

Uso de Tecnología Geoespacial para el Análisis e Interpretación de los Sismos

Abiezer Pagán Flores
Maestría en Ciencia y Tecnología Geoespacial
Prof. Raúl Matos Flores
Departamento de Agrimensura y Ciencia Geoespacial
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — En este estudio se analizó la actividad de los enjambres tomando como ejemplo la zona que se extiende a unos 285.2 Km cuadrados y que comprende los pueblos de Guayama, Arroyo, Patillas y Cayey. Este lugar para los años 2005 y 2007 tuvo un aumento significativo del (200%) en su sismicidad preocupando a algunas personas de la región. Con esto en mente se desarrolló un estudio que abarca 10 años de entre 2004 hasta el 2014. Estos sismos fueron analizados espacialmente mediante el uso de herramientas de análisis Geoespacial y visualización en 3D. Este análisis espacial envuelve la creación de un algoritmo que automatizo las medidas de distancias entre cada sismo. El resultado del algoritmo fue adherido a un Shapefile y este abierto en ArcScene 3D donde se modelo la distribución de las formas lineales y geométricas como resultado del análisis para la identificación de formaciones geológicas o estructuras que pudieran dar otro ángulo al fenómeno. Con ArcMap se crearon mapas que pudieron ayudar al desarrollo de análisis espacial para identificar zonas vulnerables que puedan ayudar a la creación de planes de mitigación de acuerdo a la zona. Con este estudio implico que el producto que se genero fuera simple y entendible ya sea para informar al público o la rama científica.

Key Terms — Análisis, Geoespacial, Interpolación, Sismos.

INTRODUCCIÓN

Se desarrolló un análisis geoespacial y una visualización de los resultados obtenidos mediante el análisis de 247 sismos que conforman el enjambre de la zona llamada Lago Carite. Este tipo de estudio se realizó con tecnología espacial como el software de información geográfica donde se pueden recrear estudios espaciales de cualquier

tipo. Con esto en mente se recopilaron datos de sensores remotos como imágenes de satélites, capas de información de algunas agencias estatales y federales. En el análisis de los resultados obtenidos se mostrara algunas opciones a la hora de presentar análisis espaciales que en este caso son los enjambres sísmicos y su localización con relación al ambiente geográfico. Con esto también se busca la mejor difusión y comprensión de la información para investigación para el uso de otras ramas científicas o mostrarlos al público en general. Así mismo nos menciona, Slocum “En la práctica, ayuda a los analistas cualificados a explorar rápidamente grandes conjuntos de datos complejos para obtener nuevos conocimientos utilizando visualizaciones interactivas”. [1]

METODOLOGÍA

Esta metodología se centró en el estudio de la visualización geográfica y el análisis de los datos sísmicos con el uso de tecnología geoespacial. El uso de la tecnología geoespacial ayudo a los análisis mediante la creación y comparación de capas de información y el desarrollo de mapas como resultado. También se crearon análisis en 3D que mediante el uso de un algoritmo se realizaran análisis de enlace entre los sismos por distancias seleccionadas.



Figura 1
Flujograma

Se eligió el lago artificial Carite como punto centrico del análisis geográfico.

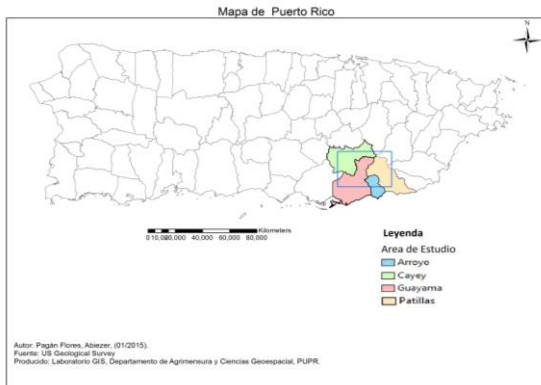


Figura 2
Localización Área de Estudio

La distribución geográfica del área se encuentra entre los 285.2 Km², en la región Sureste de Puerto Rico, en la Lat.17.997 N – Lat.18.126 N, Long. -66.188 O – Long. -65.999 O. Tiene una elevación sobre los 2,000 pies e incluye los municipios de Guayama, Arroyo, Patillas y Cayey.



Fuente: Red Sísmica de PR (2009)

Figura 3
Imagen del Área de Estudio

El Lago Carite es un lago artificial construido en el 1913 y fue formado por una represa de tierra que se hizo en el Rio La Plata. Este se utiliza como fuente de agua potable, irrigación y actividades recreativas. Pero entre el 2005 al 2007 se registraron sismos más seguidos de un (200%) concentrándose al lado Este del mismo y orientándose en una dirección N-NE a S-SO.

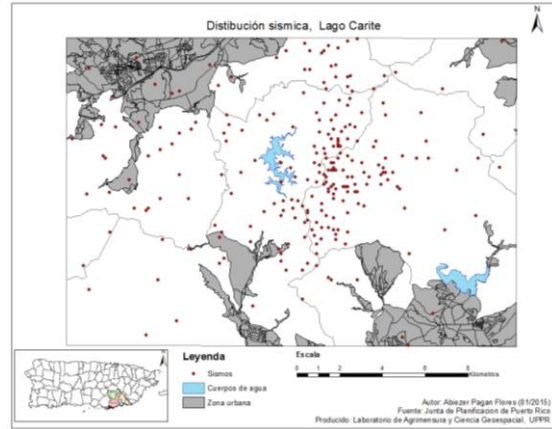


Figura 4
Zona Sísmica

Para el día de hoy se desconoce la causa según 2 informes de campo del colegio de Mayagüez y la red sísmica.

Dado a esta incógnita se desarrolló este proyecto investigativo en donde se usaron algunas técnicas geoespaciales para desarrollar mapas y modelaje en 3D. Para esto se comenzó a describir el fenómeno como enjambre y no como un evento distante de otro y comenzar a buscar patrones que puedan ayudar a definir los procesos de análisis. Esta masa sísmica se distribuye en diferentes rangos de profundidad como en magnitud. Por ejemplo en los resultados la distribución de sismos por profundidad podemos determinar la mayor cantidad de eventos y su ubicación.

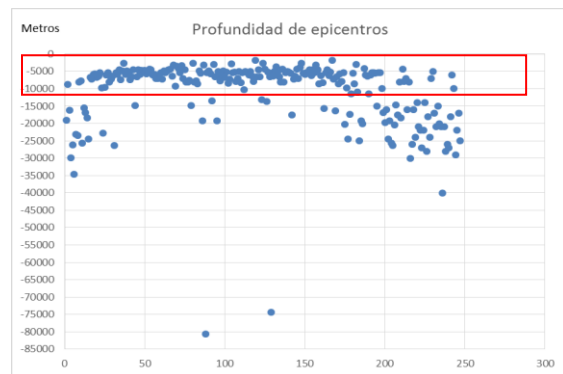


Figura 5
Gráfica de Profundidad

Se observaron de los 247 sismos ocurridos en 10 años de actividad registrados en un área de 287Km cuadrados que ocupa el área de estudio. La

gran mayoría de los sismos se registraron menor a los 10 km de profundidad. También se pudo observar una distribución en sus respectivas profundidades y con esto se identificó que la mayoría de los sismos se encuentra de entre 0 a los 10 Kilómetros de profundidad resultando muy cercano a la superficie.

Tabla 1
Distribución Sísmica

Cantidad de Sismos	Prof. Metros	Prof. Kilómetros
50	0- 5000	0 - 5
120	5001 - 10000	5 - 10Km
14	10001 - 15000	10.1 - 15Km
26	15001 - 20000	15.1 - 20Km
19	20001 - 25000	20.1 - 25Km
14	25001 - 30000	25.1 - 30Km
1	30001 - 35000	30.1 - 35Km
1	40000	40Km
1	74000	74Km
1	80000	80Km

Como resultado de esto de entre los primeros 10,000metros (10Km) se registraron 170 sismos esto significa que más de la mitad de los sismos registrados osea un 68% de sismos estan cercanos a la superfie.

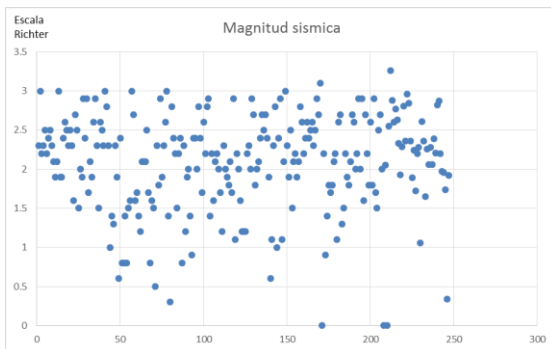


Figura 6
Grafica de Magnitud

Por otra parte en sus magnitudes se generaron sismos con mayor fluctuación de entre 2 a 3 grados de magnitud con 145 ósea un 58.7% de total de 247. Con esto pudiera entenderse que en la zona donde se sienten mayormente esto sismos las estructuras pudieran mostrar problemas estructurales en el presente o futuro.

Tabla 2
Distribución de Magnitud

Escala sísmica (Richter)	Sismos sentidos
0 a 1	17
1 a 2	83
2 a 3	145
3 a 3.3	2
Total	247

Aunque las magnitudes se presentan en magnitudes bajas la mucha repetición y la poca profundidad sumado al tipo de suelo podria ser una combinación negativa para la zona con daños a las estructuras a corto o largo plazo.

Para mostrar estos analisis habria que desarrollar un mapa vasado en estadísticas. Con esto en mente se tomó un interpolador geoestadístico, llamado Kriging creado por el ingeniero de minas surafricano D.G. Krige. Este tipo de interpolador cuantifica la estructura espacial de los datos mediante el uso de variogramas para la creacion de mapas para que visulmente la informacion tenga mayor sentido espacial (Ecuación 1).

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (1)$$

El análisis Kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie.

La distribución espacial de los sismos es algo que nos puede mostrar mayor información de lo que pensamos. Nos pudiera dar pistas sobre el comportamiento y el tipo de estructuras geologica que se encuentran en las zonas. Con una idea parecida nos muestra Tobler “Todo está relacionado con todo lo demás, pero las cosas cercanas están más relacionadas que las cosas más distantes” [2].

Esta cita nos pudiera indicar lo que anteriormente estamos discutiendo siendo un enfoque espacial del fenomeno y no el estduio del fenomeno solo en si. Por ejemplo se empleo una

capa de informacion de subestaciones de la Autoridad de Energia Electrica vs. la capa de información de zonas sismicas por magnitud y otra comparación por profundidad.

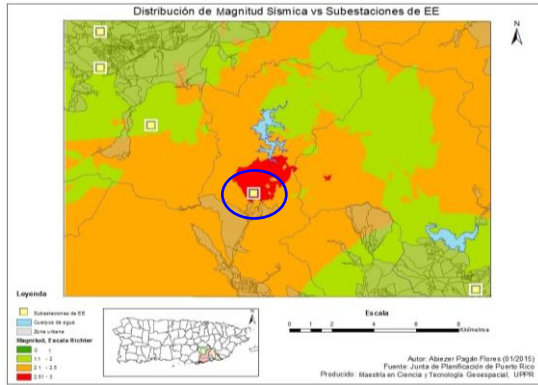


Figura 7
Mapa de Distribución Sísmica 1

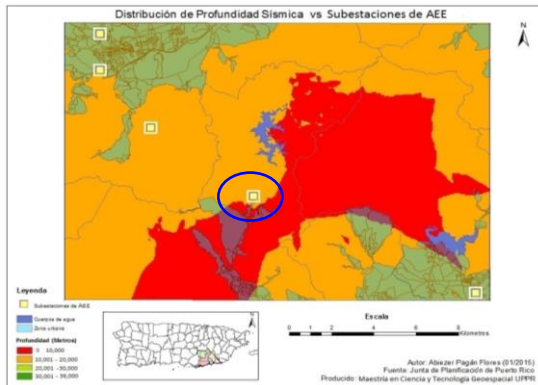


Figura 8
Mapa de Distribución Sísmica 2

Estas capas se solaparon y se observó que una de las subestaciones se ubica en una zona donde la mayoría de los sismos fluctúan de entre 2.5 a 3 de magnitud como también se encuentra cerca de las zonas de poca profundidad sísmica. Con esto pudiera indicar la vulnerabilidad a lo que esta expuesta la estructura los problemas que pudiera desarrollar en un futuro. Aunque no existe muchos estudios sobre el tema habría que tomar en consideración este tipo de estudio por ser una estructura importante.

Siguiendo la misma línea de pensamiento se solapó capas de los refugios seleccionados en el 2009. El resultado mostró que un refugio pudiera tener algún problema con su estructura en el presente o futuro próximo con esto se pudiera

sumar con otro problema de acuerdo al tipo de suelo. Estas estructuras son sometidas a estos tipos de fenómenos gradualmente esto sería un factor de vulnerabilidad de suma importancia para un estudio más profundo.

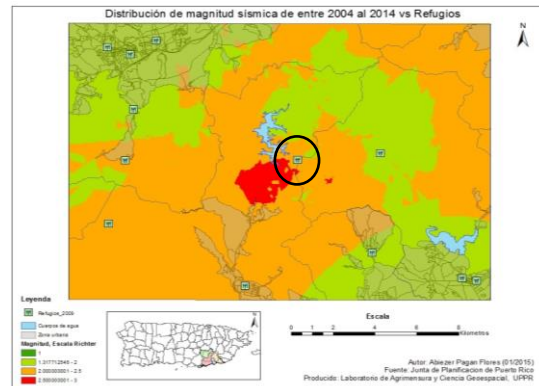


Figura 9
Mapa de Distribución Sísmica 1

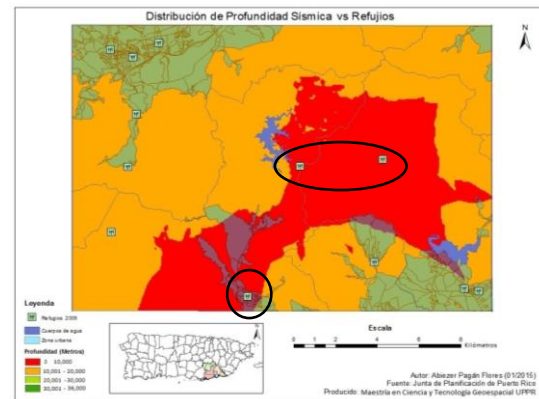


Figura 10
Mapa de Profundidad Sísmica 2

Esta comparación entre el mapa de análisis kriging producido y las capas de información pudieran presentar otros tipos de análisis como las localizaciones de otros tipos de estructuras produciendo información que pudieran tomar en consideración en los planes de mitigación más personalizado dependiendo de su composición geológica y el estudio geoespacial de estos enjambres sísmicos.

Por otra parte se obtuvo una capa de fallas del servicio geológico de los Estados Unidos (USGS) con esta capa fueron añadidas las de zona urbana, cuerpos de agua e imágenes de satélite IKONOS. El análisis espacial presentado a simple vista las fallas

geológicas que pudieran crear estos fenómenos sísmicos en la zona de estudio.

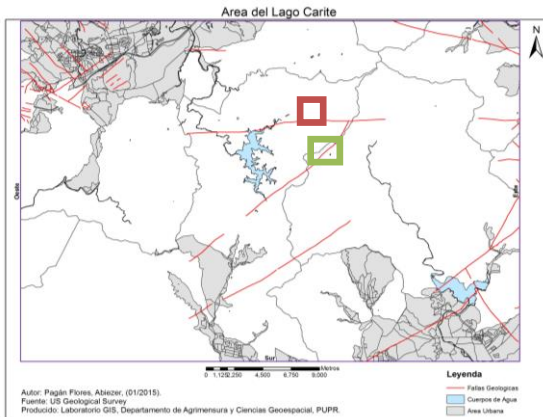


Figura 11
Mapa de Distribución de Fallas Carite

Se observaron algunos detalles en las imágenes IKONOS 2004, le dimos un acercamiento a la imagen observando algunas cosas interesantes. Esto se debe a la gran cantidad de fallas superficiales que contiene Puerto Rico muchas estructuras fueron edificadas encima de fallas geológicas.

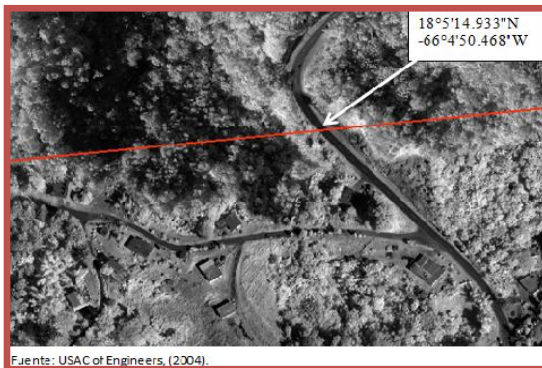


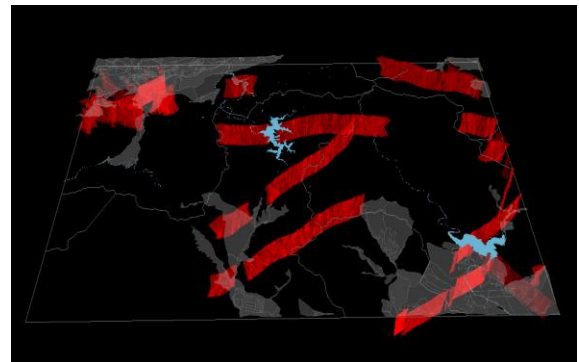
Figura 12
Imagen de Fallas 1

Esta edificaciones son desde carreteras principales, casas o comunidades, esto pudiera significar que la probabilidad de que fueran afectadas por sismicidad recurrente es alta.



Figura 13
Imagen de Fallas 2

Podemos observar cómo estas fallas se distribuyen zona de estudio en la superficie modelado en el software de ArcScene.



Fuente: US Geological Survey

Figura 14
Modelaje 3D Distribución de Fallas

Estos sismos pudieran seguir la trayectoria de las fallas que se identificaron en el primer modelaje en 3D. Pero al observar el segundo modelo en 3D en conjunto con la capa de TIN, fallas geológicas y los sismos con la profundidad detallada.

Pudimos observar en la distribución de esta manera a simple vista ver algunos patrones. Pero este despliegue sería solo parte del estudio espacial de los sismos ocurridos en este enjambre. Para este estudio espacial y la observación de patrones significativos teníamos que tener en cuenta las variables localización, profundidad y distancia.

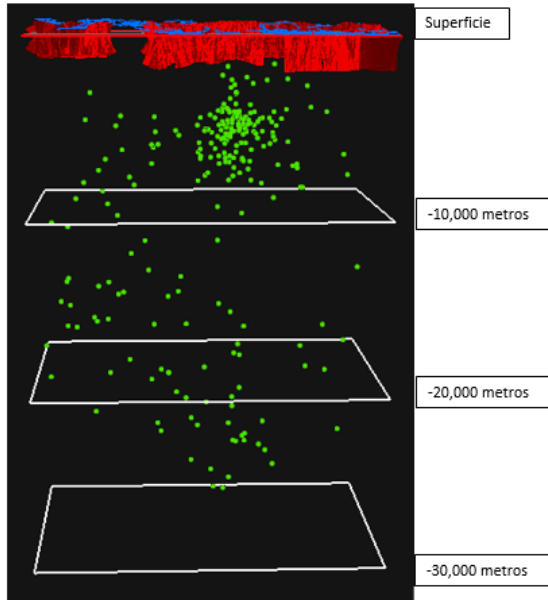


Figura 15
Modelaje de Enjambre Sísmico

Para desarrollar el análisis se tiene que tener en cuenta la distancia entre los epicentros, no se pueden medir entre punto A y punto B como en un mapa 2D, pues estos epicentros tiene el valor de Z. Es ahí es donde entra la ecuación de cálculo de distancia esta analizara las distancias de los 247 sismos uno a uno (Ecuación 2).

$$D = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2} \quad (2)$$

El Análisis de las distancias entre cada epicentro sísmico se desarrolló mediante el uso de un algoritmo basándose en la ecuación X, Y, Z. Este solo enlazaría aquellos que cumplirían con dichos parámetros. A este algoritmo se le indico en la primera medición que solo enlazará con una línea solo los sismos que en distancias no excedieran 3,000 metros de separación entre sí.

Se puede observar la distribución de sismos sentidos a una distancia no mayor o igual a 3,000 metros, presenta una estructura fracturada en diferentes profundidades entre los 10,000 metros. Es la segunda prueba se le indico al algoritmo que solo puede enlazar los sismos no mayor a los 4,500 metros de distancia.

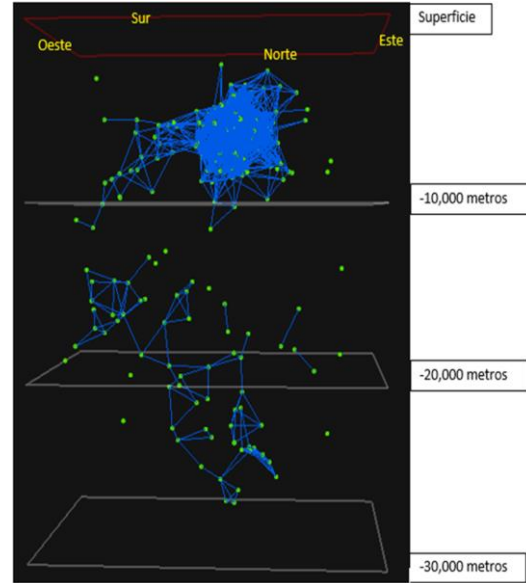


Figura 16
Modelaje de Estructura 1

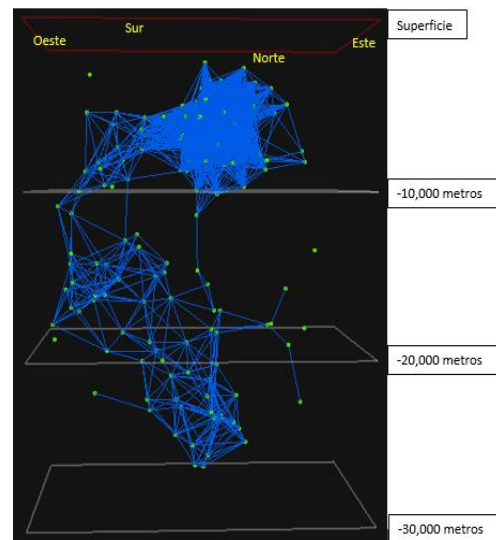


Figura 17
Modelaje de Estructuras 3

De esta manera se repitió la misma regla hasta llegar a 4,500 metros de distancia entre cada sismo. Según se cambia el parámetro de distancia se generaba una nueva correlación. Como resultado de esto se generó un modelaje en 3D formando estructuras que se extienden hacia los 30,000 m de profundidad aproximadamente. Esto pudiera concordar con lo que indica Tarbuk, “*Esto sismos debaja intensidad, el deslizamiento total se produce a lo largo de una superficie de falla*”

comparativamente pequeña o en segmentos pequeños de una falla mayor". [3]

Esto posiblemente pudiera describir un mayor sistema de fallas de las que se pueden observar superficialmente. Como podemos observar estos enjambres a través de su localización espacial pueden mostrar características con mayor información visual de los que pudiera mostrar en algunos informes sobre el tema.

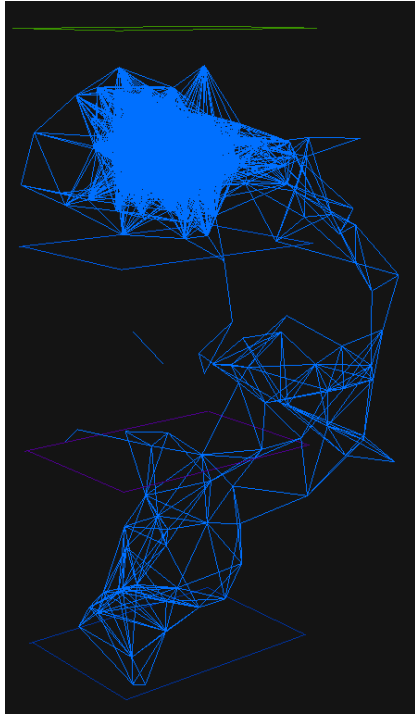


Figura 18
Modelaje de Estructuras 4

Este tipo de estructura pudiera darnos una idea de la formación geológica que pudiera existir en la zona y que pudiera estar ocasionando este tipo de fenómeno de enjambres sísmicos. También la Teoría de tectónica de placas nos presenta que *"La relación de los sismos y las dinámicas geológicas son eventos lentos y continuos"*. Y Tarbuck nos menciona que *"estos sismos pudieran ser formaciones con un desarrollo gradual aunque cada caso hay que tratarse de manera diferente y no como un evento estadístico común, estos sismos precursores que suelen preceder al terremoto principal en días o en varios años"*. [3]

CONCLUSIÓN

En conclusión, al presentar este fenómeno de enjambres sísmicos cercano a la zona del lago Carite se pudieron alcanzar los objetivos. Como también se pudo desarrollar algunos análisis espaciales con la ayuda de capas de información que pudieron darle sentido geográficamente a estos sismos. Las técnicas de visualización a través de la tecnología geoespacial ayudaron a la creación de mapas y capas de información. Así mismo nos plantea Menno-Jan Kraak *"La Geo visualización ofrece un acceso interactivo a los datos que están detrás del mapa que se realiza por la combinación de gráficas con herramientas geo computacionales y técnicas de bases de datos. La visualización debe de ser combinada con lo analítico"*. [4]

Entendiendo que la visualización de la datos y la comunicación de los mismo debiera tener la misma importancia. En el modelaje en 3D por ejemplo al mostrar diferentes ángulos de las estructuras sísmicas a través del análisis del algoritmo pudimos mostrar al público un mayor sentido espacial. Aunque tenemos que tener en cuenta que habría que desarrollar esta herramienta algorítmica nos pudo dar un ejemplo sobre lo discutido anteriormente. Por otro lado se pudo mostrar que con la localización espacial de estos sismos se logró una relación entre cada sismos y que tuviera más sentido la evolución de los enjambres. Con este tipo de estudio se espera que difunda la prevención y el conocimiento en general, la creación de planes de mitigación para las zonas de mayor riesgo y la creación de estructuras que vayan a fin con la composición geológica y sísmica de la zona.

REFERENCIAS

- [1] A. Slocum Terry, B. Mc Master Robert, C. Kessler Fritz, & H. Howard Hugh, *Thematic Cartography and Geovisualization*, 3rd ed., #26 Trend in research and development (Overview), 2008, pp. 479.
- [2] W. R. Tobler, "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region," in *Economic Geography*, no. 46, 1970, pp 234-40.

- [3] E. J. Tarbuck & F. K. Lutgens, "Los terremotos," en *Ciencias de la Tierra*, 8va ed., 2009, pp. 310, 312.
- [4] M. J. Kraak, "Visual Analytics," in *Journal Cartographical*, 2007, pp. 115.