

ARTÍCULO CIENTÍFICO
SCIENTIFIC ARTICLE

**PROBLEMAS GEOLÓGICOS DE LA
SEGURIDAD DE LAS PRESAS Y
EMBALSES DE PANAMÁ:
CUENCAS DEL OESTE (PARTE 2)**

**GEOLOGICAL PROBLEMS OF THE SAFETY
OF DAMS AND RESERVOIRS IN PANAMA:
WESTERN BASIN (PART 2)**

Leslie F. Molerio-León

REVISTA GEOINFORMATIVA
NO.1. 2022

Leslie F. Molerio-León

INVERSIONES GAMMA, S.A. La
Habana, Cuba
especialistaprincipal@gmail.com
0000-0001-9667-3258

RESUMEN

La estructura geológica, la sísmica y el vulcanismo, así como la paleosismología, paleohidrología y neotectónica imponen un grupo importante de restricciones en la gestión de la seguridad geológica, hidrológica y estructural de las presas, embalses y obras de infraestructura hidráulica. En el ejemplo de dos regiones hidrológicas de excepcional importancia: la Cuenca del Canal y las Cuencas del Oeste, se discuten algunas de estas limitaciones sobre la seguridad de las obras y la gestión de las cuencas hidrológicas en zonas sísmicas activas. En la segunda parte de esta contribución se discuten los antecedentes del problema y la situación geológica de las cuencas del Oeste de Panamá y la frontera con Costa Rica, concluyéndose que las cuencas y su infraestructura son vulnerables a fallar debido a la actividad geológica actual que produce sismos y vulcanismos.

Palabras clave: Canal de Panamá; cuenca; seguridad de presas; terremotos; volcanes

ABSTRACT

Geological structure, seismicity and volcanism, as well as palaeoseismology, palaeohydrology and neotectonics impose an important set of constraints on the management of geological, hydrological and structural safety of dams, reservoirs and water infrastructure works. On the example of two hydrological regions of exceptional importance: The Canal Basin and the Western Basins, some of these constraints on the safety of works and watershed management in seismically active areas are discussed. The second part of this contribution discusses the background of the problem and the geological situation of the western basins of Panama and the border with Costa Rica, concluding that the basins and their infrastructure are vulnerable to failure due to the current geological activity that produces earthquakes and volcanism.

Key words: Panama Canal; basin; dam safety; earthquake; volcanism

Recibido: 12 del 9, 2021
Aprobado: 11 del 11, 2021

INTRODUCCIÓN

LAS PRESAS DE LAS CUENCAS DEL OESTE

Las Tierras Altas (Figura 12) constituyen un escenario particularmente importante para el estudio de los controles geológicos y geofísicos, en general, sobre la estabilidad de las obras de regulación artificial de escurrimiento. Decenas de proyectos hidroeléctricos se han desarrollado en esta región aprovechando el relieve montañoso, la oferta hídrica y la comodidad geotécnica de muchos cierres de presas que, sin embargo, enfrentan dos restricciones de seguridad importantes: la sismicidad y el vulcanismo.



FIGURA 12. Área de referencia de los proyectos hidroeléctricos en las cuencas del Oeste (Álvarez Sánchez, 2007)

La problemática general de seguridad no es muy diferente a la del Canal, excepto que aquí se incorpora, geológicamente, el vulcanismo de la terminación sur del Arco Volcánico de Panamá y Costa Rica y la actividad de, al menos, ocho fallas y zonas de fallas activas relacionadas con la Zona de la Falla de Panamá y se puede resumir la problemática en los siguientes aspectos básicos:

- La más alta sismicidad del país.
- Vulcanismo y estructuras circulares activas (Figura 13).
- Clima húmedo tropical con una muy corta estación de seca.
- Sismicidad.
- Elevada susceptibilidad a los movimientos de laderas.
- Procesos combinados de erosión, aluvionamiento, azolvamiento de los embalses y entarquinamiento.
- Crecidas o avenidas rápidas (flash floods).

El escenario geológico se resume en los siguientes aspectos:

- Las tierras altas se encuentran en la terminación Sur del Arco Volcánico de Costa Rica-Panamá y en el punto triple entre las placas de Nazca, el Coco y del Caribe, es aquí donde la subducción de las placas del Coco y Nazca continúan bajo el arco en el occidente de Panamá y Costa Rica.
- Dominan las deformaciones tectónicas verticales acompañadas por plegamientos secundarios menores y una elevación general como consecuencia de la reactivación tectónica del sustrato rígido.
- Importante fallamiento activo relacionado con la Zona de Fractura de Panamá.

Todas las presas y embalses en las cuencas del Oeste están asociadas a las siguientes estructuras activas (Figura 14):

- Falla Media de Búrica (ZFM).
- Fallas del Golfo de Chiriquí y la región de Progreso (ZFPRO).
- Zona de Falla de Canoas (ZFC).
- Zona de Falla de Las Paridas (ZFPRD).
- Zona de Falla de Boca Chica (ZFBC).
- Zona de Falla Longitudinal o de Celmira-Balena (ZFL-ZBC).
- Fallas normales oblicuas del Golfo de Chiriquí (submarinas y eventualmente activas que podrían conectar la Falla Longitudinal con la Zona de Falla de Soná-Azuero).
- Fallas inversas y de cabalgamiento al NE de la Falla Longitudinal (eventualmente activas en profundidad).



FIGURA 13. Volcán Barú, estructura potencialmente activa, es la mayor elevación de Panamá (+3457 m). (Foto del autor desde los Altos de Boquete)

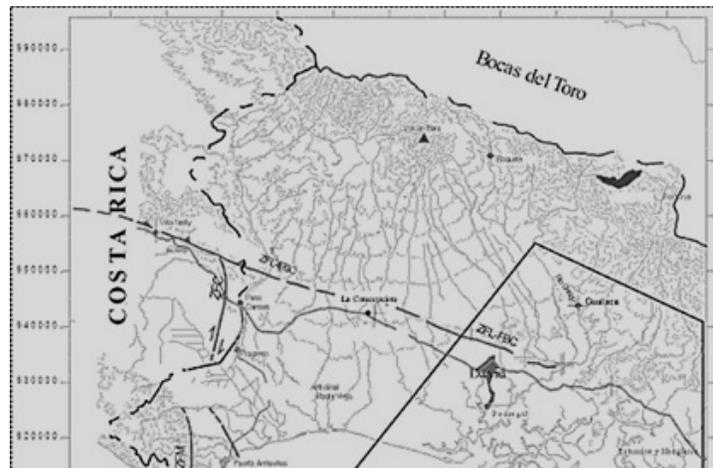


FIGURA 14. Estructuras tectónicas fundamentales en las cuencas del Oeste de Panamá

Las características del vulcanismo regional han sido resumidas por [Álvarez Sánchez \(2007\)](#), del siguiente modo:

- El Arco Volcánico de Panamá fue edificado sobre una corteza oceánica, compuesta de un zócalo ultramáfico, intrusiones máficas y un techo de basalto cubierto por sedimentos silicíticos deformados ([Figura 15](#)).
- El comienzo de ese vulcanismo se señala en el Cretácico Superior. Gran parte de la porción occidental y central de Panamá está cubierta por flujos volcánicos y productos explosivos de Edad Cretácico tardío y Paleógeno temprano con abundantes intrusiones intravolcánicas y subvolcánicas penecontemporáneas de composición intermedia.
- Este complejo está cubierto, en muchas áreas, por una extensa unidad de lavas y piroclásticos de edad más reciente (Mioceno) acompañada por grandes intrusiones de batolitos, stocks y complejos de diques ácidos con afinidad calco-alcalina bien expresada.

El vulcanismo reviste una particular relevancia como factor de control geológico no tan sólo en el caso de los eventos eruptivos, sino también en términos de la actividad previa y, eventualmente posterior. Los efectos de la erupción, en tiempos históricos del volcán Barú ([Sherrod et al., 2008](#)), se reconocen muy bien en el área, en el que bombas volcánicas aflorando en superficie o cubiertas por depósitos volcánicos acreditan etapas de intenso vulcanismo y con deformaciones en las rocas en tiempos muy recientes ([Figura 16](#)).

La problemática de seguridad de las presas y embalses de las cuencas del Oeste se puede resumir del modo siguiente:

- Toda la región y su infraestructura son altamente vulnerables a la actividad geológica actual.
- Todas las estructuras de retención y obras de las presas construidas en la región están vinculadas con las fallas activas o su plumaje.
- Esa relación dinámica conduce a que procesos físico-geológicos asociados se presenten con particular intensidad.
- Estas condiciones son determinantes en la estabilidad de las obras, la amortización de las inversiones, su durabilidad y eficiencia.
- Se requieren medidas de respuesta adecuada, sobre todo en sistemas de presas en cascada que comparten el mismo río e incluso, la misma cuenca.

- Deben implementarse sistemas de monitoreo dinámico más eficientes, así como planes seguros de desazolvamiento de las estructuras de retención.

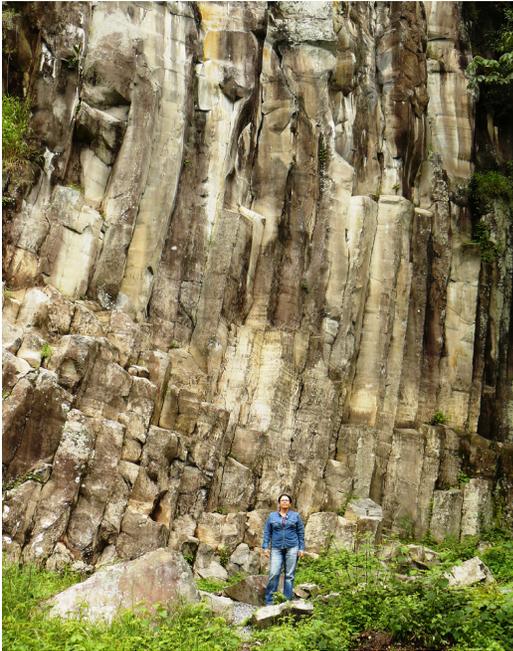


FIGURA 15. Basaltos columnares en la margen derecha del río Boquete. (Foto del autor)



FIGURA 16. Bombas volcánicas parcialmente enterradas en depósitos volcánicos en los Altos de Boquete. (Foto del autor)

CONCLUSIONES

1. Las cuencas y su infraestructura son vulnerables a fallar debido a la actividad geológica actual que produce sismos y vulcanismos.
2. Toda la región y su infraestructura son altamente vulnerables.
3. Todas las estructuras de retención y obras de las presas construidas en la región están vinculadas con las fallas activas o su plumaje.
4. Esa relación dinámica conduce a que, procesos físico-geológicos asociados se presenten con particular intensidad.
5. Estas condiciones son determinantes en la estabilidad de las obras, la amortización de las inversiones, su durabilidad y eficiencia.
6. Se requieren medidas de respuesta adecuada, sobre todo en sistemas de presas en cascada que comparten el mismo río e incluso, la misma cuenca.
7. Deben implementarse sistemas de monitoreo dinámico más eficientes, así como planes seguros de desazolvamiento de las estructuras de retención.

RECOMENDACIONES

Las necesidades de investigación identificadas para garantizar la seguridad geológica de las presas panameñas deben conllevar lo siguiente:

- Realización de estudios paleosísmicos, incluyendo la datación de espeleotemas.
- Conducción de un estudio de peligrosidad sísmica de las obras hidráulicas en operación.
- Definición de los ciclos sísmicos de interés y extensión de los estudios de paleosismicidad a los intervalos de tiempo que incluyan varios ciclos sísmicos. En este caso, a períodos que rebasen el Holoceno.
- Identificación y correlación de las evidencias paleosísmicas obtenidas mediante trincheras con las extendidas a espeleosísmicas en las áreas sismogénicas carbonatadas y correspondientes a los mismos ciclos sísmicos.
- Diseño e implementación (en dos etapas) del sistema de monitoreo geólogo-geofísico del sistema hidráulico en tiempo real.
- Revisión de los métodos de cálculo de avenidas extremas.
- Revisión de las normativas de diseño y operación de obras hidráulicas bajo condiciones de peligro geológico e hidrológico.
- Actualización de los catálogos sísmicos y volcánicos.
- Revisión y documentación de los casos de fallo de presas y obras de la infraestructura hidráulica en operación en el país y la región.
- Mejoramiento de los sistemas de monitoreo.
- Examen de las implicaciones del cambio climático (particularmente en lo que concierne a la distribución de la lluvia y los eventos extremos) en la estabilidad y seguridad de las obras hidráulicas en operación y las perspectivas.
- Modelación matemática de los efectos combinados de eventos geológicos e hidrometeorológicos extremos en la estabilidad del parque de presas.

AGRADECIMIENTOS

En todos los trabajos del autor en Panamá recibió el inestimable apoyo o compartió algunas investigaciones con colegas a los que agradece su apoyo personal e institucional: Tony Fergo y Ery Stella González (Boquete, S.A.), Humberto Álvarez (Miramar Mining Co.), Manuel Zárate (Planeta Consultores, S.A.), Rubén Darío Sousa (Universidad de Panamá), Gerardo González, Eduardo Barría, Fernando Vargas, Paola Miranda y R. Moscote, especialistas de la Autoridad de los Servicios Públicos (ASEP, Panamá), José M. Aguana, Francisco Aybar y Luis Gil (RJ INVESTMENTS), Colón de las Casas (IdeaReality, S.A.), a los alumnos y participantes panameños y colombianos en el Seminario de Posgrado: Introducción a la Seguridad de las Presas: Seguridad geológica, hidrológica, estructural y medidas estructurales y no estructurales (Universidad de Panamá, 2018), a los colegas de la Asociación Geográfica de El Salvador con los que compartió estas ideas: William Bernal, María Silvia Guillén, José Deras, David Flores, Carlos Machuca y Mayra Murcia y Germán García (Unidad Ambiental Institucional de la Comisión Ejecutiva Portuaria Autónoma de El Salvador).

Ana, su compañera, estuvo presente en todos los proyectos desarrollados en Panamá y a ella debe, en buena parte, los resultados alcanzados.

REFERENCIAS

- Álvarez Sánchez, H. (2007): *Evaluación preliminar de las condiciones ingeniero-geológicas de un grupo de proyectos hidroeléctricos en la provincia de Chiriquí. (Proyectos: Río Cochea; Cochea 2; Caldera; Palmira; Los Ladrillos; Potrerillos)*. Electric Energy Panama, S.A. 113.
- Bisnett, Rachael V., Wonnie Kim, Donald J. Montgomery, (2016): *Panama Canal Borinquen dams and third set of locks operations and maintenance strategy*. United States Society on Dams USSD 2016, Annual Conference. 11.
- Colmenares L. and Zoback M. D. (2003): Stress field and seismotectonics of northern South America. *Geology*. August 318721–724. Geol. Soc. of America.
- De Membrillera M. G., I. Escuder, J. González, L. Altarejos (2015): *Risk Analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management. Proc. 3rd International Forum on Risk analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management*. CRC Press, Taylor & Francis. Valencia. España. 395.
- Graindorge D.; Calahorrano A.; Charvis Ph.; Collot J.-Y. and Bethoux N. (2004): Deep structures of the Ecuador convergent margin and the Carnegie Ridge, possible consequence on great earthquakes recurrence interval. *Geophysical Research Letters*. vol. 31 L04603, doi:10.1029/2003GL018803. 5.
- Mejia, L.H., M. De Puy (2018): *Seismic Stability Evaluation of Gatun Dam*. ICOLD, XXIII Cong. L'Autriche. juillet 2018. 22.
- L.H., M. De Puy, L. D. Alfaro (2010) : The Dams of the Panama Canal Expansion. *GeoStrata*. Nov-dec: 34-39.
- Michaud F.; Witt C. and Royer J. Y. (2009): Influence of the subduction of the Carnegie volcanic ridge on Ecuadorian geology: Reality and fiction. In Kay, S.M., Ramos, V.A., and Dickinson, W.R., eds., *Backbone of the Americas: Shallow Subduction, Plateau Uplift, and Ridge and Terrane Collision*. *Geological Society of America Memoir 204*.
- Molerio-León, L.F. (2016 a): El terremoto del 16 de abril en Ecuador. *CubaGeográfica*. 3 – 2016:22.
- Molerio León, L.F (2016 b): *Comentarios al Informe de la seguridad de varias presas del Ecuador tras el terremoto del 16/04/2016"* (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente & Confederación Hidrográfica del Ebro). Archivo, Empresa Pública del Agua. Guayaquil. 5.
- Molerio-León, L.F. (2018 a): Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador: 1. Sismotectónica. Ing. *Hidráulica y Ambiental*. La Habana. XXXIX (3) sep-dic. pp. 3-17.
- Molerio-León, L.F. (2018 b): Gestión de recursos hidráulicos bajo riesgo de terremotos en Ecuador: 2. Evaluación de seguridad. Ing. *Hidráulica y Ambiental*. La Habana. XXXIX, (3) sep-dic. p.p 18-27
- Molerio León, L.F. (2020 a): Caves and Dam Safety. Improving Design with Evidences from Paleoseismology and Paleohydrology. *Research Gate*. 5: <https://www.researchgate.net/publication/341794335>
- Molerio León, L.F. (2020 b): *Incorporación de la evidencia espeleológica de paleosismos y paleohidrología a la seguridad de los sistemas hidráulicos de América Latina y El Caribe*. Premios Latinoamérica Verde. 31. <https://www.researchgate.net/publication/341726375>
- Molerio-León, L.F. (2021 a): *Paleosismología, neotectónica y seguridad del parque de presas de Panamá*. XXX Congreso Científico Nacional. Octubre 4-8. Universidad de Panamá. 26.
- Molerio-León, L.F. (2021 b): El terremoto de Pedernales, Ecuador, del 16 de abril de 2016 y sus causas. *Cuba: Medio Ambiente y Desarrollo*. 21(40):7
- Ortiz, O. C. (2013). *Sismotectónica y peligrosidad sísmica en Ecuador*. Repositorio SENESCYT. Ecuador. 42.

- Rockwell, T., E. Gath, T. González, C. Madden, D. Verdugo, C. Lippincott, T. Dawson, L. A. Owen, M. Fuchs, A. Cadena, P. Williams, E. Weldon, P. Franceschi (2010): Neotectonics and Paleoseismology of the Limón and Pedro Miguel Faults in Panamá: Earthquake Hazard to the Panamá Canal. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 100 (6) December. 34.
- Sherrod, D.R., J. W. Vallance, A. Tapia Espinoza. J. P. McGeehin (2008): Volcán Barú: Eruptive History and Volcano-Hazards Assessment. U.S. *Geological Survey Open-File Report*. 2007-1401.
- USSD (2011): *Design of the dams of the Panama Canal expansion*. Proceedings of United States Society on Dams (USSD) 2011. Annual Meeting and Conference, San Diego, California. April.
- Wieland, M. (2010): *Dam safety and earthquakes*. *International Water Power and Dam Construction Newsletter*. ISSN: 0306-4000. London. UK. 20 September.
- Zoback, M.L. (1992): First- and second-order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project. *Journal of Geophysical Research*. ISSN:2156-2202. Virginia, USA. v. 97. p. 11.703–11.728.

Como citar:

ALONSO-MONTERO R., GUTIÉRREZ DOMECH, M. R (2022), Cosecha de agua, una solución viable ante el cambio climático. *Geoinformativa*. 15 (1) 54-62

Licencia:

Este artículo está protegido bajo una licencia Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA) la cual permite compartir (copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato) y adaptar (remezclar, transformar y crear a partir del material), por lo que los autores, son libres de compartir su material en cualquier repositorio o sitio web.

