0.27		0.00180
UNJ	2019	15/01/2019	-9.12	-79.35	15:24:07	Ancash	Santa	0.4778	0.0600	0.09	0.18	0.00044
UNJ	2019	04/02/2019	-2.47	-80.11	12:45:45	Tumbes	Zarumilla	0.5444	0.1825	0.18		0.00282
UNJ	2019	22/02/2019	-2.36	-80	05:40:38	Tumbes	Zarumilla	0.5222	0.2175	0.18	0.27	0.00116
UNJ	2019	06/08/2019	-3.83	-77.32	15:00:54	Amazonas	Condorcanqui	0.4222	0.3175	0.09		0.00050
UNJ	2019	19/11/2019	-5.67	-77.09	15:47:39	San Martín	Rioja	0.4222	0.1125	0.18		0.00114
UNJ	2020	02/04/2020	-6.03	-80.66	05:30:31	Piura	Sechura	0.4000	0.1050	0.18	0.27	0.00068
UNJ	2020	25/04/2020	-5.78	-77.59	09:35:09	Amazonas	Bongara	0.3889	0.0600	0.18		0.00064
UNJ	2020	17/05/2020	-4.19	-77.41	14:27:04	Amazonas	Condorcanqui	0.3889	0.0750	0.09		0.00054

Fuente: Elaboración propia con base en datos de reportes sísmicos de la red acelerográfica.