

**AMENAZA DE INUNDACIONES POR ENCHARCAMIENTO CON LA
APLICACIÓN DEL MODELO MIKE SHE EN LA ZONA DE EXPANSIÓN
ARANDA DEL MUNICIPIO DE PASTO
(Resumen Analítico)**

***FLOODING HAZARD DUE TO WATERLOGGING WITH THE APPLICATION
OF THE MIKE SHE MODEL IN THE ARANDA EXPANSION ZONE OF THE
MUNICIPALITY OF PASTO.
(Analytical Summary)***

Autores (*Authors*): RIZO ZAMORA Juan Sebastian

Facultad (*Faculty*): de INGENIERÍA

Programa (*Program*): INGENIERÍA AMBIENTAL

Asesor (*Support*): MG. FRANCISCO RICARDO MAFLA CHAMORRO

Fecha de terminación del estudio (*End of the research*): NOVIEMBRE 2023

Modalidad de Investigación (*Kind of research*): Trabajo de Grado

PALABRAS CLAVE

INUNDACIÓN POR ENCHARCAMIENTO
ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS
PRECIPITACIONES MÁXIMAS
MODELACIÓN HIDROLÓGICA
LLUVIA DE DISEÑO.

KEY WORDS

*FLOODING DUE TO WATERLOGGING
HAZARD ZONING
MAXIMUM RAINFALL
HYDROLOGICAL MODELING
DESIGN RAIN.*

RESUMEN: En esta investigación se determinó la amenaza de inundación por encharcamiento en la zona de expansión Aranda del municipio de Pasto, considerando una lluvia crítica de diseño para un periodo de retorno de 100 años. Se establecieron las condiciones hidrológicas de la zona de estudio definiendo la

cuenca perteneciente a la zona de expansión Aranda correspondiente a la microcuenca El Blanco. Se utilizaron datos de precipitaciones máximas de tres estaciones meteorológicas y con base en las curvas intensidad-duración-frecuencia, se determinaron las intensidades de precipitación para diferentes duraciones.

Posteriormente, se empleó el software MIKE SHE para simular las profundidades y velocidades del flujo superficial en toda el área de estudio utilizando datos de cobertura y características hidrológicas del suelo de la microcuenca, así como las intensidades de lluvia calculadas.

Se realizó la zonificación de la amenaza de inundación utilizando las metodologías de FEMA e IDIGER. Los resultados indican que las áreas con pendiente pronunciada presentan un nivel de amenaza de inundación media. Sin embargo, en la mayor parte de la microcuenca, se identificó una amenaza baja de inundaciones por encharcamiento. Esto se atribuye a las características de los suelos de la microcuenca, que son profundos y tienen buen drenaje, facilitando la infiltración y almacenamiento temporal de agua. En consecuencia, se reduce la cantidad de agua superficial y se minimiza la amenaza de inundación, por lo tanto, se destaca que estos hallazgos pueden ser importantes para la planificación en esta área, aprovechando las características hidrológicas favorables de la microcuenca El Blanco.

ABSTRACT: *This study determined the flooding hazard due to waterlogging in the Aranda expansion zone of the municipality of Pasto, considering a critical design rainfall for a return period of 100 years. The hydrological conditions of the study area were established by defining the basin belonging to the Aranda expansion zone corresponding to the El Blanco watershed. Maximum precipitation data from three meteorological stations were used and based on the intensity-duration-frequency curves, the precipitation intensities for different durations were determined.*

The MIKE SHE software was then used to simulate the depths and velocities of surface flow throughout the study area using coverage data and hydrological characteristics of the soil in the micro-watershed, as well as the calculated rainfall intensities.

Flood hazard zoning was performed using FEMA and IDIGER methodologies. The results indicate that areas with steep slopes present a medium level of flood hazard. However, in most of the micro-watershed, a low hazard of flooding due to waterlogging was identified. This is attributed to the characteristics of the basin soils, which are deep and well-drained, facilitating infiltration and temporary water storage. Consequently, the amount of surface water is reduced, and the flooding hazard is minimized; therefore, these findings can be important for planning in this area, taking advantage of the favorable hydrological characteristics of the El Blanco basin.

CONCLUSIONES: En este estudio, se implementó el modelo MIKE SHE con el propósito de determinar la amenaza de inundaciones por encharcamiento en la microcuenca El Blanco, específicamente en la zona de expansión Aranda del municipio de Pasto, considerando un periodo de retorno de 100 años. Los resultados actuales revelaron a nivel general una amenaza baja de inundaciones por encharcamiento, proporcionando así información relevante para la toma de decisiones y la planificación local en el área de expansión. A continuación, se presentan las conclusiones principales derivadas de esta investigación:

- Las condiciones hidrológicas de la zona de estudio fueron rigurosamente establecidas y validadas. La aplicación de pruebas estadísticas, el análisis de frecuencia de valores extremos, la determinación de características morfométricas de la cuenca y la construcción de curvas I-D-F, contribuyeron a definir adecuadamente la intensidad de las precipitaciones para el periodo de retorno y tiempo de concentración calculado, logrando caracterizar el comportamiento hidrológico de la zona de estudio y establecer los parámetros necesarios para la simulación de la amenaza de inundaciones por encharcamiento.
- La evaluación de la confiabilidad de las series temporales de precipitaciones involucró tres métodos estadísticos. Con el método de Chow se descartó la presencia de anomalías, el análisis de Anderson confirmó la independencia de los datos, y la prueba de Cramer respaldó la homogeneidad de las series. Estos hallazgos consolidan la idoneidad de las series históricas para el cálculo de la lluvia de diseño.
- El alto grado de ajuste para la estación Universidad de Nariño, evidente a través del método LogNormal según la prueba Kolmogorov-Smirnov, proporcionó una base sólida y confiable para el análisis puesto que no solo respalda la validez de las estimaciones de eventos extremos, sino que también desempeñó un papel crucial en la posterior determinación de curvas I-D-F, garantizando así la precisión en el cálculo de lluvias para diversos periodos de retorno.
- Se tiene en cuenta que la elección del método de Chen para el cálculo de las curvas I-D-F se respalda por su recomendación para periodos de retorno superiores a 10 años, siendo particularmente pertinente para el análisis de inundaciones por encharcamientos con periodos de retorno de 100 años.
- La implementación del modelo MIKE SHE resultó sin dificultades. Su capacidad de adaptarse a la información disponible permitió una correcta simulación del escenario de inundaciones por encharcamiento. Vale la pena resaltar que el software no solo determinó la profundidad y velocidad del flujo

por el método de diferencias finitas basados en las ecuaciones de Saint Venant, sino que también calculó las infiltraciones a partir de las ecuaciones de Richards en diferentes intervalos de simulación, facilitando la interpretación adecuada de los resultados en relación con este parámetro demostrando ser una herramienta eficaz para identificar las áreas de mayor amenaza.

- El estudio realizado empleó con éxito el modelo MIKE SHE para simular las zonas de amenaza de inundación por encharcamiento. Los resultados en el modelo indicaron cantidades mínimas de agua superficial debido a la buena capacidad de drenaje y la infiltración eficiente en los suelos de la microcuenca, sin embargo, en zonas de alta pendiente, las velocidades de escorrentía según la simulación realizada alcanzaron los valores máximos especialmente al inicio de la lluvia dado que, en este punto, la fuerza gravitacional que actúa sobre el agua es mayor, lo que incrementa la velocidad de la escorrentía superficial. Adicionalmente, en estas áreas, el agua tiene menos oportunidad de infiltrarse en el suelo antes de ser transportada cuesta abajo representando los rangos críticos de velocidades.
- La zonificación de amenazas realizada en la microcuenca El Blanco, utilizando los métodos de FEMA e IDIGER, revelaron una amenaza generalmente baja de inundaciones por encharcamiento en toda la microcuenca para los dos escenarios críticos analizados. Sin embargo, se observó una amenaza media de inundación por encharcamiento en las zonas de mayor pendiente durante el periodo donde el flujo alcanza las velocidades máximas, especialmente según el método IDIGER, que asigna un peso mayor a la velocidad de escorrentía. A pesar de esto, en la zona de expansión Aranda, solo una pequeña fracción del área total se encuentra expuesta a una amenaza media de inundaciones por encharcamiento. Estos hallazgos destacan las características hidrológicas favorables de la microcuenca El Blanco y de la zona de expansión, y sugieren que, a pesar de las velocidades de escorrentía más altas en áreas de mayor pendiente, la amenaza de inundación por encharcamiento sigue siendo baja en la mayoría de la microcuenca.

CONCLUSIONS: *In this study, the MIKE SHE model was implemented in order to determine the flood hazard due to waterlogging in the El Blanco basin, specifically in the Aranda expansion area of the municipality of Pasto, considering a return period of 100 years. The current results revealed a generally low threat of flooding due to waterlogging, thus providing relevant information for decision making and local planning in the expansion area. The main conclusions derived from this research are presented below:*

- *The hydrological conditions of the study area were rigorously established and validated. The application of statistical tests, the frequency analysis of extreme values, the determination of morphometric characteristics of the basin and the construction of I-D-F curves, contributed to adequately define the intensity of precipitation for the calculated return period and time of concentration, thus characterizing the hydrological behavior of the study area and establishing the necessary parameters for the simulation of flood hazards due to flooding by flooding.*

- *The evaluation of the reliability of the rainfall time series involved three statistical methods. Chow's method ruled out the presence of anomalies, Anderson's analysis confirmed the independence of the data, and Cramer's test supported the homogeneity of the series. These findings consolidate the suitability of the historical series for the calculation of the design rainfall.*

- *The high degree of fit for the Universidad de Nariño station, evident through the LogNormal method according to the Kolmogorov-Smirnov test, provided a solid and reliable basis for the analysis since it not only supports the validity of the extreme event estimates, but also played a crucial role in the subsequent determination of I-D-F curves, thus ensuring accuracy in the calculation of rainfall for various return periods.*

- *It is noted that the choice of Chen's method for the calculation of I-D-F curves is supported by its recommendation for return periods greater than 10 years, being particularly relevant for the analysis of floods due to ponding with return periods of 100 years.*

- *The implementation of the MIKE SHE model proved to be trouble-free. Its ability to adapt to the available information allowed a correct simulation of the flooding scenario due to flooding. It is worth noting that the software not only determined the depth and velocity of the flow by the finite difference method based on the Saint Venant equations, but also calculated the infiltrations from the Richards equations in different simulation intervals, facilitating the proper interpretation of the results in relation to this parameter and proving to be an effective tool for identifying the areas of greatest threat.*

- *The study successfully employed the MIKE SHE model to simulate flood hazard zones due to waterlogging. The results in the model indicated minimal amounts of surface water due to the good drainage capacity and efficient infiltration in the soils of the basin; however, in areas of high slope, the runoff velocities according to the simulation reached maximum values especially at the onset of rainfall since, at this point, the gravitational force acting on the water is greater, which increases the velocity of surface runoff. Additionally, in these areas, water has less opportunity to*

infiltrate into the soil before being transported downhill, representing the critical velocity ranges.

- The hazard zoning performed in the El Blanco basin, using the FEMA and IDIGER methods, revealed a generally low threat of flooding due to waterlogging throughout the basin for the two critical scenarios analyzed. However, a medium threat of flooding by ponding was observed in the steeper slope areas during the period where the flow reaches maximum velocities, especially according to the IDIGER method, which assigns a higher weight to the runoff velocity. Despite this, in the Aranda expansion zone, only a small fraction of the total area is exposed to a medium threat of flooding due to waterlogging. These findings highlight the favorable hydrological characteristics of the El Blanco micro-watershed and the expansion zone, and suggest that, despite higher runoff velocities in steeper areas, the threat of flooding by ponding remains low in most of the basin.

RECOMENDACIONES: Si bien estos factores sugieren un escenario favorable en términos de una baja amenaza de inundación por encharcamiento en la zona evaluada y son útiles para determinar el grado de amenaza, es importante realizar un análisis mucho más detallado sobre las características hidrológicas de los diferentes tipos de suelo y propiedades de la vegetación, debido a que son componentes que puede influir mucho en los resultados obtenidos en la simulación.

Es esencial tener presente que en el desarrollo de la investigación no fue posible llevar a cabo la calibración del modelo. Por lo tanto, la ausencia de este proceso implica que los resultados deben interpretarse con cierta precaución. Aunque la simulación proporciona una visión valiosa de la amenaza de inundación por encharcamiento en la zona de expansión Aranda, la falta de calibración podría afectar la precisión y la fiabilidad de los resultados.

Es importante reconocer esta limitación al interpretar y generalizar los hallazgos de la investigación. A pesar de la ausencia de calibración, los resultados ofrecen una base inicial significativa, pero futuros trabajos podrían beneficiarse de un proceso de calibración para mejorar la exactitud del modelo y, por ende, la validez de las conclusiones obtenidas.

RECOMMENDATIONS: *Although these factors suggest a favorable scenario in terms of a low threat of flooding by waterlogging in the evaluated area and are useful for determining the degree of threat, it is important to carry out a much more detailed analysis of the hydrological characteristics of the different types of soil and vegetation properties, since these are components that can greatly influence the results obtained in the simulation.*

It is essential to keep in mind that in the development of the research it was not possible to carry out the calibration of the model. Therefore, the absence of this process implies that the results should be interpreted with some caution. Although the simulation provides valuable insight into the flood threat from waterlogging in the Aranda expansion area, the lack of calibration could affect the accuracy and reliability of the results.

It is important to recognize this limitation when interpreting and generalizing the research findings. Despite the lack of calibration, the results provide a meaningful initial basis, but future work could benefit from a calibration process to improve the accuracy of the model and thus the validity of the conclusions drawn.