

Análisis de series de tiempo de datos de sismos en el Perú 2017-2018

Carlos Alvaro Risco Franco
Universidad Nacional de Ingeniería

Resumen

El objetivo del presente trabajo es caracterizar y buscar patrones de comportamiento, en zonas con agrupamiento de sismos, mediante el uso de series de tiempo y los datos de los sismos ocurridos en el Perú en los años 2017 y 2018.

En este trabajo exploratorio, primero hemos usado *Cluster Analysis* para formar grupos o áreas geográficas con cercanía de ocurrencia de sismos.

Luego hemos encontrado que la magnitud de los sismos en el tiempo, evaluadas por zonas de cercanía geográficas, estaría correlacionada con la magnitud del sismo anterior, de ahí que haya resultado adecuado utilizar el modelo ARIMA (1,1,0), en el cual se considera un rezago y una diferencia para eliminar la presencia de alguna tendencia, sin la presencia de media móvil.

Hemos identificado ocho zonas geográficas, en las cuales se agrupan los sismos. Entre otros resultados hemos hallado que en las zonas Arequipa-Tacna y Lima-Ica, las magnitudes de los sismos en relación con el tiempo de llegada, se ajustan a un modelo ARIMA(1,1,0).

Por otro lado, también hemos hallado que en la zona de Arequipa-Tacna, la Profundidad de los sismos en relación con el tiempo de llegada, se ajusta también a un modelo ARIMA(1,1,0).

Hemos usado datos del Instituto Geofísico del Perú, en particular, el tiempo, latitud, altitud, magnitud, profundidad, entre otros, los mismos que se pueden encontrar en su página web de la institución.

Palabras clave: sismos, análisis de series de tiempo, *cluster analysis*.

Abstract

The objective of this work is to characterize and look for behavior patterns, in areas with earthquake clusters, through the use of time series and the data of the earthquakes that occurred in Peru in 2017 and 2018.

In this exploratory work, we have first used Cluster Analysis to form groups or geographic areas with near earthquake occurrence.

Then we have found that the magnitude of the earthquakes in time, evaluated by geographical proximity zones, would be correlated with the magnitude of the previous earthquake, hence it was appropriate to use the ARIMA model (1,1,0), in which It is considered a lag and a difference to eliminate the presence of some trend, without the presence of moving average.

We have identified eight geographical areas, in which the earthquakes are grouped. Among other results we have found that in the Arequipa-Tacna and Lima-Ica areas, the magnitudes of the earthquakes in relation to the arrival time, conform to an ARIMA model (1,1,0).

On the other hand, we have also found that in the Arequipa-Tacna area, the depth of the earthquakes in relation to the time of arrival, also fits an ARIMA model (1,1,0).

We have used data from the Geophysical Institute of Peru, in particular, time, latitude, altitude, magnitude, depth, among others, the same that can be found on its website of the institution.

Keywords: earthquakes, time series analysis, cluster analysis.

1. Introducción

Es conocido en el mundo, de los daños materiales y pérdidas humanas que ocasionan los sismos; por tanto, el problema de predecir cuándo y dónde se va a producir un sismo de gran magnitud constituye la preocupación de los institutos de investigación de muchos países del mundo. De ahí la gran producción de investigaciones que apuntan a contribuir en esta dirección. Hasta ahora se ha ensayado diversas metodologías, diversos caminos, y se ha utilizado información que va desde modelos físico-matemáticos y probabilísticos hasta la de las ondas electromagnéticas que se producen en momentos previos a los sismos, etc. El Perú se halla en una de las zonas más sísmicas del Pacífico, por lo que el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y diversos investigadores comparten esta preocupación.

En la medida en que el fenómeno sísmico es muy complejo y aleatorio, este trabajo es de tipo exploratorio y a través de sus resultados se propone conocer las características y tendencias de los sismos, las cuales se expresarán en los modelos estadísticos.

Como apoyo se utilizará información secundaria proporcionada por el Instituto Geofísico del Perú, así como de otras fuentes disponibles. El análisis se realizará con el soporte de diversas herramientas estadísticas, tales como los modelos de series de tiempo y el programa SPSS versión 21.

2. Antecedentes

Janik y Bossev (2016) en su trabajo “Analysis of simultaneous time series of indoor, outdoor and soil air radon concentrations, meteorological and seismic data” analizaron series durante cuatro años de concentraciones de radón interiores y exteriores, medidas simultáneamente con datos de sismos, junto con cantidades ambientales, que pueden actuar como variables de control del radón. El estudio se realizó en Chiba, Japón y llegaron a la conclusión de que no hay evidencias de una relación entre el comportamiento de los sismos y las series de radón.

Soloviev, Ismail-Zadeh, Keilis-Borok y Alexandre (2003) desarrollaron un modelo de dinámica de bloques y fallas (modelo de bloques para abreviar) de la litosfera, para analizar si las características básicas de la sismicidad dependen de la estructura y dinámica de la litosfera y para estudiar las características específicas de esta dependencia. Una región sísmica está modelada por un sistema de bloques perfectamente rígidos divididos por fallas planas infinitamente delgadas. Los investigadores realizaron el modelado numérico de la dinámica de la estructura de bloques y discutieron las posibilidades de reconstrucción de fuerzas tectónicas de la distribución espacial de la sismicidad, la agrupación de terremotos en el modelo y la dependencia de la ocurrencia de grandes terremotos en la fragmentación de los medios y en la rotación de bloques. Sus resultados muestran que la modelización de la dinámica de la estructura de bloques, es una herramienta útil para estudiar las relaciones que asocian a los movimientos de los bloques y la geometría de fallas con el flujo sísmico, incluidos los patrones de sismicidad premonitorios, en la prueba de algoritmos de predicción de terremotos existentes y en el desarrollo de nuevos. Para construir su modelo, ellos desarrollaron una geometría de la estructura de bloques, así como el movimiento y la interacción entre ellos y con las fallas.

Sasorova, Levin y Emelyanova (2006) sostienen que la validez estadística de la existencia de componentes no aleatorios en subintervalos se mantiene para la mayoría de los niveles de magnitud. El modelo digital (superposición de procesos aleatorios y un proceso periódico) fue propuesto. “Los catálogos mundiales ISC y NEIC (cantidad total de eventos desde 1966 es más de 200000) se utilizaron en una búsqueda de distribución espacial y temporal de terremotos (EQ). Las distribuciones de los eventos entre las partes norte y sur de la región del Pacífico son diferentes para varios niveles de magnitud ($4 \sim Mb < 4.5$; $4.5 \sim Mb < 5$; $5 \sim Mb < 5.5$; $5.5 \sim Mb < 6.0$; $6 \sim Mb < 6.5$; $6.5 \sim Mb$). Ellos usaron la prueba libre de distribución (prueba de ejecución con nivel significativo 1%) para la prueba de existencia del componente no aleatorio en secuencias de tiempo. Entre los resultados se halló que las secuencias de tiempo de conmutación EQ entre las partes norte y sur de la región del Pacífico contienen un componente no aleatorio estadísticamente significativo para los eventos con $4.0 \sim Mb < 6.0$ ”.

Ma, x. Xu, b. Xu y Zhang (2006) proporcionan un análisis preliminar del entorno de la estructura geológica de este terremoto de tsunami y retrospectiva, cambios de

los datos NCEP (datos geoespaciales y temporales de temperatura y marea) y el desencadenamiento astra-marea. El resultado de su investigación muestra un aumento de temperatura anormal evidente y su regla de evolución en el tiempo espacial: aumento de la temperatura original menos el aumento de la temperatura fortificada más el pico de aumento de la temperatura –atenuación, calma– presencia de terremotos. Tanto el choque principal como la fuerte réplica se produjeron en el momento en que las tensiones del disparo astra-tidal actuaron sobre la falla y alcanzaron el valor absoluto máximo. El terremoto típico demostró que era una nueva idea combinar los datos NCEP con el disparo astra-tidal para pronosticar un terremoto inminente a corto plazo.

De acuerdo con Mukherjee y Kortvelyessy (2006) “la ciencia de la tectónica terrestre se basa actualmente en las formas de las costas, los movimientos presentes de los continentes, la paleontología y los minerales magnéticos”. Pese a que la rotación terrestre no fue un fenómeno interesante hasta ahora, para estos autores “la influencia del destello de estrellas en el entorno Sol-Tierra tiene una relación directa con los terremotos y los tsunamis. Una repentina disminución del índice K_p puede haber desencadenado el terremoto y el tsunami en el océano Índico el 26 de diciembre de 2004. Sin embargo, también se sugiere el papel del Bernoulli-giroscopio y los efectos de Coriolis en asociación con la conexión Estrella-Sol-Tierra”.

Para Rikitake y Hamada (2003), “la predicción de terremotos es el esfuerzo humano para predecir el tiempo, la ubicación y la magnitud de un terremoto. Los programas de predicción de terremotos han sido de preocupación en Japón, China, los Estados Unidos, la extinta Unión Soviética y otros países”. Desde la perspectiva científica la predicción de terremotos tiene fundamento en fenómenos anómalos que anteceden a un terremoto y aunque ha habido algunos casos exitosos de predicción de terremotos, la mayoría de ellos en China, todavía no se tiene la capacidad de emitir una advertencia de terremoto sobre la base de información precisa de predicción.

Dzwinell y Yuen (2003) Desarrollan una nueva técnica basada en el análisis de conglomerados de la estructura multiresolución de patrones de terremotos y se aplica a catálogos sísmicos observados y sintéticos. Los datos observados representan actividades sísmicas situadas alrededor de las islas japonesas en el intervalo de tiempo 1997-2003. Los datos sintéticos fueron generados por simulaciones numéricas para varios casos de falla heterogénea gobernada por dislocación elástica 3-D y fluencia de ley de potencia. En la resolución más alta, los autores analizan la estructura de clúster local en el espacio de datos de eventos sísmicos para los dos tipos de catálogos mediante un algoritmo de agrupamiento aglomerativo. En su estudio demuestran que “los eventos de pequeña magnitud producen parches espacio-temporales locales correspondientes a eventos grandes en la vecindad”.

Panayiotis, Varostos, Sarlis y Skordas (2011) desarrollan una monografía cuyo objetivo básico es presentar la nueva visión del tiempo, denominada tiempo natural χ introducida por ellos en el año 2001. En este nuevo enfoque, el tiempo es no continuo, por lo que está en agudo contraste con el tiempo convencional t utilizado hasta hoy, el cual se modela “como el continuo unidimensional de los números reales”.

“Los resultados indicados para la fecha en la base de este nuevo dominio revelan que las características dinámicas ocultas de las horas remotas en sistemas complejos, generan un aumento en el tiempo natural mínimo, pero no resultan así cuando el análisis se lleva a cabo dentro del marco del tiempo convencional. Además, el análisis en tiempo natural permite el estudio de la evolución dinámica de un sistema complejo e identifica cuando el sistema entra en una etapa crítica. Por lo tanto, parece que el tiempo natural juega un papel clave en la predicción de eventos catastróficos inminentes en general”.

Flores, Tavera y Rodríguez (2012) aplicaron el método de predicción de terremotos a plazo intermedio, conocido como M8 (Keilis-Borok y Kossobokov, 1990), al borde occidental del Perú a fin de predecir la posible ocurrencia de sismos de gran magnitud. Para su aplicación utilizaron los catálogos sísmicos del IGP y NEIC, previamente evaluados para constituir una base de datos homogénea. En el análisis retroactivo se confirmó la formación de tiempos de incremento de la probabilidad (*Time Increased Probability* - TIP) antes de los terremotos ocurridos en el Perú en los años 1970, 1974, 1996, 2001 y 2007. En el análisis prospectivo identificaron la presencia de dos CTIP correspondientes a áreas circulares de 300 km con centro, para el primero ubicado al noroeste de la ciudad de Lima, y para el segundo ubicado en el límite Perú-Chile. En ambas áreas, es posible la ocurrencia de un gran sismo dentro del periodo 2008-2013.

Conceptos

- Sismo (también conocido como terremoto). Se denomina así a una sacudida de la tierra que consiste en una serie de vibraciones en la superficie como consecuencia del movimiento de las capas interiores de la tierra.
- Localidad más cercana al sismo. Es la localidad que según el IGP está cerca al epicentro del sismo.
- La escala sismológica de Richter (13) o escala de magnitud local (ML). Es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar la energía liberada en un terremoto. Fue denominada así en honor del sismólogo estadounidense Charles Richter (1900-1985).
- Fecha del sismo. Se refiere a la fecha de la ocurrencia del sismo.
- Tiempo de llegada. Se refiere al tiempo contado desde enero de 2017 hasta la realización del referido sismo. Es expresado en días.
- Tiempo de interllegada. Se refiere al tiempo contado a partir del sismo anterior, hasta la realización del sismo.
- Ubicación geográfica del sismo. Es el lugar en el cual se produce el sismo y está referenciado con la latitud y longitud.

- Latitud. Distancia angular entre la línea ecuatorial (el ecuador) y un punto determinado de la Tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto. Según el hemisferio en el que se sitúe el punto, puede ser latitud norte o latitud sur.
- Longitud. Mide el ángulo a lo largo del ecuador desde cualquier punto de la Tierra. Se acepta que Greenwich en Londres es la longitud 0 en la mayoría de las sociedades modernas. Las líneas de longitud son círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos.
- Magnitud del sismo. Número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000, o bien, de aproximadamente 32 veces la energía liberada. Generalmente se usa la escala de Ritchter.
- Intensidad local. Es la intensidad del sismo en referencia a la localidad o localidades mas cercanas.

Hipótesis

Dada la complejidad del fenómeno de los sismos en el Perú, y dado que la presente investigación es de carácter exploratorio, también se hace difícil establecer una hipótesis de trabajo, las cuales tendrían que ser verificadas, sin embargo, considerando las limitaciones señaladas, presentamos las siguientes hipótesis:

- Los datos de la magnitud y la profundidad de los sismos en relación al tiempo, en el Perú por zonas sísmicas, se ajustan a un modelo de series de tiempo .
- Existen patrones o tendencias en la ocurrencia de los sismos en el Perú, por zonas sísmicas.

4. RESULTADOS

Para elaborar los resultados que se presentan a continuación, hemos incluido los datos de sismos en el Perú, desde enero de 2017 a mayo de 2018, los cuales corresponden a datos registrados por el IGP (712 registros de sismos).

En el gráfico 1 se muestra la distribución de los sismos desde 2017 hasta mayo de 2018, con su frecuencia, de acuerdo a su magnitud. Se observa que la media de la magnitud está, aproximadamente, en 4.0.

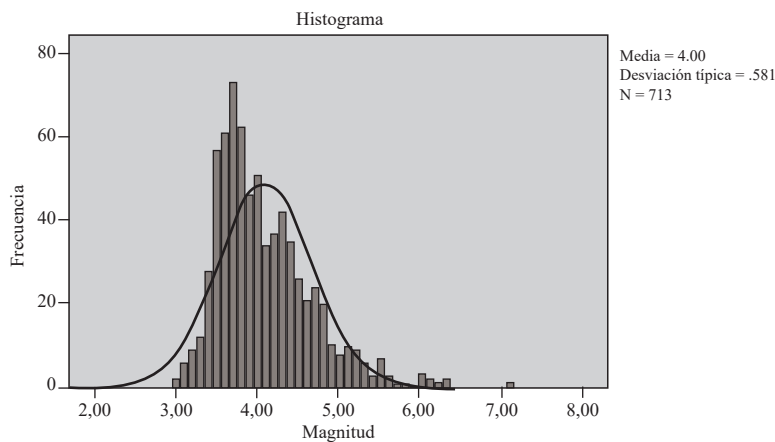


Gráfico 1. Distribución de los sismos en el Perú 2017-2018

4.1 Aplicación de *cluster analysis*

Hemos aplicado *cluster analysis* y hemos identificado ocho zonas geográficas, (con agrupación de sismos, para el cual hemos usado las variables de Latitud y Longitud, que corresponden a la ubicación geográfica de los sismos. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1
Distribución de los sismos en el Perú 2017-2018 por zonas geográficas
Grupos o zonas resultantes

Nro	Zonas geograficas	Nro de sismos por zona	Porcentaje
1	Moyobamba Loreto	47	6.6
2	Arequipa - Tacna	155	21.8
3	Lima- Ica	173	24.3
4	Oxapampa - Tocache	79	11.1
5	Atico - Pampamarca	131	18.4
6	Tumbes - Piura	65	9.1
7	Casma - Chimbote	54	7.6
8	San Gaban	8	1.1
Total		712	100.0

Elaboración propia

Se puede observar que son las zonas geográficas de Arequipa-Tacna y Lima-Ica, las que presentan mayor número de sismos.

Tabla 2
Descriptivos por grupos, para la magnitud de los sismos y la profundidad

Estadísticos descriptivos para la magnitud y profundidad							
Zona	Variables	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
Moyobamba	magnitud	47	2.90	3.20	6.10	4.2191	.68259
	Profundidad	47	249	11	260	70.36	64.340
	N válido (según lista)	47					
Arequipa-Tacna	magnitud	155	3.30	3.00	6.30	3.8981	.54421
	Profundidad	155	240	6	246	52.72	58.030
	N válido (según lista)	155					
Lima-Ica	magnitud	173	2.60	3.00	5.60	3.9977	.50127
	Profundidad	173	123	6	129	45.08	29.147
	N válido (según lista)	173					
Tocache	magnitud	79	2.90	3.20	6.10	4.2532	.60231
	Profundidad	79	189	2	191	81.65	63.507
	N válido (según lista)	79					
Atico	magnitud	131	4.00	3.10	7.10	4.1603	.64744
	Profundidad	131	137	5	142	47.27	32.903
	N válido (según lista)	131					
Tumbes-Piura	magnitud	65	2.90	3.10	6.00	4.1569	.52350
	Profundidad	65	104	4	108	40.78	22.311
	N válido (según lista)	65					
Casma - Chimbote	magnitud	54	2.30	3.20	5.50	4.1315	.53758
	Profundidad	54	101	8	109	44.22	21.980
	N válido (según lista)	54					
San Gaban	magnitud	8	1.80	3.40	5.20	4.1875	.70597
	Profundidad	7	11	8	19	12.71	3.861
	N válido (según lista)	7					

Elaboración propia

Se puede observar que el rango de la magnitud esta alrededor de 3, excepto para Atico que tiene 4. Respecto a la profundidad, el rango para Atico es 137 km y para Lima-Ica 123 km, mientras que para Arequipa-Tacna y Moyobamba 240 km y 249 km, respectivamente. Sobre el máximo de la magnitud, destaca Atico con 7.1, seguido de Arequipa y Tocache con 6.3 y 6.1 respectivamente. El promedio de la magnitud de los sismos está en 4.0, aproximadamente.

4.2 Ajuste del modelo Arima (1,1,0) para la magnitud del sismo en relacion con el tiempo de llegada

Luego de varios intentos de ajuste del tiempo con la magnitud de los sismos de Perú, el modelo Arima (1,1,0) resultó ser el más apropiado y se ha incluido solo los más significativos, de lo que resultan las zonas de Arequipa-Tacna y Lima-Ica.

El ajuste se realiza a los datos de los sismos donde la variable dependiente es la magnitud del sismo y la variable independiente es el tiempo de llegada. El ajuste se ha realizado por grupos geográficos.

Tabla 3
Ajuste del modelo ARIMA (1,1,0) para la zona de Arequipa-Tacna

Estadísticos del modelo ^a							
Modelo	Número de predictores	del modelo		Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
		R- cuadrado estacionaria	R-cuadrado	Estadísticos	GL	Sig	
Magnitud-Modelo_1	1	.335	-.047	29.622	17	0.29	0

a. Average Linkage (Between Groups) = Arequipa
Elaboracion propia.

Tabla 4
Parámetros del modelo ARIMA (1,1,0) para Arequipa-Tacna

Parámetros del modelo ARIMA ^a					Estimación	ET	t	Sig.
Magnitud-Modelo_1	Magnitud	Sin transformación	Constante		-148	.066	2.227	.027
			AR	Retardo 1	-561	0.67	-8.342	.000
			Diferencia		1			
	Tiempos de llegada	Sin transformación	Numerador	Retardo 0	-.001	.000	-2,363	.019

a. Average Linkage (Between Groups) = Arequipa
Elaboración propia

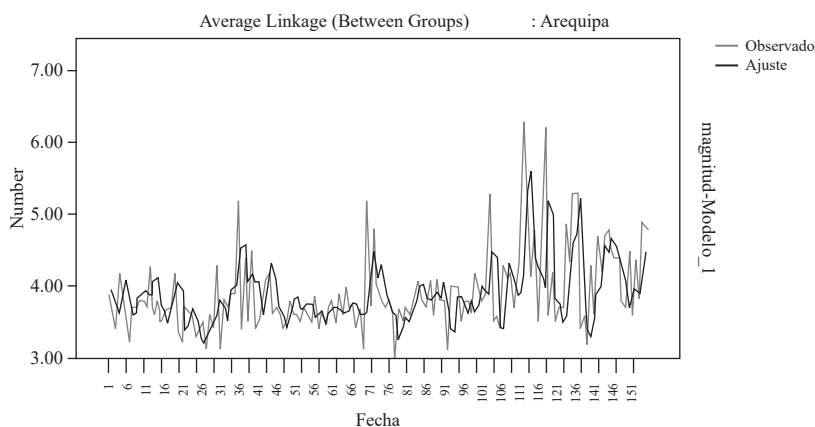


Gráfico 2. Magnitud y tiempo de llegada – zona de Arequipa-Tacna

Tabla 5
Ajuste del modelo ARIMA (1,1,0) para la zona de Lima-Ica

Estadísticos del modelo ^a							
Modelo	Número de predictores	del modelo		Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
		R- cuadrado estacionaria	R-cuadrado	Estadísticos	GL	Sig	
Magnitud-Modelo_1	1	.213	-.499	50.366	17	.000	0

a. Average Linkage (Between Groups) = Lima-Ica
Elaboracion propia.

Tabla 6
Parámetros del modelo ARIMA (1,1,0) para la zona de Lima-Ica

Parámetros del modelo ARIMA ^a								
				Estimación	ET	t	Sig.	
Magnitud-Modelo_1	Magnitud	Sin transformación	Constante		0.40	.093	.431	.667
			AR	Retardo 1	-.459	0.69	-6.673	.000
			Diferencia		1			
	Tiempos de llegada	Sin transformación	Numerador	Retardo 0	.000	.000	-.471	.638

a. Average Linkage (Between Groups) = Lima-Ica
Elaboración propia

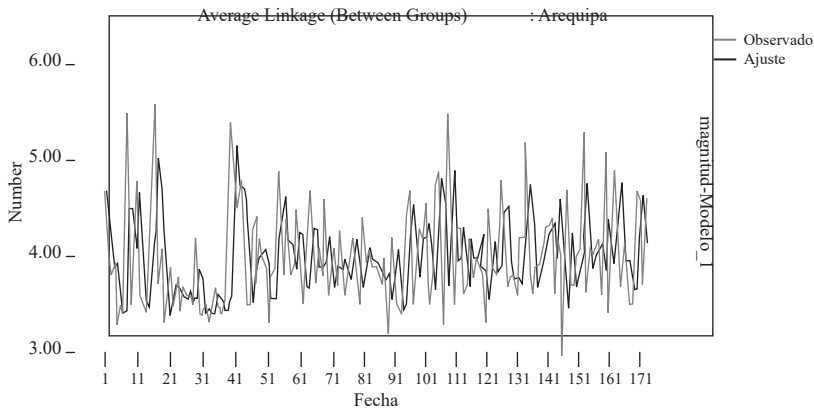


Gráfico 3. Magnitud y tiempo de llegada – zona de Lima-Ica

4.3 Ajuste del modelo Arima (1,1,0) para la profundidad del sismo para la zona de Arequipa-Tacna en relacion con el tiempo de llegada

Tabla 7
Estadísticos del modelo ARIMA (1,1,0) para los sismos en Arequipa-Tacna

Estadísticos del modelo ^a							
Modelo	Número de predictores	del modelo		Ljung-Box Q(18)			Número de valores atípicos
		R- cuadrado estacionaria	R-cuadrado	Estadísticos	GL	Sig	
Magnitud-Modelo_1	1	.176	.997	27.777	17	.048	0

a. Average Linkage (Between Groups) = Arequipa
Elaboracion propia.

Tabla 8
Parámetros del modelo ARIMA (1,1,0) para los sismos en Arequipa-Tacna

Parámetros del modelo ARIMA ^a					Estimación	ET	t	Sig.
Magnitud-Modelo_1	Magnitud	Sin transformación	Constante		1.993	.653	3.051	.003
			AR	Retardo 1	.429	0.74	5.825	.000
			Diferencia		1			
	Tiempos de llegada	Sin transformación	Numerador	Retardo 0	-.002	.002	-,891	.374

a. Average Linkage (Between Groups) = Arequipa
Elaboración propia

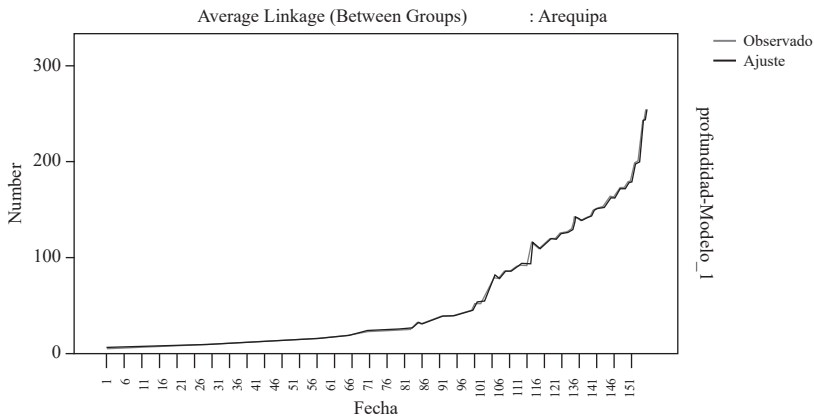


Gráfico 4. Profundidad y tiempo de llegada para la zona de Arequipa-Tacna

5. Conclusiones

1. Se han identificado 8 zonas de actividad sísmica en el Perú, los cuales son los siguientes: Moyobamba-Loreto, Arequipa-Tacna, Lima-Ica, Oxapampa-Tocache, Atico-Pampamarca y Tumbes-Piura.
2. Hasta el mes de Mayo del 2018, es la zona de Lima-Ica la que presenta la mayor actividad sísmica.
3. Un patrón importante que hemos hallado es el que se refiere al ajuste del modelo de series de tiempo ARIMA(1,1,0) a datos de la Magnitud del sismo Vs el tiempo de llegada que ha resultado significativo para las zonas sísmicas de Arequipa-Tacna y Lima-Ica.
4. El otro patrón importante que hemos hallado es el que se refiere al ajuste del modelo de series de tiempo ARIMA(1,1,0) a datos de la Profundidad del sismo Vs el tiempo de llegada, que ha resultado significativo solo para la zona de Arequipa.

Referencias bibliográficas

- Dzwinel, W. y Yuen, D. (2003). *Cluster Analysis, Data-Mining, Multi-dimensional Visualization of Earthquakes over Space, Time and Feature Space*. AGH Institute of Computer Science, al. Mickiewicza 30, 30-059, Kraków, Poland. Minnesota Supercomputing Institute, University. of Minnesota, Minneapolis.
- Flores, C. Tavera H. y Rodriguez, L. (2012). *Aplicación del Algoritmo M8 en el borde occidental del Perú: Incrementos de probabilidad para la ocurrencia de grandes terremotos*. Lima: Sociedad Geológica del Perú.
- Janik, M. y Bossev, P. (2016). “ Analysis of simultaneous time series of indoor, outdoor and soil air radon concentrations, meteorological and seismic data” .

- MA W., XU X., XU B. y ZHANG, H.. (2006) Abnormal temperatura increase and astro-tidal triggering in the tsunami earthquake in indonesia magnitude 9.0. Zhejiang Universit; Zhejiang 321000, China. *Earthquake Prediction*, pp. 61-68.
- Mukherjee, S. y Kortvelyessy, L. (2006). Starstorm influence on earth rotation leads tsunami and earthquakes. Department of Earth and Ocean Sciences, The University of Liverpool, 4 Brownlow Street, Liverpool L69 3GP, UK. *Earthquake Prediction*, pp. 69-76.
- Panayiotis V., Sarlis V. y Skordas E. (2011). *Natural Time anàlysis: The new view of time. Precursory seismic electric signals, earthquakes and other complex time series*. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Rikitake, T. y Hamada, K. (2003). *Earthquake Prediction*. Association for the Development of Earthquake Prediction.
- Soloviev, A., Ismail-Zadeh, A., Keilis-Borok, V. y Soloviev, A. (2003). (Eds.). *Nonlinear Dynamics of the Lithosphere and Earthquake Prediction*.
- Sasorova, Levin y Emelyanova. (2006) Detection of the non-random component in the earthquake distribution between the Northern and Southern part of the Pacific: Observations and modeling. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Nakhimovsky pr. 36, Moscow 117851, Russia. *Earthquake Prediction*, pp. 53-60.

