

## Abstracto

La vulnerabilidad a los peligros naturales impacta a la población puertorriqueña cada año. Esto se acentúa en la temporada de huracanes. Uno de los efectos que generan los huracanes es el de las inundaciones. Esto causa muertes y daños a la propiedad en la isla. Ante eventos de este tipo, los albergues se convierten en la principal alternativa para preservar la vida, especialmente para la población vulnerable. Conocer la ubicación de los albergues ayuda en la movilización y evacuación de la población y así tener una respuesta rápida ante la emergencia. El Análisis Espacial Multicriterio (MCEA) es un método apropiado para analizar la ubicación de los refugios utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología utilizada en esta investigación busca establecer si las ubicaciones de los refugios existentes actualmente en el municipio de Toa Baja son las idóneas. Se espera que los refugios establecidos por el municipio estén en lugares no propensos a inundaciones y sean seguros para el acceso.

## Introducción

La población que se encuentra en zonas vulnerables a las inundaciones tiene la necesidad de reubicarse ante eventos que catapultan esta situación. La importancia de adoptar un proceso de acción antes, durante y después del evento ayuda a reducir los accidentes y las muertes. Usando los Sistemas de Información Geográfica y aplicando un modelo de Análisis de Evaluación Multicriterio (MCEA, por sus siglas en inglés), se pueden evaluar los peligros naturales y cómo se relacionan espacialmente con el entorno evaluado. Este trabajo tiene como objetivo evaluar la distribución espacial de los refugios, estudiar los riesgos y situaciones locales que alteran su vulnerabilidad.

## Revisión de la literatura

El estudio del acceso a los refugios ante eventos naturales está documentado en varias investigaciones. Uno de ellos se basa en el impacto del huracán Florence en las carreteras de las comunidades costeras de Carolina del Norte y el acceso de la población a los refugios [1]. Este huracán de categoría 4 en la escala Saffir-Simpson dejó entre 20 y 30 pulgadas de lluvia, lo que provocó el cierre de carreteras. Con datos de cierres de carreteras, datos de refugios y censos de población, se calculó el tiempo que tardaría un ciudadano en llegar al refugio más cercano. Por otro lado, Hasan [2] muestra un modelo de predicción de tráfico tras el paso del huracán Harvey en Houston, Texas, Estados Unidos. Para su estudio, se tuvieron en cuenta datos sobre carreteras y caminos, sus intersecciones y los tramos para llegar a un refugio para automatizar un proceso de predicción de tráfico. En otra investigación se hizo un estudio donde relacionan las rutas óptimas y la base de red peatonal para establecer una relación de tiempo de evacuación en Corea del Sur [3]. En una investigación similar, utilizaron una aplicación para predecir una ruta adecuada para llegar al refugio más cercano con el dato de ubicación actual del usuario. Este estudio se realizó en Corea [4].

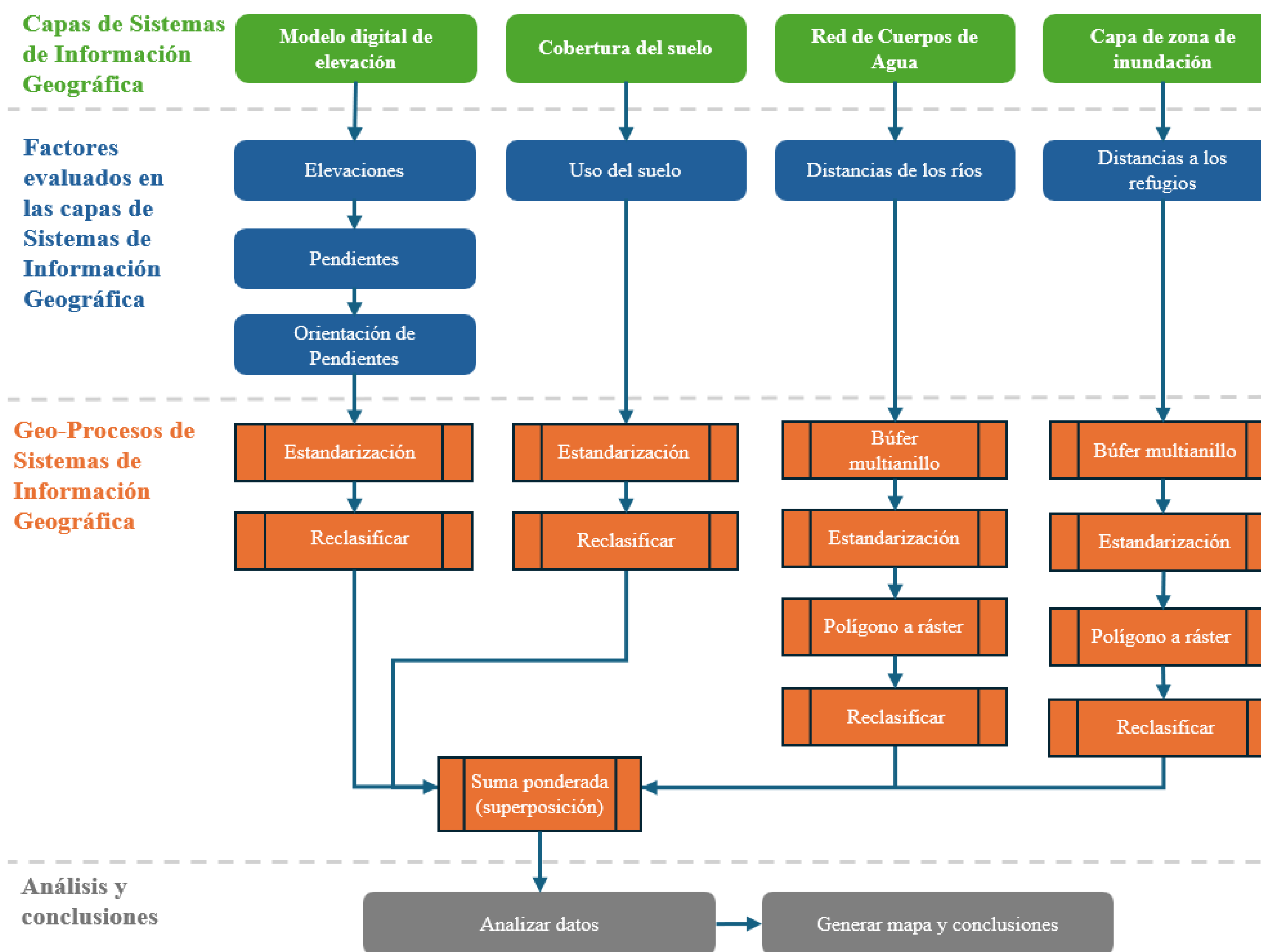
## Trabajos futuros

Este trabajo es la primera fase para verificar la idoneidad de un refugio. Como seguimiento a este análisis, es bueno integrar las comunidades que mas se afecten y calcular el tiempo que tomaría llegar a estos refugios por las carreteras principales. Otro dato a evaluar sería, añadir mas localidades que pudieran ser refugios y hacer el análisis de idoneidad.

## Problema

El objetivo principal de esta investigación es estudiar la existencia o no de condiciones que puedan representar vulnerabilidad a los albergues ubicados en el municipio de Toa Baja y si estos aspectos de vulnerabilidad pueden afectar negativamente a la población que busca refugio en ellos. El aporte de este trabajo es establecer un procedimiento replicable para que cada municipio pueda evaluar la ubicación idónea de sus refugios. Esta información ayuda a las agencias gubernamentales de manejo de emergencias a salvar vidas y tomar decisiones acertadas.

## Metodología



Análisis y conclusiones

Figura 1: Proceso de evaluación

## Resultados y Discusión

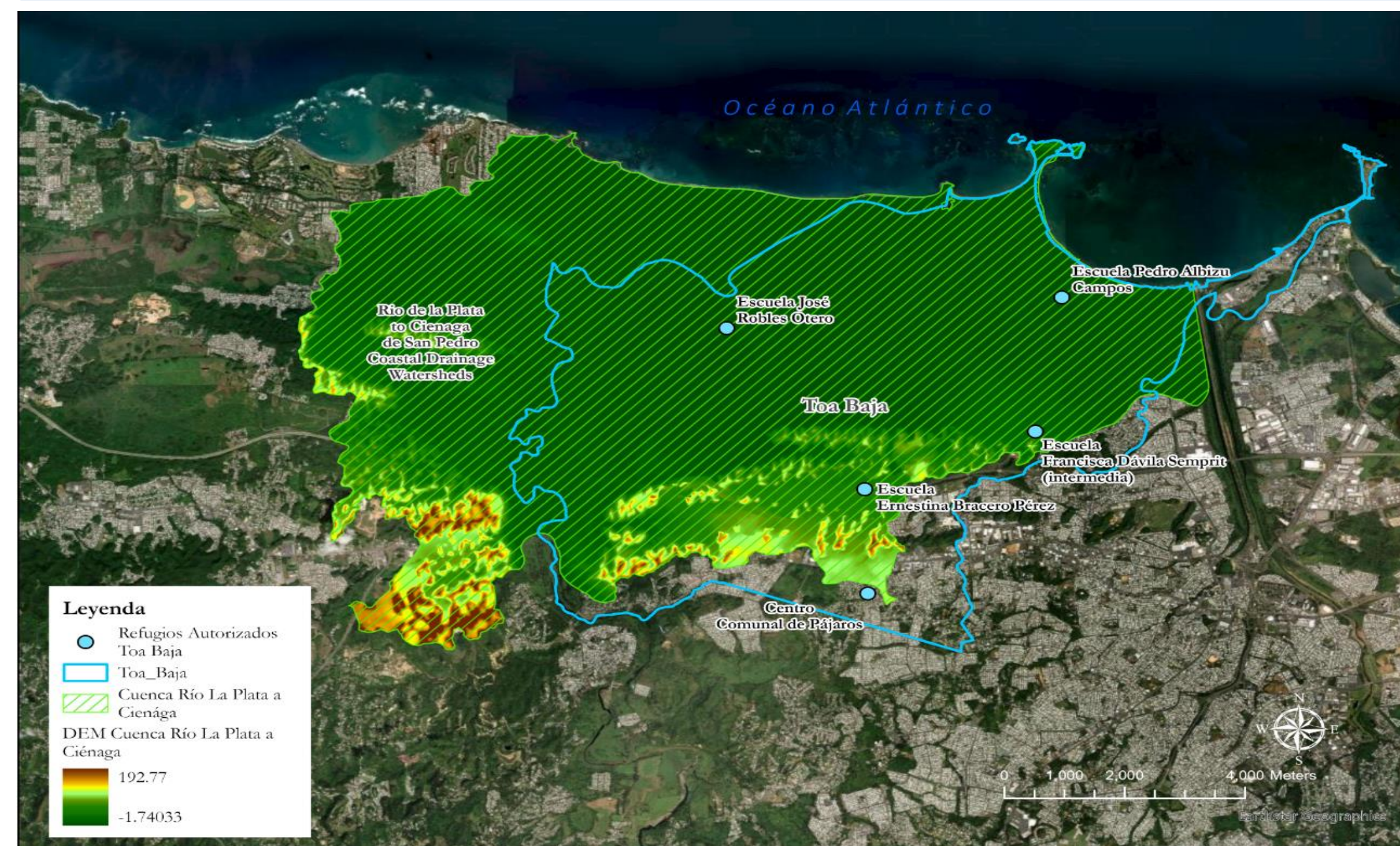


Figura 2: Modelo de Elevación Digital cuenca Río de la Plata

El municipio de Toa Baja tiene un área de 60,82 Km<sup>2</sup>. En publicaciones oficiales informó a la ciudadanía sobre el listado oficial de cinco (5) refugios: Escuela Francisca Dávila Sempritt, Escuela Pedro Albizu Campos, Escuela José Robles Otero, Escuela Ernestina Bracero Pérez y el Centro Comunal de Pájaros. Para este estudio se seleccionó la cuenca del Río La Plata a Ciénaga (figura 2) ya que es la cuenca que ocupa la mayor parte del municipio. La Escuela Francisca Dávila tuvo una elevación de 16m, una pendiente de 0.16 grados orientada al sur, en suelo desarrollado, con una distancia menos de 950m de cuerpos de agua y alejada más de 1,500m de zona inundable. La Escuela Pedro Albizu Campos tuvo una elevación de 2.38m, una pendiente de 0.51 grados orientada al oeste, en suelo desarrollado, con una distancia de menos de 950m de cuerpos de agua y alejada menos de 100m de zona inundable.

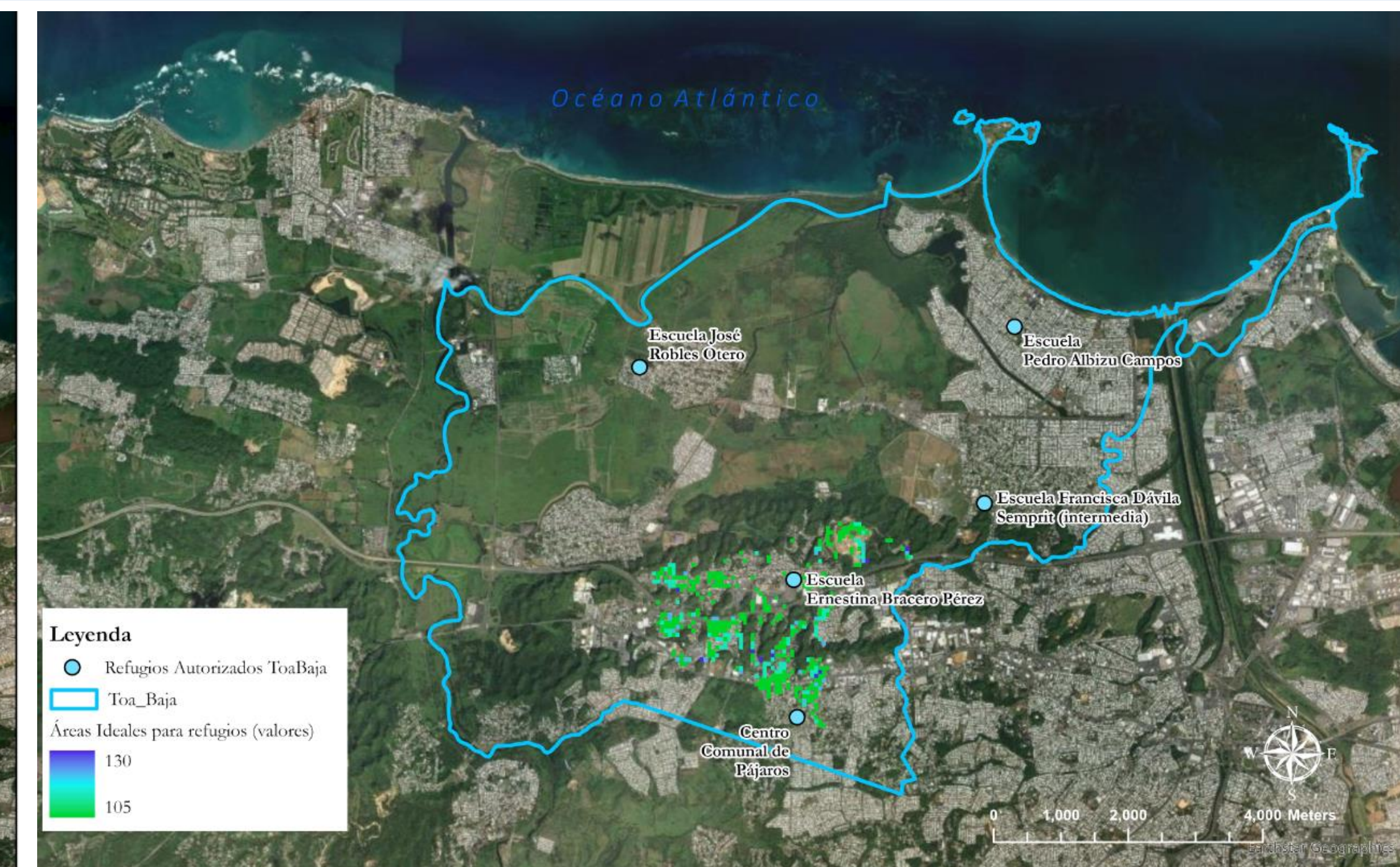


Figura 3: Zonas ideales para localización de refugios

La Escuela José Robles Otero tuvo una elevación de 2.57m, una pendiente de 0.59 grados orientada al noroeste, en suelo catalogado como bosques y arboledas, con una distancia de menos de 350m de cuerpos de agua y alejada menos de 100m de zona inundable. La Escuela Ernestina Bracero Pérez tuvo una elevación de 35.21m, una pendiente de 1.20 grados orientada al noroeste, en suelo desarrollado, con una distancia de menos de 1,750m de cuerpos de agua y alejada más de 1,500m de zona inundable. El Centro Comunal de Pájaros solo fue evaluado en una elevación de 73.73m, con una distancia de mayor de 2,750m de cuerpos de agua. Para los demás factores, este refugio no fue evaluado por que su localización está fuera de estos parámetros. El mapa resultante, luego de la suma ponderada, da el área donde se encuentra la Escuela Ernestina Bracero y el Centro Comunal de Pájaros (figura 3).

## Conclusión

Los resultados de la evaluación de los refugios pueden ser utilizados de manera significativa en la toma de decisiones sobre ubicaciones futuras. En primer lugar, la selección de sitios para nuevos refugios debe priorizar áreas con mayor elevación y pendientes adecuadas para minimizar el riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra. Además, es crucial elegir ubicaciones que estén a una distancia segura de cuerpos de agua, preferiblemente a más de 2,750 metros, para reducir el riesgo de inundaciones. La zonificación y el uso del suelo también juegan un papel importante; se debe planificar para que las áreas destinadas a refugios estén en suelos desarrollados o baldíos, evitando zonas inundables o implementando medidas de mitigación como barreras contra inundaciones. Al realizar la suma de los rásteres ponderados, se concluye que las zonas donde se ubican la Escuela Ernestina Bracero Pérez ya que fue la que se mantuvo en los ponderados favorables de los seis factores evaluados. Cabe señalar que la planificación de emergencias debe incluir la instalación de sistemas de alerta temprana y la capacitación de la comunidad, realizando simulacros regulares para asegurar una respuesta eficaz ante emergencias. Finalmente, es esencial realizar reevaluaciones periódicas de los refugios existentes y potenciales, utilizando tecnología avanzada para monitorear las condiciones ambientales y meteorológicas en tiempo real, lo que permitirá una respuesta rápida y eficaz ante posibles amenazas.

## Agradecimientos

Doy gracias a Dios por su amor, por su bondad, sus enseñanzas y por estar presente en mi vida, a mis hijas por ser mi tesoro más preciado y mi apoyo incondicional y a mi familia que son el pilar de mis días. Además, quiero agradecer al Dr. Raúl Matos por enseñarme las herramientas necesarias para hacer este análisis y por entusiasmar a los estudiantes con el trabajo en Sistemas de Información Geográfica dando un valor geoespacial a diferentes disciplinas. Esta tecnología contribuye al desarrollo del país haciéndolo más resiliente y vanguardista.

## Referencias

- [1] Docekal, Gregory, et al. Space-Time Variation in Shelter Accessibility in Eastern North Carolina, Following Hurricane Florence (2018).
- [2] Hasan, Muhammad Z, et al. "Evacuation Traffic Prediction and Adaptive Control." American Journal of Advanced Research, 28 Dec. 2021, pp. 13–16, <https://doi.org/doi: 10.5281/zenodo.5887237>.
- [3] Park, Seula, et al. "Flood evacuation mapping using a time–distance cartogram." ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 9, no. 4, 29 Mar. 2020, p. 207, <https://doi.org/10.3390/ijgi9040207>.
- [4] Sungwoo, Jeon, et al. "Map API-Based Evacuation Route Guidance System for Floods." Applied Sciences, 10 Aug. 2023, <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app13169141>.
- [5] "Home." Municipio Autónomo de Toa Baja, [www.toabaja.com/](http://www.toabaja.com/). Accessed 14 Oct. 2024.
- [6] "Municipio de Toa Baja." Facebook, [www.facebook.com/toabajaorgullollanero/](https://www.facebook.com/toabajaorgullollanero/). Accessed 14 Oct. 2024.
- [7] US Department of Commerce, NOAA. *PF Map: Puerto Rico & U.S. Virgin Islands*, US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, 7 Nov. 2005, [hdsc.nws.noaa.gov/pfds/pfds\\_map\\_pr.html](https://hdsc.nws.noaa.gov/pfds/pfds_map_pr.html).
- [8] "Weatherspark.Com." *El Clima En Toa Baja, El Tiempo Por Mes, Temperatura Promedio (Puerto Rico) - Weather Spark*, [es.weatherspark.com/y/27822/Clima-promedio-en-Toa-Baja-Puerto-Rico-durante-todo-el-a%C3%B1o](https://es.weatherspark.com/y/27822/Clima-promedio-en-Toa-Baja-Puerto-Rico-durante-todo-el-a%C3%B1o). Accessed 14 Oct. 2024.
- [9] "What Are Flood Zones and Maps?" *FloodSmart*, [www.floodsmart.gov/flood-zones-and-maps#floodZones](https://www.floodsmart.gov/flood-zones-and-maps#floodZones). Accessed 14 Oct. 2024.