

Creación de una simulación de inundación con Python y ArcGIS Pro.

Ichel A. Delgado M. - 20202020029

Facultad de Ingeniería

Geomática I

Resumen—Este informe presenta una simulación de inundación costera en la Bahía de Hakodate utilizando un Modelo Digital de Elevación (DEM) del conjunto de datos SRTM 1 Arc-Second Global. El análisis se desarrolló mediante dos enfoques complementarios: (1) el uso de herramientas de análisis raster y visualización en ArcGIS Pro, y (2) la generación de simulaciones 2D y 3D mediante Python empleando las bibliotecas `rasterio`, `numpy` y `matplotlib`. Ambos métodos permitieron modelar la progresión del agua sobre el terreno para distintos niveles, generando visualizaciones comparables y una animación final que representa la inundación progresiva.

Index Terms—SRTM, inundación, DEM, Python, ArcGIS Pro, análisis espacial, visualización 3D.



Figura 1. Vista en mapa 2D de la Bahía de Hokadote.

I. INTRODUCCIÓN

Las simulaciones de inundación basadas en modelos digitales de elevación permiten analizar la vulnerabilidad del territorio frente a cambios en el nivel del mar y otros eventos extremos. En zonas costeras, estos análisis facilitan la planificación urbana, la gestión del riesgo y la comprensión de la relación entre topografía e impacto potencial. El presente trabajo desarrolla una simulación básica de inundación en la Bahía de Hakodate (Japón) usando datos SRTM y dos plataformas de trabajo: ArcGIS Pro y Python. El objetivo fue representar de manera visual cómo cambian las áreas inundadas bajo distintos niveles de agua, tanto en mapas 2D como mediante representaciones tridimensionales.

II. INSTRUMENTOS Y METODOLOGÍA.

II-A. Instrumentos

El área seleccionada corresponde a la Bahía de Hakodate, ubicada en el extremo sur de Hokkaido (Japón). Como insumo principal se empleó el Modelo Digital de Elevación *SRTM 1 Arc-Second Global v3* (archivo `n41_e140_1arc_v3.tif`), distribuido por el USGS, con una resolución aproximada de 30m que cubre la ciudad y sus elevaciones montañosas circundantes.

El análisis se realizó con dos entornos complementarios:

- **ArcGIS Pro:** utilizado para generar los rasters binarios de inundación, visualizar resultados en 2D y 3D y construir una animación mediante el módulo *Animation Timeline*.
- **Python:** empleado para recortar el DEM al área de Hakodate, generar inundaciones incrementales desde 0 m hasta 85 m, producir mapas 2D y superficies 3D y crear animaciones GIF utilizando `matplotlib` e `imageio`.

II-B. Metodología

II-B1. Procesamiento en ArcGIS Pro: El proceso inició con la carga del DEM en ArcGIS Pro para verificar su cobertura espacial sobre la bahía. En ArcGIS Pro se generó un *hillshade* para mejorar la percepción del relieve y se construyeron rasters binarios que clasifican como 1 las áreas bajo ciertos niveles de agua.

Los rasters resultantes fueron almacenados como archivos independientes, manteniendo el mismo sistema de referencia espacial para asegurar su compatibilidad. Una vez obtenidos, se cargaron en un mapa 2D para validar su correcto comportamiento, verificando que los valores 1 coincidieran con zonas bajas cercanas a la bahía. Tras confirmar su funcionalidad, se incorporaron también en una escena 3D, utilizando el DEM como superficie de elevación y aplicando simbología semitransparente a los rasters de inundación para simular la entrada progresiva del agua.

La animación se elaboró directamente en ArcGIS Pro mediante el *Animation Timeline*, creando fotogramas que activaban o desactivaban los distintos niveles de inundación. De esta forma, fue posible visualizar la expansión del área afectada conforme aumentaba la altura del agua, tanto en el mapa 2D como en la escena 3D. El procedimiento se centró exclusivamente en representar de manera visual y

comprensible una inundación costera simplificada basada en la topografía provista por el DEM.

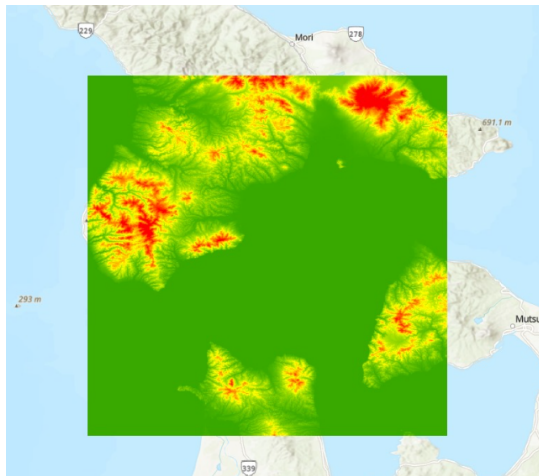


Figura 2. Modelo Digital de Elevación (DEM) SRTM 1 Arc-Second para la Bahía de Hakodate utilizado en la simulación de ArcGIS Pro.

II-B2. Procesamiento en Python: Además del análisis realizado en ArcGIS Pro, se desarrolló un procedimiento computacional en Python para generar una simulación adicional de inundación sobre la Bahía de Hakodate. Este proceso se empleó para producir animaciones en 2D y 3D que permitieran observar de forma dinámica la progresión del nivel del agua entre 0 m y 85 m.

Para ello se utilizaron las librerías `rasterio`, `numpy`, `matplotlib` e `imageio`. El primer paso consistió en cargar el archivo SRTM 1 Arc-Second Global (`n41_e140_1arc_v3.tif`) y recortar el DEM específicamente al sector geográfico correspondiente a la ciudad de Hakodate, mediante la creación de una ventana espacial basada en sus límites aproximados.

Posteriormente, se aplicó un proceso de limpieza para eliminar valores nulos o inconsistencias comunes del DEM. Con el modelo ya recortado, se generaron superficies raster binarias en 2D que representan, para cada nivel de agua, las celdas cuya elevación es menor o igual al umbral de inundación. Estas capas se combinaron con el DEM para crear fotogramas que luego fueron compilados en una animación en formato GIF, mostrando la expansión gradual de la inundación en el plano horizontal.

Adicionalmente, se implementó una simulación volumétrica en 3D utilizando `matplotlib`. Para ello se construyó una malla espacial a partir del DEM y se superpuso un plano horizontal que representa el nivel del agua, siendo visible únicamente en las zonas donde la topografía está por debajo del umbral correspondiente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de ArcGIS Pro y Python fueron consistentes entre sí. Ambos enfoques utilizaron los niveles de inundación de 0 m a 85 m para analizar la respuesta del terreno. En las Figuras 4 y 5, un raster de 15 m muestra que las zonas afectadas corresponden principalmente al frente costero y a las

áreas más bajas del núcleo urbano, lo cual es coherente con la topografía real de Hakodate, cuyo sector central se sitúa entre 0 y 20 m de altitud.



Figura 3. Raster binario correspondiente a un nivel de inundación de 15 m, representación en 2D



Figura 4. Raster binario correspondiente a un nivel de inundación de 15 m, representación en 3D

Esto también puede evidenciarse en las Figuras 5 y 6, que corresponden con los rasters de 85 m:

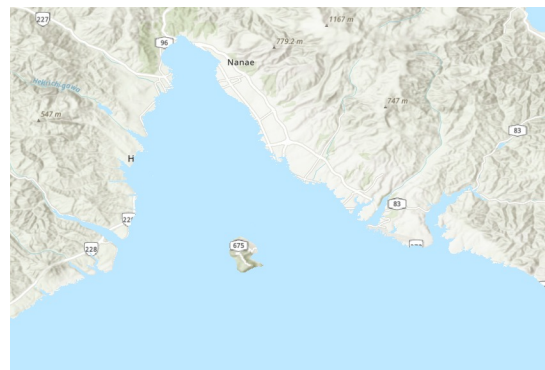


Figura 5. Raster binario correspondiente a un nivel de inundación de 85 m, representación en 2D



Figura 6. Raster binario correspondiente a un nivel de inundación de 85 m, representación en 3D

En Python, la animación 2D muestra de manera progresiva la expansión del agua hacia el interior, manteniendo la forma de la línea costera y respetando la elevación del terreno. La animación 3D revela claramente la diferencia entre las zonas planas, que se inundan rápidamente, y las laderas montañosas del Monte Hakodate y de los cerros circundantes, que permanecen fuera del área de impacto.

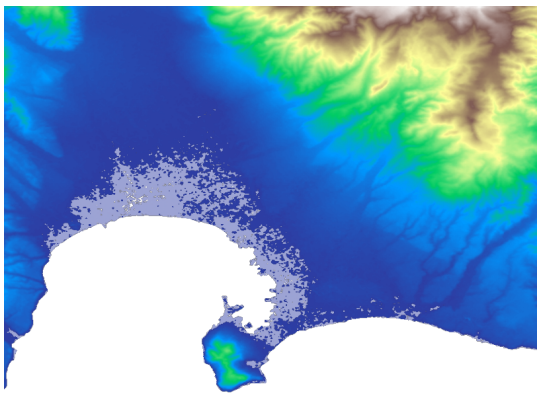


Figura 7. Frame correspondiente a un nivel de inundación de 15 m, representación en 2D generada con Python

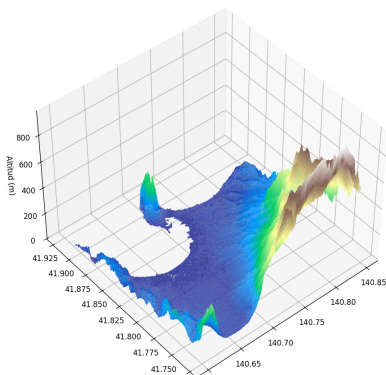


Figura 8. Frame correspondiente a un nivel de inundación de 15 m, representación en 3D generada con Python

Esto también puede evidenciarse en las Figuras 5 y 6, que corresponden con los frames creados con Python para los

85 m:

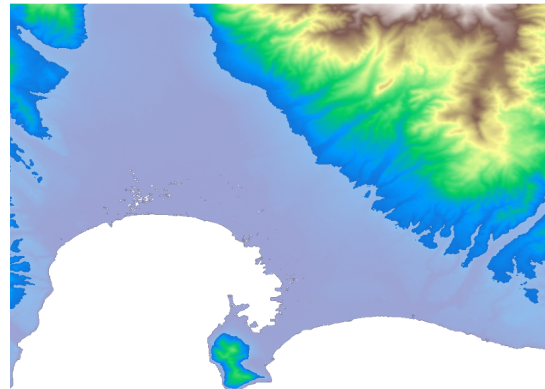


Figura 9. Frame correspondiente a un nivel de inundación de 85 m, representación en 2D generada con Python

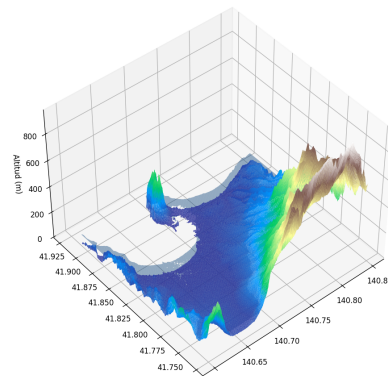


Figura 10. Frame correspondiente a un nivel de inundación de 85 m, representación en 3D generada con Python

IV. CONCLUSIONES

La simulación de inundación realizada para la Bahía de Hakodate permitió evaluar de manera integrada el comportamiento del terreno frente a incrementos progresivos del nivel del agua, combinando herramientas de análisis espacial en ArcGIS Pro con un modelo adicional programado en Python para generar visualizaciones continuas y animadas. El uso del DEM SRTM de 30 m de resolución resultó adecuado para identificar con claridad las zonas bajas de la ciudad y para construir una representación coherente de la expansión del agua tanto en 2D como en 3D.

Los resultados mostraron que, para un nivel de 15 m, la inundación afecta principalmente las áreas costeras y las zonas urbanas más cercanas al puerto, lo cual es consistente con la elevación real del área, donde una porción significativa de la ciudad se encuentra por debajo de los 20 m. En contraste, el escenario de 85 m produjo una cobertura total de la ciudad y una gran parte de los alrededores, incluyendo pendientes bajas cercanas a la bahía. Aunque este escenario no es físicamente probable, fue útil para validar el comportamiento del modelo binario y del proceso automatizado de simulación.

Las animaciones generadas en Python complementaron el análisis realizado en ArcGIS Pro al permitir una progresión continua del nivel del agua y una visualización más detallada del relieve en 3D. Esta integración reforzó la interpretación espacial y facilitó observar cómo la topografía controla la expansión horizontal del agua antes de alcanzar elevaciones montañosas más altas que permanecen sin afectación en toda la simulación.

En conjunto, el proyecto demostró que la combinación de datos SRTM, análisis raster en ArcGIS Pro y visualización programática en Python constituye una metodología eficaz para representar escenarios de riesgo por inundación. Además, permitió confirmar la alta vulnerabilidad de las zonas urbanas costeras de Hakodate ante incrementos moderados del nivel del mar, resaltando la importancia de la topografía local en la evaluación de amenazas y la planificación territorial.

REFERENCES

- [1] United States Geological Survey (USGS), SRTM 1 Arc-Second Global. Reston, VA, USA: USGS, 2014. [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/>
- [2] Environmental Systems Research Institute (ESRI), ArcGIS Pro Documentation. Redlands, CA, USA: ESRI, 2020. [Online]. Available: <https://pro.arcgis.com/>
- [3] Imageio Contributors, Imageio: Python library for reading and writing images. 2023. [Online]. Available: <https://imageio.readthedocs.io/>
- [4] S. Gillies, et al., Rasterio: Geographic raster I/O for Python programmers. 2023. [Online]. Available: <https://rasterio.readthedocs.io/>