

# RAPID-SIS: Sistema Automatizado para el Procesamiento de Datos Acelerográficos y Generación de Reportes Sísmicos para Uso Ingenieril

## RAPID-SIS: An Automated System for Processing Accelerographic Data and Generating Engineering-Oriented Seismic Reports

Andrés Iglesias<sup>1</sup>  & Luis A. Pinzón<sup>1,2\*</sup> 

<sup>1</sup>Centro de Investigación Científica y Tecnológica, Universidad Católica Santa María La Antigua, Ciudad de Panamá, Panamá

<sup>2</sup>Sistema Nacional de Investigación, Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Ciudad de Panamá, Panamá

\*Autor por correspondencia: Luis A. Pinzón, [lpinzon@usma.ac.pa](mailto:lpinzon@usma.ac.pa)

Recibido: 6 de agosto de 2025

Aceptado: 12 de agosto de 2025

---

### Resumen

*La Red Acelerográfica de Panamá (RAP), establecida en 2024 en conjunto con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica (LIS-UCR), surge ante la necesidad de contar con registros acelerográficos confiables para su aplicación en ingeniería sísmica. No obstante, el procesamiento manual de estos registros representa una barrera significativa tanto para su uso eficiente en estudios estructurales como para la toma de decisiones oportunas tras la ocurrencia de un evento sísmico. Para resolver este problema, se definieron como criterios clave la automatización del procesamiento, la precisión de los resultados, la facilidad de uso y la posibilidad de integración con otros sistemas. Como solución, se desarrolló RAPID-SIS (Reporte Automático de Procesamiento Integrado de Datos Sísmicos), una herramienta computacional amigable para el usuario, que permite el procesamiento automatizado de registros crudos provenientes de acelerógrafos. Esta herramienta genera señales corregidas de aceleración, velocidad y desplazamiento, espectros de respuesta para un 5% de amortiguamiento, análisis vectorial del movimiento (hodograma y orientación de máxima intensidad), y visualización cartográfica del evento (epicentro, estación y distancia epicentral). La implementación se llevó a cabo utilizando Python para el procesamiento de señales, y LaTeX para la generación automatizada de reportes técnicos. La herramienta fue validada utilizando datos reales de la RAP, demostrando su eficacia para producir reportes de forma rápida, consistente y útil para aplicaciones científicas, estructurales y de gestión de emergencias. Este desarrollo representa un paso clave hacia la modernización del monitoreo y análisis sísmico en Panamá. Entre sus oportunidades futuras se contempla la integración con plataformas web y la incorporación de módulos adicionales para análisis de riesgo y sistemas de alerta temprana.*

*Palabras clave:* Red Acelerográfica de Panamá; procesamiento sísmico automatizado; Python; LaTeX; herramienta computacional; espectros de respuesta; hodograma; ingeniería sísmica; toma de decisiones; acelerogramas.

### Abstract

*The Panamanian Accelerographic Network (RAP), established in 2024 in collaboration with the Earthquake Engineering Laboratory at the University of Costa Rica (LIS-UCR), was created to meet the need for reliable accelerographic records for seismic engineering applications. However, manual processing of these records presents a significant barrier to their effective use in structural studies and timely decision-making following seismic events. To address this challenge, key design criteria were defined: automated processing, result*

*accuracy, user-friendliness, and integration capability with other systems. As a solution, a user-friendly computational tool named RAPID-SIS (Automated Report for Integrated Seismic Data Processing) was developed to automate the processing of raw records from accelerographs. The tool generates corrected acceleration, velocity, and displacement time series, 5%-damped response spectra, vector motion analysis (hodograph and maximum intensity orientation), and event visualizations including epicenter, station location, and epicentral distance. The system was implemented using Python for signal processing and LaTeX for automated generation of professional technical reports. RAPID-SIS was validated using real data from RAP, demonstrating its effectiveness in delivering fast, consistent reports suitable for scientific, structural, and emergency management applications. This development marks a significant step toward modernizing seismic monitoring and analysis in Panama. Future opportunities include integration with web platforms and the addition of new modules for risk analysis and early warning systems.*

*Keywords: Panamanian Accelerographic Network, automated seismic processing; Python; LaTeX; computational tool; response spectra, hodograph; seismic engineering; decision-making; accelerograms.*

## **Introducción**

El monitoreo sísmico en tiempo real constituye una herramienta esencial para la mitigación del riesgo sísmico y el desarrollo de estudios de ingeniería estructural. La disponibilidad de registros acelerográficos confiables permite caracterizar con mayor precisión la intensidad de los movimientos del suelo en estudios de amenaza sísmica, y su impacto sobre las edificaciones. En 2024, se estableció la Red Acelerográfica de Panamá (RAP) (Pinzón, Vargas, et al., 2024; Universidad Católica Santa María La Antigua, 2024) como una iniciativa conjunta entre el Centro de Investigación Científica y Tecnológica – George Lemaître (CICITEC) y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica (LIS-UCR), con el objetivo de crear una base de datos acelerográfica nacional.

Actualmente, la RAP cuenta con estaciones ubicadas en David, Ciudad de Panamá y Coronado, así como tres estaciones adicionales compartidas con Costa Rica en la zona fronteriza. Cada estación está equipada con un acelerógrafo modelo TITAN SMA, con capacidad de muestreo de 200 Hz en tres componentes ortogonales (E-W, N-S y vertical) (Pinzón, Vargas, et al., 2024).

El contexto tectónico de Panamá refuerza la urgencia de estas iniciativas. La falla de Pedro Miguel, localizada cerca del Canal de Panamá y la Ciudad de Panamá, ha experimentado al menos tres terremotos en los últimos 1,600 años, con magnitudes que probablemente alcanzaron M7.0 (Rockwell et al., 2010). El evento más significativo ocurrió en 1621, causando daños graves en Panamá Viejo y generando desplazamientos de 2.5 a 3 metros en las inmediaciones del canal. Con una tasa de deslizamiento de aproximadamente 5 mm por año y un intervalo de recurrencia estimado de 500 a 600 años, existe una probabilidad tangible de que ocurra otro gran sismo en el corto o mediano plazo. Además, se ha planteado la posibilidad de una ruptura simultánea de las fallas de Pedro Miguel y Limón, lo que podría extender la ruptura a lo largo de un tramo de 40 km, aumentando significativamente el nivel de amenaza sísmica para la Ciudad de Panamá y sus alrededores (Rockwell et al., 2010).

En Centroamérica, diversas redes acelerográficas han contribuido significativamente al monitoreo sísmico (Hidalgo-Leiva et al., 2023; Moya-Fernández et al., 2020; Pinzón, Leiva, et al., 2021). Estas redes han servido como referencia para el diseño de sistemas similares y han demostrado la importancia de una infraestructura robusta para la generación de alertas tempranas y evaluación del peligro sísmico. La experiencia regional subraya el valor de contar con una red nacional operativa y herramientas automatizadas que reduzcan los tiempos de respuesta.

La implementación de herramientas computacionales que automaticen la generación de reportes acelera la toma de decisiones post-sismo, y permite su integración con plataformas de visualización y gestión de emergencias. Estas herramientas también son útiles para investigadores, diseñadores estructurales y responsables de normativas, ya que proveen datos estandarizados. A pesar de estos avances y riesgos, el procesamiento manual de los registros

obtenidos limita su utilidad inmediata, especialmente en contextos que requieren respuestas rápidas tras un evento sísmico. Por ello, se identificó la necesidad de una herramienta que automatizara el procesamiento de datos y generara reportes técnicos estandarizados y reproducibles.

## Materiales y métodos

### Adquisición y características de los datos

Cada acelerógrafo TITAN SMA instalado en la RAP registra las aceleraciones del suelo en las tres componentes ortogonales a una frecuencia de 200 muestras por segundo. Los datos crudos (raw data) se almacenan localmente en formato miniSEED y se transmiten al sistema central para su posterior procesamiento. El entorno operativo incluye estaciones con respaldo energético (baterías), sistemas de GPS sincronizados y conectividad segura para asegurar la integridad de los registros.

### Procesamiento automatizado con RAPID-SIS

RAPID-SIS es una herramienta desarrollada en Python para la lectura, filtrado y análisis de registros sísmicos, basada en la biblioteca ObsPy. El programa recibe como entrada datos sin corregir (raw data) en formato miniSEED. A partir de estos, el sistema aplica correcciones por línea base, realiza el filtrado de la señal y lleva a cabo integraciones numéricas para obtener las historias de tiempo de velocidad y desplazamiento a partir de los registros de aceleración. Asimismo, genera espectros de respuesta considerando un 5 % de amortiguamiento crítico, los cuales son esenciales para estudios de amenaza sísmica, así como para el diseño y evaluación estructural.

Se desarrollaron algoritmos para calcular la orientación del vector de máxima intensidad mediante transformaciones geométricas sobre las componentes horizontales, generando representaciones tipo hodograma. La información espacial del evento (ubicación epicentral, estación y distancia) se incorpora en mapas generados automáticamente. Los reportes técnicos se generan en formato PDF mediante plantillas preconfiguradas en LaTeX, integradas al flujo de trabajo Python. El sistema incluye un módulo de configuración que permite personalizar los parámetros del procesamiento, como ventanas de corte, frecuencias de corte para el filtrado, y parámetros de integración. Además, RAPID-SIS exporta los registros corregidos en formatos estándar que pueden ser utilizados por otros programas de análisis sísmico (Figura 1).



Figura 1. Esquema general del flujo de procesamiento en RAPID-SIS.

## Validación con eventos reales

Se seleccionó como caso de estudio un evento registrado el 8 de julio de 2024 en la estación CHUS, cuyos datos fueron procesados completamente con RAPID-SIS (Figura 2). El informe generado fue evaluado en cuanto a completitud, precisión y tiempo de ejecución. La validación incluyó la revisión de los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento (PGA, PGV, PGD respectivamente) y espectros de respuesta, así como la evaluación del tiempo total de procesamiento.

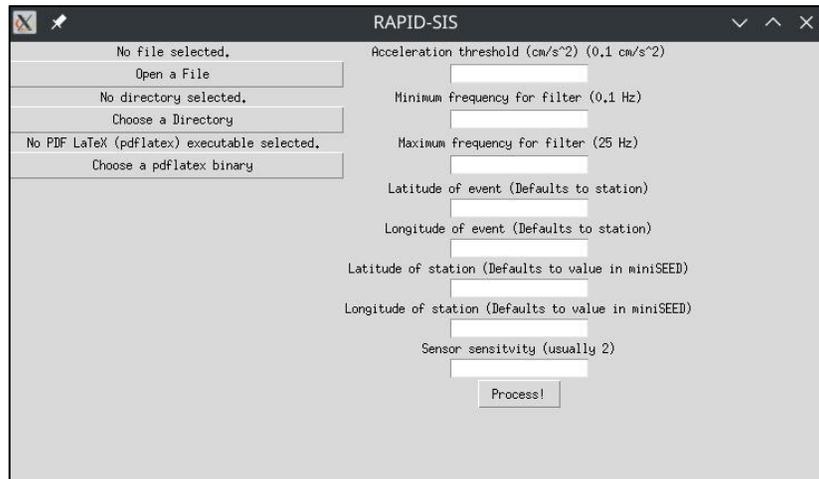


Figura 2. Ventana de usuario de RAPID-SIS.

## Resultados

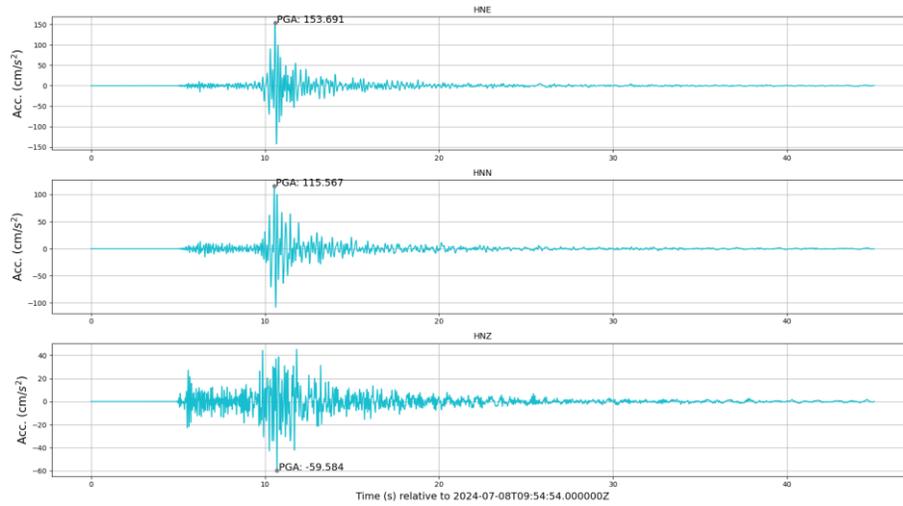
Los informes generados por RAPID-SIS incluyen los principales productos necesarios para el análisis ingenieril de un evento sísmico: historias de tiempo corregidas de aceleración, velocidad y desplazamiento; espectros de respuesta con un 5% de amortiguamiento; orientación del vector de máxima intensidad (hodograma); y mapas de localización epicentral.

El informe del evento registrado el 8 de julio de 2024 en la estación CHUS fue generado en menos de un minuto, desde la entrada del archivo crudo hasta la obtención del reporte completo en PDF. En contraste, un procesamiento manual de similares características puede demorar entre 30 minutos y 1 hora, dependiendo del nivel de intervención requerida.

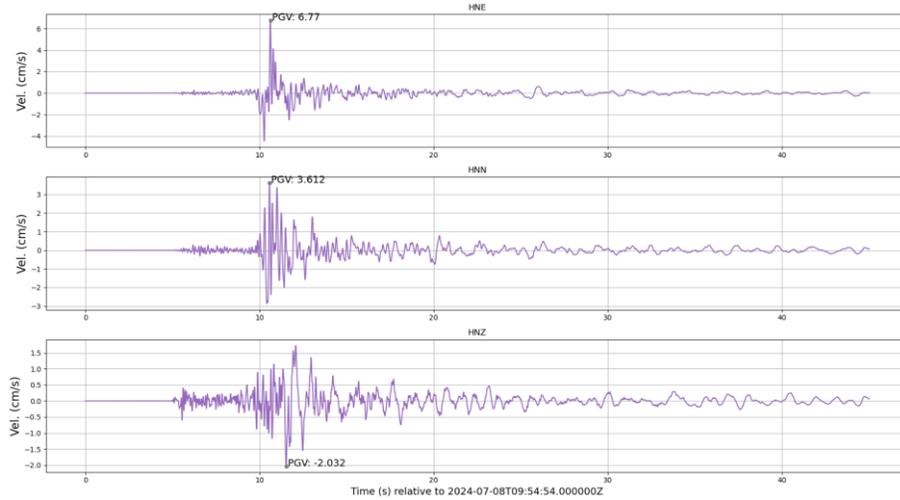
### Corrección de señales y medidas de intensidad

Para las señales corregidas, se aplicó una corrección de línea base a cada componente, seguida de la aplicación de un filtro paso banda tipo Butterworth de cuarto orden, con frecuencias de corte típicas en el rango de 0.1 Hz a 25 Hz. Además, se incorporó un algoritmo de corte inteligente que selecciona automáticamente la ventana útil del registro, dejando únicamente los cinco segundos anteriores y posteriores al tramo donde se supera una aceleración umbral. Para este ejemplo, se utilizó un valor de referencia de 1.00 cm/s<sup>2</sup> como límite inferior. Esta estrategia permite eliminar segmentos sin contenido sísmico relevante y mejora la eficiencia del procesamiento. En la Figura 3 se presentan las historias temporales corregidas tras el procesamiento con RAPID-SIS, destacándose los valores de PGA, PGV y PGD para cada componente. Estos resultados fueron comparados con los reportados por Pinzón et al., (2024).

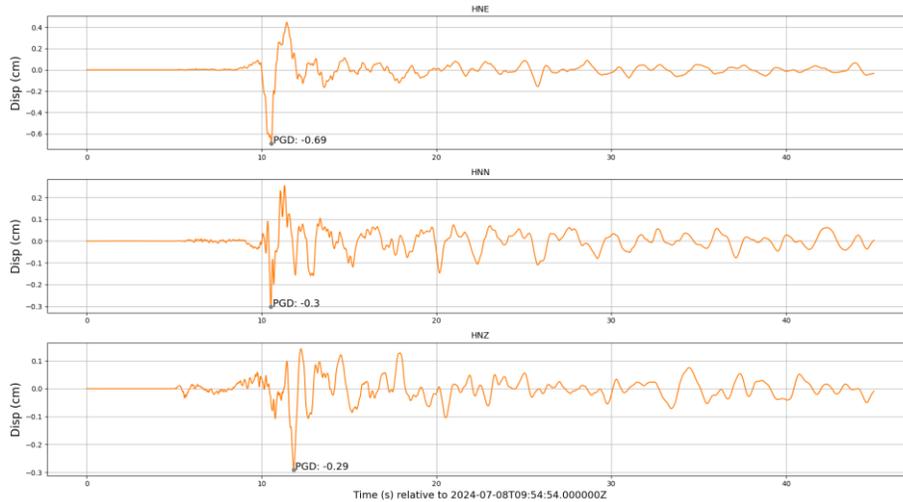
Por otro lado, la respuesta espectral obtenida permite analizar la intensidad del sismo en distintas frecuencias, lo que resulta fundamental para evaluar su impacto potencial sobre estructuras con diversos períodos naturales de oscilación. La Figura 4 muestra los espectros de respuesta obtenidos en aceleración, velocidad y desplazamiento, considerando un amortiguamiento crítico del 5%. Los espectros de respuesta para un 5% de amortiguamiento fueron calculados utilizando la integral de Duhamel (Viens & Denolle, 2019).



(a)

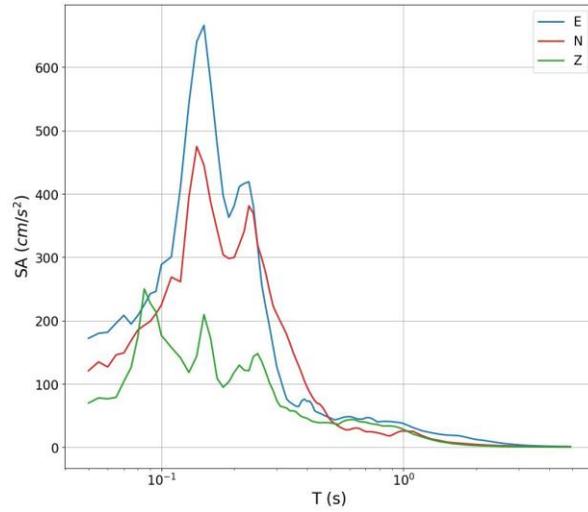


(b)

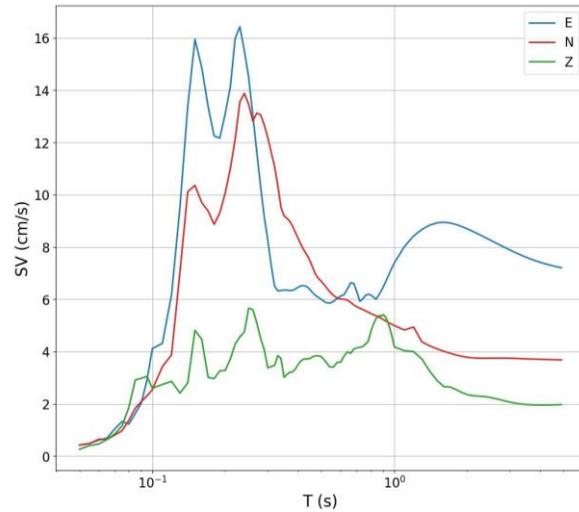


(c)

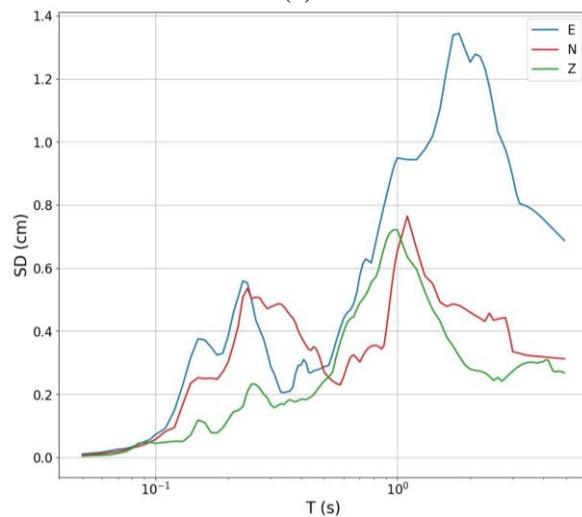
Figura 3. (a) Acelerogramas, (b) velocigramas y (c) desplazigramas corregidos para las tres componentes registradas durante el evento del 8 de julio de 2024 en la estación CHUS.



(a)



(b)



(c)

Figura 4. Espectros de respuesta de (a) aceleración, (b) velocidad y (c) desplazamiento con un 5% de amortiguamiento para las tres componentes registradas durante el evento del 8 de julio de 2024 en la estación CHUS.

## Representación vectorial del movimiento

Los hodogramas generados a partir de los registros del sismo del 8 de julio de 2024 permiten visualizar de manera clara el movimiento de las partículas del terreno en el plano horizontal y, en algunos casos, en el espacio tridimensional (Pinzón et al., 2019). Estas representaciones muestran la trayectoria seguida por el movimiento en función del tiempo, revelando la dirección predominante de la energía sísmica.

En la Figura 5 se presentan los hodogramas calculados con RAPID-SIS, donde se indican los valores máximos registrados de aceleración, velocidad y desplazamiento, junto con su orientación angular en el plano horizontal. Esta información es fundamental para identificar patrones de directividad y direccionalidad, aspectos que pueden amplificar la respuesta estructural dependiendo de la alineación de los ejes principales de las edificaciones con respecto a la fuente sísmica.

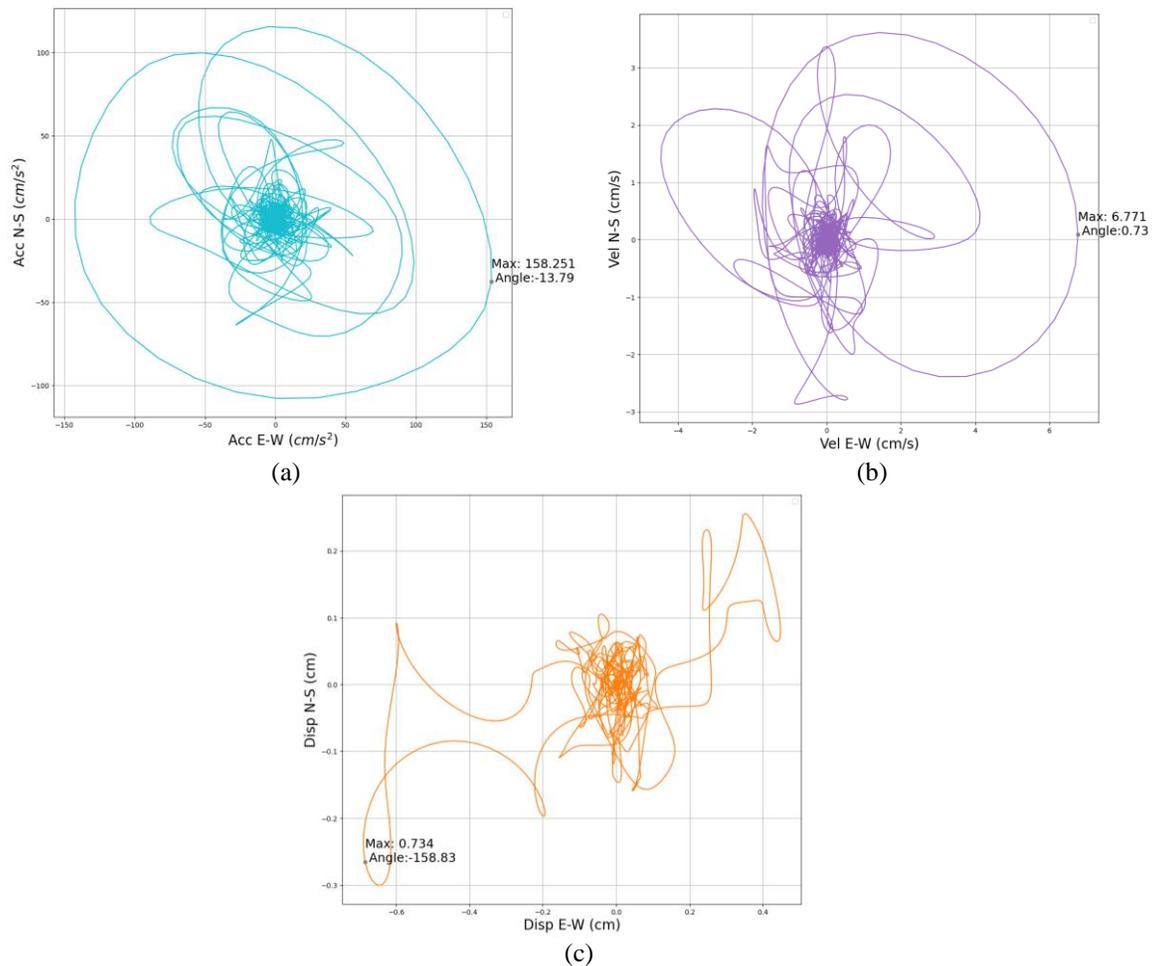


Figura 5. Hodogramas del movimiento horizontal en (a) aceleración, (b) velocidad y (c) desplazamiento del evento del 8 de julio de 2024 registrado en la estación CHUS.

El análisis de la orientación del movimiento permite, además, correlacionar posibles mecanismos de daño observados en el campo con la dirección principal del movimiento del terreno (Pinzón, Pujades, Diaz, et al., 2018; Pinzón, Pujades, et al., 2021). Esto resulta especialmente relevante en zonas urbanas con edificaciones orientadas de forma similar, donde puede generarse un patrón común de afectación estructural (Pinzón, Hidalgo-Leiva, et al., 2024; Pinzón, Pujades, Hidalgo-leiva, et al., 2018). Asimismo, esta información puede ser integrada en estudios de vulnerabilidad sísmica y en la toma de decisiones para futuras intervenciones estructurales o de planificación urbana.

## Localización del sismo

La herramienta RAPID-SIS genera automáticamente un mapa georreferenciado del evento sísmico (Figura 6), donde se identifican de manera precisa tanto la ubicación del epicentro como la estación de registro. Además, se calcula y visualiza la distancia epicentral, en este caso de 30.26 km, mediante una línea de conexión entre ambos puntos.

Esta funcionalidad facilita una interpretación rápida de la relación espacial entre la fuente sísmica y la estación, lo cual resulta especialmente útil para evaluar los efectos locales del sismo. Asimismo, representa una herramienta valiosa para sistemas de alerta temprana, monitoreo en tiempo real y estudios posteriores de correlación entre la intensidad observada y la distancia al epicentro (leyes de atenuación).

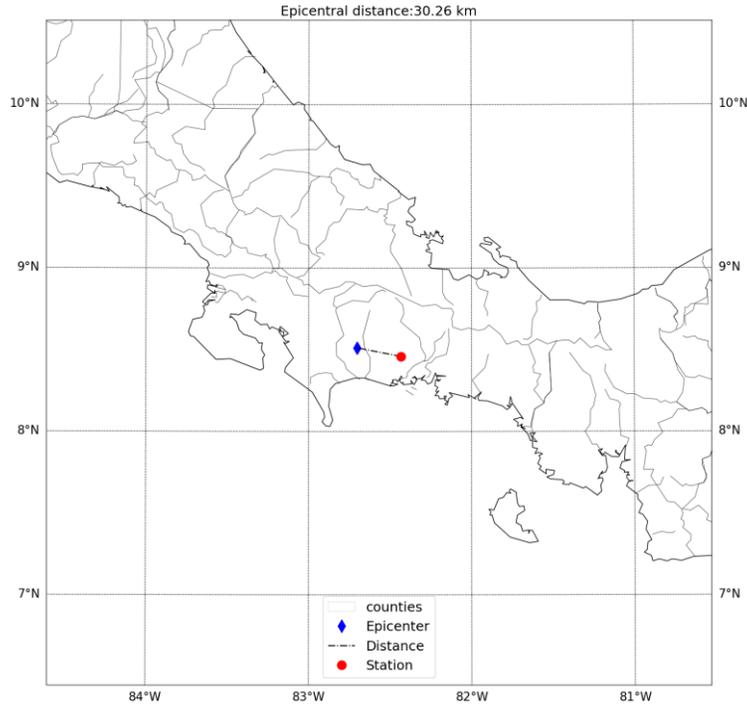


Figura 6. Mapa generado automáticamente con ubicación de estación, epicentro y distancia epicentral del evento del 8 de julio de 2024.

## Conclusiones

El desarrollo de RAPID-SIS responde a una necesidad crítica en el ámbito del monitoreo sísmico: disponer de una herramienta confiable, rápida y accesible que permita procesar y analizar registros acelerográficos de forma automatizada. Integrada al ecosistema de la Red Acelerográfica de Panamá (RAP), la herramienta ha demostrado su utilidad práctica en contextos de validación científica, respuesta a emergencias y evaluación estructural.

RAPID-SIS destaca por su capacidad para generar informes técnicos completos y estandarizados en segundos, incluyendo datos clave como PGA, PGV, PGD, espectros de respuesta, hodogramas y mapas de localización. Además, ofrece acceso a los registros corregidos, lo que amplía su valor para análisis más detallados o estudios complementarios.

El sistema ha mostrado eficiencia, precisión y escalabilidad, y está diseñado para integrarse fácilmente con plataformas de monitoreo en tiempo real o sistemas de alerta temprana. Como líneas de trabajo futuras se propone: a) incorporar la herramienta al módulo de detección automática de eventos sísmicos mediante análisis

en tiempo real, b) ampliar el conjunto de métricas calculadas, incluyendo duración significativa, intensidad espectral y energía acumulada, entre otras, y c) desarrollar una interfaz web de acceso público y un repositorio centralizado de informes procesados.

En conjunto, estas mejoras permitirán consolidar a RAPID-SIS como una herramienta de referencia para el monitoreo y análisis sísmico en Panamá y la región.

### Agradecimientos

Este proyecto fue apoyado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) a través del proyecto SARA (063-2025).

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### Referencias

- Hidalgo-Leiva, D. A., Linkimer, L., Arroyo, I. G., Arroyo-Solórzano, M., Piedra, R., Climent, A., Schmidt Díaz, V., Esquivel, L. C., Alvarado, G. E., Castillo, R., Carranza-Morales, M. E., Cerdas-Guntanis, L., Escalante-Meza, J., Lobo, S., Rodríguez, M. J., & Rojas, W. (2023). The 2022 Seismic Hazard Model for Costa Rica. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 113(1), 23–40. <https://doi.org/10.1785/0120220119>
- Moya-Fernández, A., Pinzón, L. A., Schmidt-Díaz, V., Hidalgo-Leiva, D. A., & Pujades, L. G. (2020). A Strong-Motion Database of Costa Rica: 20 Yr of Digital Records. *Seismological Research Letters*, 91(6), 3407–3416. <https://doi.org/10.1785/0220200036>
- Pinzón, L. A., Hidalgo-Leiva, D. A., & Pujades, L. G. (2024). Correction Factors to Account for Seismic Directionality Effects: Case Study of the Costa Rican Strong Motion Database. *Geosciences*, 14, 139. <https://www.mdpi.com/2076-3263/14/5/139>
- Pinzón, L. A., Leiva, D. A. H., Moya-Fernández, A., Schmidt-Díaz, V., & Pujades, L. G. (2021). Seismic site classification of the Costa Rican Strong-Motion Network based on VS30 measurements and site fundamental period. *Earth Sciences Research Journal*, 25(4), 383–389. <https://doi.org/doi.org/10.15446/esrj.v25n4.93927>
- Pinzón, L. A., Pujades, L. G., Diaz, S. A., & Alva, R. E. (2018). Do Directionality Effects Influence Expected Damage? A Case Study of the 2017 Central Mexico Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 108(5A), 2543–2555. <https://doi.org/10.1785/0120180049>
- Pinzón, L. A., Pujades, L. G., Hidalgo-leiva, D. A., & Díaz, S. A. (2018). Directionality models from ground motions of Italy. *Ingegneria Sismica*, 35(3), 43–63.
- Pinzón, L. A., Pujades, L. G., Macau, A., Carreño, E., & Alcalde, J. M. (2019). Seismic Site Classification from the Horizontal-to-Vertical Response Spectral Ratios: Use of the Spanish Strong-Motion Database. *Geosciences*, 9(7), 294. <https://doi.org/10.3390/geosciences9070294>
- Pinzón, L. A., Pujades, L. G., Medranda, I., & Alva, R. E. (2021). Case Study of a Heavily Damaged Building during the 2016 MW 7.8 Ecuador Earthquake: Directionality Effects in Seismic Actions and Damage Assessment. *Geosciences*, 11(2), 74.
- Pinzón, L. A., Vargas, Y., & Hidalgo-Leiva, D. A. (2024). A Report of the Observed Intensity and Structural Damage during the Mw 5.3 Earthquake in Santo Domingo (Province of Chiriquí, Panamá) on 8 July 2024. *Geosciences*, 14, 216. <https://doi.org/doi.org/10.3390/geosciences14080216>
- Rockwell, T., Gath, E., González, T., Madden, C., Lippincott, C., Dawson, T., Owen, L. A., & Fuchs, M. (2010). *Neotectonics and Paleoseismology of the Limón and Pedro Miguel Faults in Panamá: Earthquake Hazard to the Panamá Canal*. 100(6), 3097–3129. <https://doi.org/10.1785/0120090342>
- Universidad Católica Santa María La Antigua. (2024). *Red Acelerográfica de Panamá*. International Federation of Digital Seismograph Networks. <https://doi.org/10.7914/X7XF-JB43>
- Viens, L., & Denolle, M. A. (2019). Long-period ground motions from past and virtual megathrust earthquakes along the nankai trough, Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(4), 1312–1330. <https://doi.org/10.1785/0120180320>