

ANÁLISIS DE PELIGRO E INUNDACIÓN EN CASO DE ROTURA DE LA PRESA ALACRANES EN VILLA CLARA, CUBA.

Ing. Victor Manuel Carvajal González, MSc. Ing. Carlos Lázaro Castillo García.

1. INTRODUCCION (OBJETIVOS)

Las roturas de presas son eventos catastróficos con alto potencial de pérdidas humanas y materiales, como el caso de Derna (Libia, 2023) con más de 11 000 fallecidos. En Cuba existen 242 presas, la mayoría construidas entre 1960 y 1980, lo que incrementa su vulnerabilidad. La presa Alacranes (Villa Clara), tercera en volumen del país (350 hm³), situada a 7 km de Sagua la Grande, expone a más de 60 000 personas a un riesgo real en caso de rotura.

Aunque existen estudios sobre las presas de tierra cubanas, los análisis sobre roturas y flujos de avenidas enfrentan limitaciones metodológicas y escasa disponibilidad de información. La NC 974:2013 es la única fuente nacional que calcula el tiempo y ancho de brecha, pero no proporciona el hidrograma de salida, esencial para evaluar el impacto temporal del evento. Esto dificulta la gestión del riesgo y la elaboración de planes de reducción de desastres. Además, no existen estudios detallados del impacto regional de una rotura, ya que los trabajos previos se centran en inundaciones por crecidas.

Para abordar esta limitación en el conocimiento técnico disponible en el contexto cubano, este estudio tiene como objetivo desarrollar el primer mapa de peligro asociado a la rotura de la presa Alacranes en Villa Clara, Cuba, mediante la modelación bidimensional (2D) del flujo aguas abajo de la brecha utilizando el software HEC-RAS.

2. METODOLOGIA

El estudio sigue una adaptación del procedimiento propuesto por Ferrari et al. (2023), estructurado en cuatro fases fundamentales:

1. Obtención de datos topográficos y calibración hidráulica: Se usó un MDT de 12.5 m (GEOCUBA), modificado con batimetría del embalse y diques “Puertas de Sagua”.

El coeficiente de Manning se calibró con una huella histórica de inundación (caudal 1 100 m³/s), logrando R²=0.82. Los valores finales se ajustaron espacialmente según cobertura del terreno (Arcement & Schneider, 1989). Además, se realizó un análisis de sensibilidad con variaciones de ±20% en el coeficiente de rugosidad de Manning.

2. Definición del mecanismo de falla y condiciones de frontera: Se consideraron dos mecanismos de rotura sobrepaso con nivel del embalse elevado hasta la corona y sifonamiento, rotura interna con nivel en condiciones normales.

3. Aplicación del modelo de rotura y tránsito de avenida: Fueron establecidos 13 escenarios de rotura, 7 por sobrepaso y 6 por sifonamiento. Estimando los parámetros de la brecha a partir de ecuaciones empíricas: Froehlich (1995, 2008), Von Thun & Gillette (1990), Xu & Zhang (2009) y el modelo físico integrado: DL Breach (Wu, 2013) en HEC-RAS. Modelo hidrodinámico fue utilizado el software: HEC-RAS 6.3.0 (módulo 2D, ecuaciones de aguas someras con aproximación de onda de difusión) con una malla no estructurada: 45 m × 45 m en planicie, refinada en cauces y estructuras. Paso de tiempo ajustado para cumplir la condición de Courant.

4. Análisis de resultados y generación de mapas temáticos: Extracción de variables hidráulicas en 6 puntos de control (CP): Área total inundada, profundidad máxima, velocidad máxima, tiempo de llegada y mapas generados de inundación, profundidad, velocidad y peligro (clasificación NSW & DPIE, 2019).

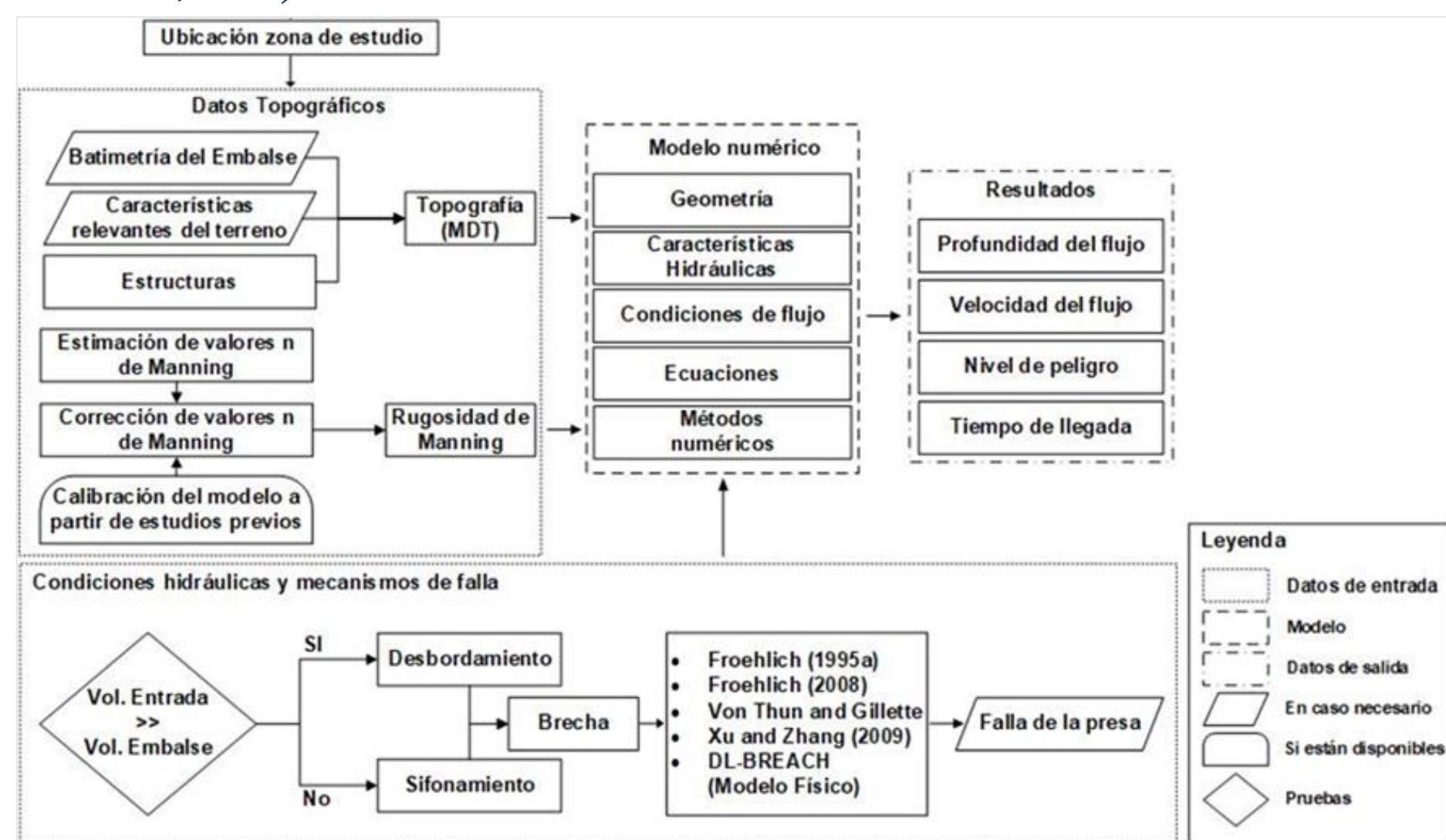


Figura 1. Diagrama de flujo para la obtención de los mapas de profundidad, velocidad y peligro por rotura del embalse Alacranes.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis comparativo de los diferentes escenarios de fallos de presas muestra variaciones significativas en los resultados. El área total inundada oscila entre 604.6 km² (modelo físico HEC-RAS) y 501.7 km² (Von Thun & Gillette, 1990 A por sifonamiento), reflejando las diferencias metodológicas. En el punto de control 1 (CP1), la profundidad máxima varía entre 12.47 m (HEC-RAS) y 8.58 m (Von Thun & Gillette B*), mientras que la velocidad máxima y el tiempo de llegada fluctúan entre 1.33 h y 3.33 h, aspectos cruciales para la respuesta ante emergencias. El modelo HEC-RAS alcanzó una velocidad promedio de 3.21 m/s, indicando un alto potencial destructivo.

Los anchos de brecha varían entre 85.00 m y 350.00 m, con la NC 974-2013 reportando 250 m para la presa Alacranes, dentro del rango obtenido. El tiempo de desarrollo de la brecha osciló entre 0.40 h y 11.88 h (6.2 h según la norma), con errores de contabilidad de volumen bajos (monores que 2.35%) y caudales máximos (Qmax) entre 6,860.06 m³/s y 35,726.85 m³/s.

Los 13 escenarios simulados evidenciaron la vulnerabilidad de Sagua La Grande, destacando el Escenario 13 (modelo DL Breach de HEC-RAS) como el más crítico, con casi toda la llanura inundada. Una rotura superior a 10,000 m³/s desbordaría las Puertas de Sagua, afectando una franja costera de 105 km y a más de 60,000 personas en Sagua La Grande, Isabela de Sagua, Sitiecito, La Rosita y Nueva Isabela. Se observaron velocidades erosivas de hasta 3 m/s cerca de estructuras críticas.

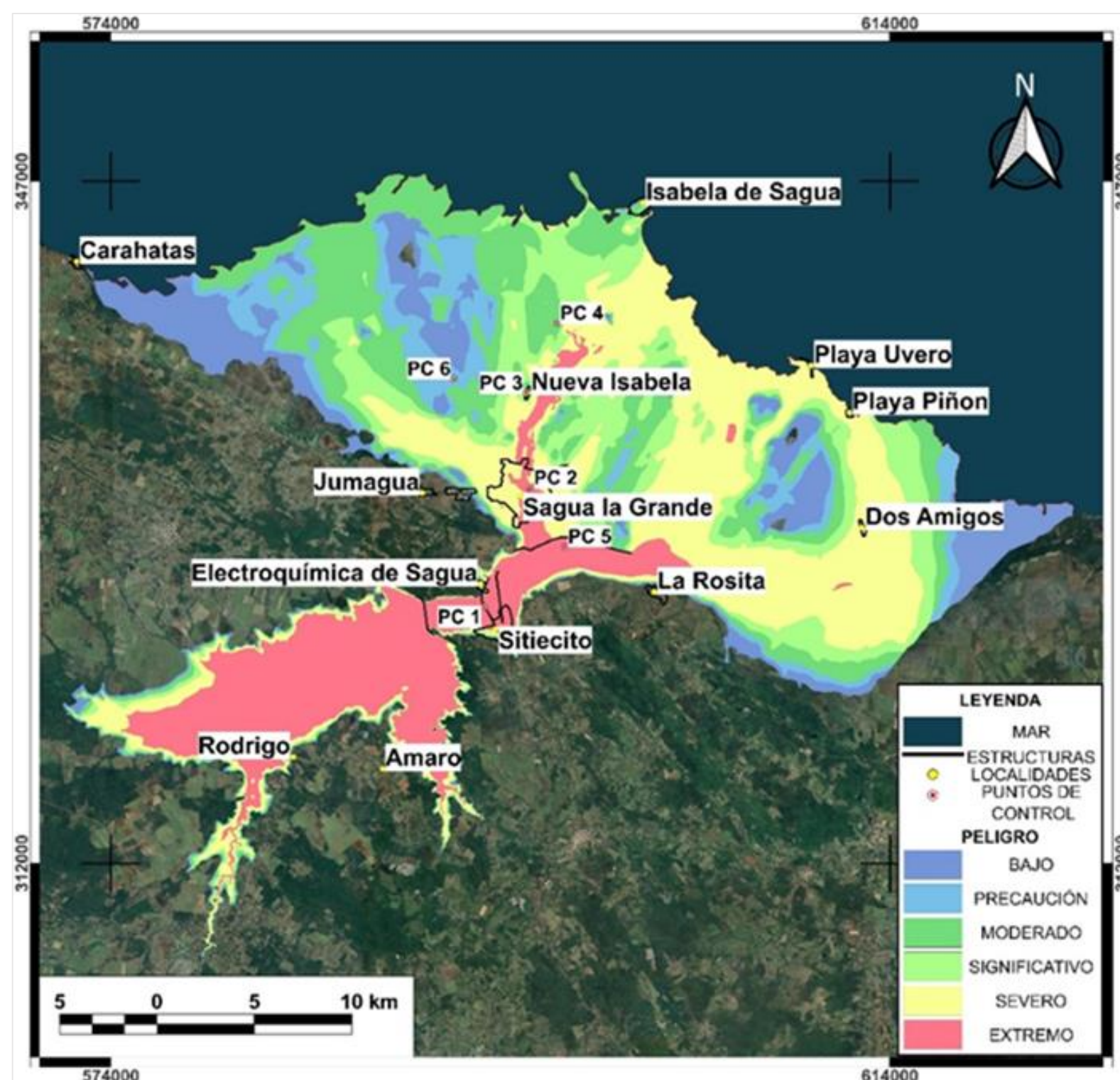


Figura 2. Mapa de peligro para la rotura del embalse Alacranes

El 91% del área urbana de Sagua La Grande presenta un peligro Severo a Extremo, y Sitiecito un 63% con peligro Extremo. En Isabela de Sagua, el peligro es Moderado a Significativo, aunque otras zonas como La Rosita, Playa Uvero, Dos Amigos y El Piñón también podrían verse afectadas.

4. CONCLUSIONES

Se generaron por primera vez en Cuba mapas de peligro, profundidad y velocidad para la rotura de la presa Alacranes, identificando que un caudal mayor que 11 000 m³/s inundaría el 91 % de Sagua la Grande con peligro severo a extremo.

El escenario más crítico (Escenario 13, modelo físico HEC-RAS) predice una brecha de 350 m formada en 0.67 h, con caudal pico de 35 727 m³/s, profundidades mayores a 12 m y velocidades mayores a los 5 m/s, poniendo en riesgo infraestructuras vitales.

Un análisis de sensibilidad demostró que variaciones de ±20% en el coeficiente de Manning afectan poco (menos del 20%) la profundidad y velocidad del flujo para grandes descargas particularmente cuando superan los 6 m de profundidad.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcement, G. J., & Schneider, V. R. (1989). Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains [Report](2339). (Water Supply Paper, Issue. G. P. O. U.S. B. For sale by the, & U. S. G. S. Open-File Reports Section. <https://pubs.usgs.gov/publication/wsp2339>)
- Fattorelli, S., & Fernández, P. C. (2011). Diseño Hidrológico (2nd ed.). WASA-GN. https://www.google.com/books/edition/Dise%C3%B1o_hidrol%C3%B3gico/NT39PgAACAAJ?hl=es
- Ferrari, A., Vacondio, R., & Mignosa, P. (2023). High-resolution 2D shallow water modelling of dam failure floods for emergency action plans. Journal of Hydrology, 618, 129192. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129192>
- NSW, & DPIE. (2019). Flood Risk Management Committee Handbook: A guide for committee members. State of NSW and Department of Planning Industry and Environment. https://wagga.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0019/174322/Floodplain-Risk-Management-Advisory-Committee-Guidelines.PDF
- USACE. (2022a). HEC-RAS 2D User's Manual. In (Version 6.3) US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/r2dum/6.3>

AGRADECIMIENTOS Y CONTACTO

A la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas y al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH, Villa Clara) por su apoyo institucional.

Ing. Victor Manuel Carvajal González

Facultad de Construcciones de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
vicarvajal@uclv.cu, victorcarvajal855@gmail.com, +32496842856

Artículo publicado: <https://doi.org/10.3390/su17156864>