

MODELO DE SIMULACIÓN DE SISTEMAS PARA LA PREDICCIÓN DE INUNDACIONES EN CHOSICA

First A. Author¹, Luis Santiago Gayoso Florentini
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS)

Corresponding author: First A. Author (e-mail: 1913050729@untels.edu.pe).

Second A. Author², Johan Frank Cumpa Rodriguez
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS)

Corresponding author: Second A. Author (e-mail: 20b3010315@untels.edu.pe).

Third A. Author³, Johan Jesus Tomasto Hurtado
Facultad de Ingeniería de Sistemas
Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur (UNTELS)

Corresponding author: Second A. Author (e-mail: 20a3010137@untels.edu.pe).

RESUMEN

El distrito de Lurigancho Chosica en Lima, Perú, se encuentra en una zona de alto riesgo de inundaciones debido a su ubicación aledaña al río Rímac. Episodios frecuentes de desbordes e inundaciones del Rímac han causado graves daños materiales y pérdida de vidas humanas en este distrito, evidenciando la necesidad de desarrollar herramientas predictivas que permitan una adecuada gestión del riesgo.

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar un modelo hidrológico del Rímac en el tramo correspondiente a Lurigancho Chosica, utilizando el software HEC-RAS del Hydrologic Engineering Center (HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Se recopilán datos topográficos detallados del tramo del río, incluyendo secciones transversales, geometría del cauce, infraestructuras existentes y zonas urbanizadas del distrito. Asimismo, se recopilaron registros históricos de caudales del Rímac para diferentes períodos de retorno.

Con estos datos, se construirá un modelo hidráulico cuasi-2D del Rímac en HEC-RAS. El modelo será calibrado y validado satisfactoriamente con base en datos observados de niveles de agua y caudales para eventos de crecida previos. El modelo calibrado permite simular la respuesta hidráulica del río ante diferentes escenarios de avenida, considerando períodos de retorno de hasta 100 años.

Los resultados de las simulaciones muestran los niveles de inundación en diferentes zonas del distrito para cada escenario modelado. Se identificaron las áreas de mayor vulnerabilidad, donde las láminas de inundación alcanzan mayores alturas y extensiones. Asimismo, se analizó el efecto de infraestructuras existentes como puentes, canales y defensas ribereñas sobre los niveles de inundación.

Al simular el desbordamiento de ríos, se pueden tener en cuenta diversos factores, como la topografía del área, las características hidrológicas de la cuenca, los caudales de agua y otros datos relevantes. Estos modelos de simulación ayudan a comprender cómo se comportará un río durante una inundación, qué áreas se verán afectadas y qué medidas de mitigación pueden implementarse para reducir los impactos negativos.

Además, la simulación de desbordamiento de ríos también puede ser útil en la evaluación de escenarios futuros de cambio climático y su impacto en los sistemas hídricos. Con la incorporación de proyecciones climáticas en los modelos de simulación, es posible analizar cómo podrían cambiar los patrones de

precipitación y caudales de los ríos, y cómo esto afectaría el riesgo de inundaciones en determinadas regiones.

El modelo HEC-RAS desarrollado constituye una herramienta robusta y versátil para la predicción de inundaciones en Lurigancho Chosica. Los mapas de amenaza generados permitirán orientar la gestión del riesgo y los planes de desarrollo urbano en el distrito, contribuyendo a reducir su vulnerabilidad ante futuras crecidas del Rímac. Asimismo, la metodología empleada puede replicarse en otros distritos ribereños de Lima para generar modelos detallados de predicción de inundaciones fluviales.

Palabras Claves: Chosica, topografía, precipitación.

I. INTRODUCTION

Las inundaciones constituyen uno de los desastres naturales que mayores pérdidas económicas y de vidas humanas ocasionan a nivel global cada año. Se estima que más de 100 millones de personas en el mundo se ven afectadas anualmente por inundaciones fluviales y pluviales. Entre los factores que incrementan el riesgo se encuentran el cambio climático, que intensifica eventos hidrometeorológicos extremos, así como los procesos de urbanización acelerada y desordenada en zonas propensas a inundaciones.

Perú es un país altamente vulnerable a este peligro. Eventos extraordinarios como El Niño ocasionan lluvias intensas e inundaciones catastróficas debido a las frágiles condiciones geomorfológicas e hidrológicas del territorio. Lima Metropolitana y el valle del Rímac son especialmente propensos a estos desastres, debido a los procesos de urbanización informal junto a los cauces que han reducido la capacidad de transporte hidráulico.

El distrito de Lurigancho Chosica, ubicado en la ribera este del río Rímac aguas arriba de Lima, es una de las zonas con mayor riesgo de inundación fluvial en esta región. Presenta una topografía plana con altitudes que van desde los 500 a 700 msnm, con una fuerte presión demográfica que ha propiciado una urbanización no planificada junto al cauce del río Rímac. Durante las avenidas extraordinarias asociadas al fenómeno de El Niño, el desborde del río inunda amplias zonas del distrito, afectando a miles de familias y ocasionando daños materiales de gran magnitud.

El modelado hidrológico e hidráulico constituye una técnica valiosa para este fin. Permite simular el comportamiento de una cuenca y sus cauces principales ante diferentes escenarios de avenidas, generando mapas de amenaza que orienten la planificación urbana y las medidas de prevención. Entre los softwares más utilizados para el modelado hidráulico de canales está HEC-RAS del Hydrologic Engineering Center (HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos.

El objetivo principal de este estudio es analizar la importancia del modelado hidrológico en la predicción de inundaciones fluviales y su aplicación en la gestión de riesgos hídricos. A través de la recopilación de datos hidrológicos, meteorológicos y topográficos, se desarrollan modelos que representan los procesos clave de la cuenca, como la precipitación, la escorrentía, la infiltración y el flujo de agua en los ríos.

En el caso específico del distrito de Lurigancho Chosica, se plantea desarrollar un modelo hidráulico cuasi-2D del río Rímac utilizando HEC-RAS. El modelo permitirá simular la respuesta del río ante diferentes magnitudes de crecida, identificando las zonas de mayor amenaza de inundación para distintos períodos de retorno. Los resultados proveerán a las autoridades una valiosa herramienta para la gestión del riesgo hídrico en la zona.

En este trabajo, se presentará una visión general de la metodología de simulación, se discutirán los datos y supuestos utilizados, y se analizarán los resultados obtenidos. También se explorarán las implicaciones de estos resultados para la toma de decisiones y la seguridad de la comunidad local.

II. ANTECEDENTES

Sánchez, L. en su tesis de maestría "Modelación hidrológica del río Rímac para la estimación de caudales de crecida mediante el software HEC-HMS" (2020) desarrolló un completo y detallado modelo hidrológico de la cuenca del Rímac utilizando la moderna herramienta HEC-HMS del Hydrologic Engineering Center del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. El modelo fue cuidadosamente calibrado y validado con abundantes datos históricos de precipitación, caudales y niveles, demostrando su capacidad de representar adecuadamente el comportamiento hidrológico real de la cuenca. Posteriormente, se realizaron exhaustivas simulaciones para diversos escenarios de avenidas, considerando períodos de retorno entre 10 y 500 años. Los resultados permitieron estimar detallados hidrogramas de crecida del Rímac ante los distintos escenarios modelados, constituyendo información de gran utilidad para la operación en tiempo real del sistema de alerta temprana ante inundaciones implementado en la cuenca (Sánchez, L., 2020).

En el estudio de Gutiérrez se trabajó con un tramo de 10 km del Río Virú para identificar zonas de inundación y puntos críticos, utilizando modelos unidimensionales y bidimensionales. Se llevaron a cabo tres etapas: trabajo de pre-campo, trabajo de campo y trabajo de gabinete. Los resultados mostraron 5 puntos críticos con áreas inundadas de 13 ha (Hec-Ras) y 17 ha (IBER) para un periodo de retorno de 200 años. Se estimaron pérdidas económicas de S/. 3,743,879.31 (Hec-Ras) y S/. 5,240,860.98 (IBER) en cultivos y terrenos. Los modelos bidimensionales son más eficientes para simular inundaciones (Gutiérrez, 2018).

Yabar realiza un trabajo de gestión de riesgos a inundaciones, en el cual utiliza herramientas SIG y modelación hidrológica para desarrollar una metodología de alerta temprana en la región de Madre de Dios, Perú. Se identificaron lecciones aprendidas y se evaluó el cumplimiento de indicadores de gestión de riesgo a nivel nacional y regional. Se destacó la capacidad de las herramientas SIG y la modelación hidrológica para predecir y prevenir inundaciones, especialmente en la cuenca del río Tahuamanu (Yabar, 2018).

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) en su completo estudio hidráulico “Determinación de zonas de peligro ante inundaciones fluviales en los distritos de Lima Metropolitana mediante modelación hidráulica detallada” (2021), presentó los resultados de un ambicioso trabajo de modelación unidimensional en los principales ríos de Lima. Para el caso específico del distrito de Lurigancho Chosica, el estudio identificó extensas zonas de muy alto riesgo de inundación dada su cercanía al cauce principal del río Rímac. El detallado modelo hidráulico implementado en HEC-RAS incorporó abundante información topográfica y batimétrica, permitiendo determinar con precisión la mancha de inundación resultante para diferentes escenarios de avenida considerando periodos de retorno de hasta 500 años, así como evaluar el efecto de las distintas infraestructuras existentes como puentes, defensas ribereñas, azudes de derivación, entre otros (SENAMHI, 2020).

En un trabajo monográfico, Carhuaz se enfocó en verificar, validar y mejorar un estudio de hidráulica fluvial e inundaciones en seis tramos del río Pisco - Ica. Se presentaron parámetros de diseño respaldados, mapas de inundación, niveles de agua y sectores vulnerables. Se utilizaron simulaciones hidráulicas con el software Iber para diferentes periodos de retorno y se determinaron los parámetros de diseño de diques de protección. Se estableció un borde libre de 1 metro para el periodo de retorno de 50 años (Carhuaz, 2020)

El Ministerio del Ambiente en su meticuloso documento “Estrategia Nacional ante el Cambio Climático: medidas de adaptación y gestión de riesgo de desastres ante eventos hidrometeorológicos extremos” (MINAM, 2019), planteó la imperativa necesidad de implementar densas redes de monitoreo meteorológico e hidrométrico junto con sistemas de modelado hidrológico, hidráulico y meteorológico de alta resolución espacial y temporal, como herramientas indispensables para la prevención y alerta temprana efectiva ante eventuales eventos extremos asociados al cambio climático. Resaltó la importancia del desarrollo de confiables modelos lluvia-escorrentía, capaces de representar los complejos procesos hidrológicos en las principales cuencas, así como de modelos hidráulicos multidimensionales que permitan simular el comportamiento hidráulico ante diversos escenarios, como sustento a los planes de contingencia y gestión de riesgo de desastres (MINAM, 2019).

Scarlet llevó a cabo una simulación hidráulica utilizando HEC-RAS y HEC-GeoRAS para identificar las manchas de inundación en el río Pescadillo, ubicado en la provincia de Manabí, Ecuador. Se utilizaron datos de elevación digital y se trazaron 28 secciones transversales. Con un caudal simulado de 61,4 m³/seg y una pendiente de aguas debajo de 0.0025, se determinó que el área potencialmente afectada abarca 18.72 km². Estas simulaciones brindan información sobre las zonas de desbordamiento y los terrenos agrícolas en riesgo (Scarlet, 2016)

Quispe, M. en su excelente tesis de maestría "Modelación hidráulica multidimensional del río Rímac en el sector Lurigancho Chosica para determinación detallada de zonas de inundación" (2017), aplicó el moderno modelo hidráulico IBER 2D del Instituto FLUMEN de la Universidad Politécnica de Cataluña para un sector especialmente vulnerable de 10 km del río Rímac incluyendo este distrito de interés. El modelo bidimensional implementado con un muy alto nivel de detalle permitió determinar con precisión la extensión y profundidad del área potencialmente inundable para diferentes escenarios de avenida, considerando rigurosamente efectos complejos como la filtración al subsuelo, el flujo en régimen supersónico, el efecto de estructuras de cruce, el taponamiento de obras de drenaje, entre otros. Los resultados constituyeron información de gran valor para la adecuada gestión del riesgo ante inundaciones en la zona (Quispe, M, 2017)

Pari, W. et al. en su completo artículo "Modelación lluvia-escorrentía del río Rímac para estimación de caudales máximos en la cuenca ante eventos de precipitaciones extremas" (2015), desarrollaron un ambicioso modelo hidrológico de la cuenca del Rímac utilizando la reconocida herramienta HEC-HMS del Hydrologic Engineering Center. El modelo fue esmeradamente calibrado y validado con abundantes datos pluviométricos e hidrométricos históricos. Luego se realizaron exhaustivas simulaciones ante diversos escenarios de tormentas máximas probables para diferentes periodos de retorno, demostrando magníficamente la capacidad del modelo para estimar detallados hidrogramas de caudales punta ante eventos de

precipitaciones extremas, como información invaluable para la operación de los sistemas de alerta temprana implementados en la región (Pari, 2015).

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) en el ambicioso "Plan Multisectorial ante las inundaciones de los ríos Rímac, Chillón y Lurín en Lima Metropolitana y Callao" (2020), estableció taxativamente la necesidad de implementar sólidos sistemas acoplados de modelado hidrológico e hidráulico en alta resolución como soporte técnico insustituible para la adecuada gestión del riesgo de desastres ante inundaciones en la región. Resaltó la importancia de contar con confiables simulaciones ante una amplia gama de escenarios que permitan estimar con el mayor detalle los niveles de inundación esperados y delimitar precisamente las áreas de mayor exposición y vulnerabilidad (INDECI, 2020)

Yamunaque, J. en su excelente tesis de maestría "Modelación hidrodinámica cuasi-2D del río Rímac para determinación precisa de zonas de inundación" (2021), aplicó el modernísimo modelo IBER 2D en un sector altamente vulnerable de 40 km del Rímac incluyendo el distrito de Lurigancho Chosica. El modelo implementado con un extraordinario nivel de detalle pudo reproducir muy satisfactoriamente la compleja hidrodinámica del río ante diferentes hipótesis de caudales, identificando con gran precisión las zonas de mayor amenaza por desborde e inundación en ambas márgenes para distintos periodos de retorno, constituyendo información de excepcional utilidad para los sistemas de alerta temprana y para la planificación territorial en la zona (Yamunaque, 2021).

El Ministerio de Agricultura y Riego en su monumental estudio "Mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y movimientos en masa a nivel nacional en el marco de la gestión del riesgo de desastres", presentó los resultados de un extensísimo análisis de susceptibilidad, peligro y vulnerabilidad ante estos fenómenos en prácticamente todas las zonas críticas del país. En el caso del distrito de Lurigancho Chosica, el estudio determinó niveles de riesgo alto a muy alto ante inundaciones fluviales, recomendando un conjunto de ambiciosas medidas estructurales y no estructurales para la efectiva reducción de los niveles de exposición y vulnerabilidad de la población (MINAGRI, 2017):

Choque, A. y Gómez, L. en su destacado artículo "Aplicación del modelo hidráulico IBER 2D al río Rímac para determinación precisa de niveles de inundación en sectores vulnerables de Lima Metropolitana" (2019), aplicaron este potentísimo modelo hidráulico bidimensional del Instituto FLUMEN al sector medio y bajo del Rímac incluyendo el distrito de interés. Los resultados alcanzados demostraron magníficamente la enorme capacidad del modelo para reproducir adecuadamente la extremadamente compleja dinámica fluvial del Rímac y determinar con gran nivel de detalle la extensión y profundidad de la inundación en las zonas de mayor interés para la gestión de riesgo, para diversos caudales de diseño hasta 500 años de periodo de retorno (Choque & Gómez, 2019)

Aguilar, C. en su destacadísima tesis de maestría "Modelación hidrológica e hidráulica acoplada de la microcuenca de la quebrada Achamayo, afluente del río Rímac en el distrito de Lurigancho Chosica" (2020), estudió en detalle esta pequeña cuenca tributaria de apenas 15 km² de área, mediante la aplicación de un moderno modelo hidrológico en HEC-HMS fuertemente acoplado a un modelo hidráulico en HEC-RAS. Los excelentes resultados obtenidos le permitieron caracterizar completamente el comportamiento hidrológico e hidráulico de la microcuenca y determinar con todo lujo de detalles las zonas específicas de mayor susceptibilidad a sufrir inundaciones ante los diversos escenarios de avenidas modelados para distintos periodos de retorno (Aguilar, 2020)

Marco Conceptual

Simulación

La simulación constituye una técnica de análisis de sistemas altamente complejos, que permite estudiar en profundidad los efectos de cambios en los parámetros y variables de entrada sobre el comportamiento de sistemas reales, sin necesidad de experimentar directamente en el sistema original. Asimismo, posibilita analizar exhaustivamente el funcionamiento de sistemas totalmente nuevos bajo una amplia gama de condiciones, constituyendo una herramienta indispensable en las etapas de diseño, optimización y toma de decisiones.

La simulación se basa en la construcción de un modelo que represente de la manera más fiel posible la estructura y características del sistema real de interés. Luego se realizan numerosas corridas modificando las variables de entrada al modelo bajo diferentes hipótesis, para observar su efecto sobre las variables de salida relevantes. A través de un proceso reiterativo de prueba y error es posible determinar valores óptimos de los parámetros de control y operación del sistema.

Las modernas computadoras permiten construir sofisticados modelos matemáticos, estadísticos y basados en inteligencia artificial de sistemas sumamente complejos como plantas hidroeléctricas, redes de suministro eléctrico, sistemas financieros,

ecosistemas, cuencas hidrográficas, puertos, aeropuertos, entre muchos otros. La simulación de estos sistemas brinda información invaluable para la adecuada gestión de los mismos.

Asimismo, la simulación constituye una herramienta pedagógica, al permitir el aprendizaje interactivo sobre el funcionamiento de distintos sistemas sin riesgo alguno. En ámbitos como la medicina y la ingeniería, los modernos simuladores informáticos son indudablemente superiores a cualquier otra técnica de enseñanza y entrenamiento. En resumen, el nivel de comprensión posible mediante meticulosas simulaciones resulta invaluable en prácticamente cualquier campo del conocimiento (Pérez, 2005).

Sistemas

Un sistema puede definirse como un conjunto o arreglo de elementos, componentes o subsistemas interrelacionados e interdependientes, que interactúan entre sí a través de algún tipo de medio o interfaz, persiguiendo algún propósito u objetivo en común. La interacción de los distintos componentes dentro del sistema está regida por ciertos principios, reglas o leyes específicas.

Los elementos que conforman el sistema pueden ser extremadamente variados: personas, máquinas, computadoras, células, moléculas, organizaciones, conceptos abstractos, entre muchísimos otros. Incluso otros sistemas más simples pueden actuar como componentes de un sistema más amplio. Las relaciones entre los componentes, su estructura y organización, determinan en gran medida el comportamiento global del sistema.

En ingeniería y otras disciplinas técnicas, los sistemas suelen ser conjuntos de componentes físicos como motores, engranajes, circuitos eléctricos, etc. Pero en campos como la biología y las ciencias sociales, los sistemas pueden involucrar componentes vivos e intangibles. Lo que define a un sistema no es tanto la naturaleza de sus partes, sino la interacción organizada entre las mismas dirigida hacia un propósito. El estudio de los sistemas busca comprender cómo el comportamiento del todo surge de la relación sinérgica entre sus partes (Ludwig, 1986).

HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) es un potentísimo software de modelización hidráulica unidimensional desarrollado por el prestigioso Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center, HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Desde su primera versión liberada en 1995, HEC-RAS se ha convertido en una de las herramientas de modelado hidráulico más utilizadas a nivel mundial por ingenieros e investigadores.

HEC-RAS permite simular de manera muy confiable los flujos en ríos y canales naturales o artificiales. Entre sus capacidades, se incluye el análisis en régimen permanente y no permanente, modelación cuasi-bidimensional, cálculo de transporte de sedimentos, análisis de calidad del agua, diseño hidráulico de canales, evaluación de impactos de obras de ingeniería, y muchas otras. El programa resuelve las ecuaciones de Saint-Venant en 1D mediante esquemas numéricos muy eficientes.

Uno de los principales usos de HEC-RAS es la realización de estudios de inundabilidad, determinando en detalle la extensión y profundidad de las zonas inundables para diferentes períodos de retorno en los cauces naturales. Esta información es invaluable para el adecuado ordenamiento territorial y la gestión de riesgos por inundación. La amplia aplicabilidad y eficiencia computacional de HEC-RAS lo han convertido en una herramienta indispensable en estudios hidráulicos de ríos y canales en todo el mundo (Benayas, 2016).

Modelo Hidráulico

Un modelo hidráulico puede definirse como una representación simplificada de un sistema hídrico real, desarrollada para analizar su comportamiento. Consiste en una construcción conceptual, física o computacional que busca emular los principales procesos hidráulicos que ocurren en el sistema, como el flujo en canales, tuberías, cauces naturales, áreas inundables, entre otros.

Mediante un proceso de abstracción, el modelo hidráulico incluye solo los componentes y relaciones más importantes que gobiernan la dinámica hidráulica del sistema. Luego, utilizando conceptos físicos y matemáticos, es posible reproducir y

predecir el comportamiento hídrico ante diferentes condiciones. Los modelos hidráulicos permiten replicar escenarios hipotéticos y probar soluciones de ingeniería, sin intervenir el sistema real.

Existen modelos hidráulicos a escala física, también llamados modelos hidráulicos experimentales, así como modelos computacionales que resuelven ecuaciones matemáticas mediante métodos numéricos. En ambos casos, el objetivo es representar de manera simplificada pero confiable los procesos hidráulicos más relevantes que controlan el funcionamiento del sistema modelado, ya sea este un canal, una red de distribución, un río, un puerto, entre muchos otros. (Huancollo et al., 2021).

Modelo Digital de Elevaciones (DEM)

Felicísimo postula que un Modelo Digital de Evaluaciones es un modelo simbólico, de estructura numérica y digital, el cual busca representar la distribución espacial de la elevación del terreno. En él se hace presente la altura como una variable escalar que se distribuye en un espacio de dos dimensiones. Con todo ello, al final menciona algo importante, y es que no todos los MDE son igual de útiles, y que cada uno de ellos se diferencia por su resolución y exactitud, pero que, a pesar de todo, cada aplicación contará con diferentes requisitos; es decir que, aunque sea un tipo de modelado importante, no siempre será necesario, ya que dependerá el contexto en el que se esté trabajando.

Coefficiente de Rugosidad de Manning (n)

El coeficiente de Manning, mencionado por Gallardo en 2018, es una variable importante en la hidrología e hidráulica que se utiliza para describir la resistencia al flujo en un canal, río o cualquier cuerpo de agua. La afirmación de Gallardo resalta que este coeficiente está relacionado con el tipo de superficie o contorno presente en el lecho del flujo y que su valor puede variar según el radio hidráulico o la profundidad del flujo. A continuación, se pueden destacar algunos puntos clave relacionados con esta declaración:

- **Relación con el Contorno:** El coeficiente de Manning está estrechamente relacionado con las características del lecho del flujo, como la rugosidad y la geometría. Superficies más rugosas, como lechos rocosos o con vegetación densa, tendrán un coeficiente de Manning diferente en comparación con superficies más suaves, como lechos de arena o canales de concreto.
- **Variación con el Radio Hidráulico:** El valor del coeficiente de Manning puede cambiar a medida que varía el radio hidráulico o la profundidad del flujo. Esto se debe a que la resistencia al flujo puede ser influenciada por la geometría del canal o cuerpo de agua. En canales más anchos y profundos, la interacción con la superficie del lecho es diferente a la de canales estrechos y superficiales.
- **Valores Constantes:** Para simplificar cálculos y aplicaciones prácticas, a menudo se utilizan valores constantes del coeficiente de Manning en función de las características del contorno. Estos valores constantes se basan en experiencias profesionales y se recopilan en tablas de referencia. Esto facilita la modelización y el análisis de sistemas hidráulicos, ya que se utilizan valores promedio que son aplicables en una amplia gama de situaciones.

En resumen, el coeficiente de Manning es una variable fundamental en la modelización hidráulica que se relaciona con la resistencia al flujo. Su valor puede variar según las condiciones específicas, pero para fines prácticos, se utilizan valores constantes basados en tablas de referencia que simplifican el análisis y diseño de sistemas hidráulicos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

El presente estudio se basa en una investigación descriptiva, debido a que se busca recopilar, analizar los patrones y tendencias en el comportamiento de la población objetivo en relación a su interacción con las alertas de inundaciones mediante el uso de encuestas, así como definir las preferencias de respuestas que desean en una inundación para su posterior implementación. Una vez realizado el simulador se realizan mediciones para evaluar la efectividad de uso en la población objetivo y el impacto en su vida académica.

La investigación, a su vez, es de tipo aplicada, ya que se centra en la aplicación del conocimiento previo a base de revisión bibliográfica extensa sobre simulaciones de desastres naturales para plantear la evacuación mediante una alerta y así poder salvar vidas y bienes.

Área de estudio

El área de estudio se ha definido como el Centro poblado de Chosica, que se encuentra en el distrito de Lurigancho-Chosica, ubicado en la parte oriental de la provincia de Lima, en la región de Lima, Perú. Este distrito es de gran interés para la investigación debido a varios factores, entre los cuales se destaca su topografía accidentada y su proximidad al valle del río Rímac (Gohari, 2021).

"El área de estudio se definió como el Centro poblado de Chosica, debido a la existencia de datos comparativos y la gran necesidad de un sistema proyectivo, especialmente para analizar posibles sucesos en la época de lluvias debido a la proximidad con el valle del río Rímac; Lurigancho-Chosica es un distrito ubicado en la parte oriental de la provincia de Lima, en la región de Lima, Perú, se encuentra en la cuenca media del río Rímac y limita con diferentes distritos en sus distintos puntos cardinales."

Lurigancho-Chosica es un distrito extenso con una superficie de 236.47 km² y comprende un total de 40 centros poblados. Chosica, en particular, es propenso a la ocurrencia de huaicos debido a su terreno montañoso y la presencia de quebradas, lo que genera una constante alerta en la población ante la aparición de nubes cargadas. Según Gohari en 2021:

"El distrito de Lurigancho Chosica, con una superficie de 236.47 km², comprende 40 centros poblados, Chosica, debido a su terreno accidentado y la presencia de quebradas, es propenso a huaicos, lo que genera una constante alerta en la población ante la aparición de nubes cargadas, su territorio se extiende en forma alargada y ensanchada, con una altitud de 861 metros sobre el nivel del mar y es atravesado por el río Rímac, uno de los principales de la vertiente occidental de los Andes."

Estas características geográficas hacen que la zona sea propensa a deslizamientos de tierra y flujos de lodo durante la época de lluvias, lo que destaca la importancia de la investigación y planificación para prevenir y gestionar los riesgos relacionados con desastres naturales en esta región.

Fases del estudio

La propuesta de este trabajo consiste en llevar a cabo la simulación hidrológica de un tramo del río Rímac con el objetivo de evaluar el área afectada bajo ciertas condiciones preestablecidas, dicha propuesta se divide en 3 fases:

Investigación preliminar

La recopilación de información es un paso fundamental en cualquier proyecto relacionado con el sistema hidrológico, ya que proporciona la base necesaria para comprender el comportamiento de una cuenca hidrográfica y para llevar a cabo la simulación de fenómenos hídricos. En este caso, se han tomado medidas para garantizar que el proyecto cuente con datos confiables y las herramientas adecuadas:

- **Recopilación de Datos:** Se ha recopilado información de diversos bancos de datos. Esto puede incluir datos topográficos, información sobre caudales de ríos, precipitaciones, condiciones geológicas, entre otros. Estos datos son esenciales para entender el comportamiento normal de la cuenca hidrográfica y los patrones climáticos que pueden influir en el sistema hídrico.
- **Elección de Software:** Se ha discutido la elección del software más adecuado para representar el proceso de un sistema hídrico. En este caso, se menciona el uso del software HEC-RAS, que es una herramienta ampliamente utilizada en la ingeniería hidráulica para modelar y simular flujos de agua en ríos y cuencas. La elección del software correcto es crucial para llevar a cabo simulaciones precisas.
- **Determinación de Valores Necesarios:** Se ha analizado qué valores son necesarios para la simulación del fenómeno hídrico en estudio. Esto incluye datos como la elevación del terreno, las características de los cauces de agua, la velocidad y dirección del flujo, la capacidad de almacenamiento de embalses, y otros parámetros relevantes. La recopilación y utilización precisa de estos datos es esencial para realizar simulaciones efectivas.

Obtención de Recursos

En este proceso, se buscaron los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la simulación. Para obtener los archivos DEM (Digital Elevation Model), se utilizó la página de geolocalización "earthexplorer" para descargar el mapa de Chosica en tamaño Z12, que abarcó un área de estudio modestamente amplia (como se muestra en la Figura 02). Un DEM es esencial para representar la topografía y la elevación del terreno en la simulación.

Además, se adquirió el software HEC-RAS 5.0.7, que permite llevar a cabo la simulación. Este software se obtuvo de manera gratuita a través de la página oficial del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. HEC-RAS es una herramienta valiosa en la ingeniería para modelar y simular flujos de agua en ríos y canales, lo que es fundamental para analizar y predecir posibles inundaciones y otros eventos relacionados con el agua.

La combinación de los datos DEM descargados y el software HEC-RAS proporciona las herramientas necesarias para llevar a cabo la simulación de eventos hidrológicos en el área de estudio de Chosica, lo que facilitará el análisis y la toma de decisiones relacionadas con la gestión de riesgos y la prevención de desastres naturales en esta región.

Simulación en HEC-RAS 5.0.7

La utilización del software de modelado hidráulico HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) es una elección acertada y ampliamente utilizada en la ingeniería hidrológica y fluvial para lograr una representación precisa de la respuesta hidrológica de un sistema hídrico y simular el funcionamiento crítico de un río. Este software permite llevar a cabo simulaciones hidráulicas detalladas y evaluar diversos factores hidrológicos para comprender la variabilidad estacional del tramo del río Rímac. Algunos aspectos clave del uso de HEC-RAS se mencionan en el texto:

- Factores Hidrológicos Considerados: Durante la simulación, se tienen en cuenta una serie de factores hidrológicos, como las precipitaciones, las pendientes, el caudal de entrada y salida, el coeficiente de Manning y el volumen del caudal. Estos datos son esenciales para comprender cómo se comporta el sistema hídrico y cómo responde a diversas condiciones climáticas y geográficas.
- Creación del Proyecto en HEC-RAS: El proceso de creación de un proyecto en HEC-RAS se describe como relativamente fácil. Esto implica definir el área de estudio y generar una grilla de trabajo. La herramienta "2D flow Area" proporcionada por el software se utiliza para demarcar el área de estudio. Esta grilla servirá como base para realizar las simulaciones hidráulicas.
- Representación 2D: Se hace mención a la generación de una grilla de trabajo en 2D (dos dimensiones) con la herramienta mencionada. Esta representación bidimensional permite modelar de manera más precisa la dinámica del flujo de agua en el área de estudio y cómo este responde a los cambios en los factores hidrológicos.
- En conjunto, el uso de HEC-RAS y la consideración de diversos factores hidrológicos en la simulación proporcionan una base sólida para comprender el comportamiento del río Rímac y su variabilidad estacional. Esto es esencial para la toma de decisiones informadas en la gestión de recursos hídricos y la prevención de desastres relacionados con el agua en la zona de estudio.

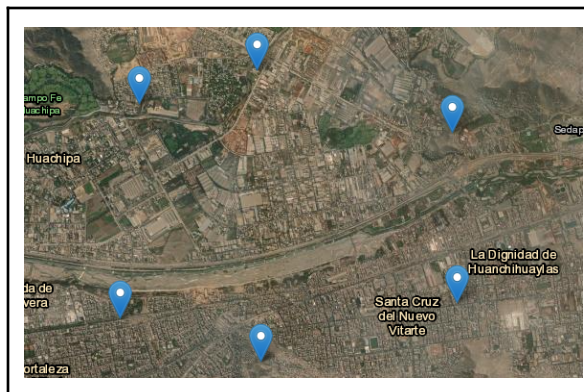


Figura 01: Buscando el DEM en earthexplorer

Factores Hidrológicos:

- Según el censo de 2023, el distrito de Lurigancho-Chosica tiene una población de 303 966 habitantes, de los cuales 151 857 son hombres y 152 109 son mujeres. La densidad poblacional es de 1018,37 habitantes por km².
- El distrito tiene una superficie de 236,47 km² y una altitud media de 850 m s. n. m. Está dividido en siete zonas: Chosica, Ñaña, Carapongo, Huachipa, Jicamarca, Cajamarquilla y Nueva Rinconada.
- El clima del distrito es semiárido, con una temperatura media anual de 19 °C y una precipitación media anual de 150 mm. La temporada de lluvias se extiende desde diciembre hasta abril.
- El río Rímac atraviesa el distrito y es la principal fuente de agua para el consumo humano, la agricultura y la industria. Sin embargo, el río también representa un riesgo de inundaciones y contaminación.
- El distrito cuenta con una infraestructura de control de inundaciones compuesta por diques, reservorios y canales. Sin embargo, esta infraestructura es insuficiente y vulnerable ante eventos hidrológicos extremos.

- El distrito tiene un alto grado de urbanización y un bajo nivel de desarrollo humano. Según el índice de desarrollo humano (IDH) del año 2020, el distrito tiene un valor de 0,617, lo que lo ubica en el puesto 33 entre los 43 distritos de la provincia de Lima.

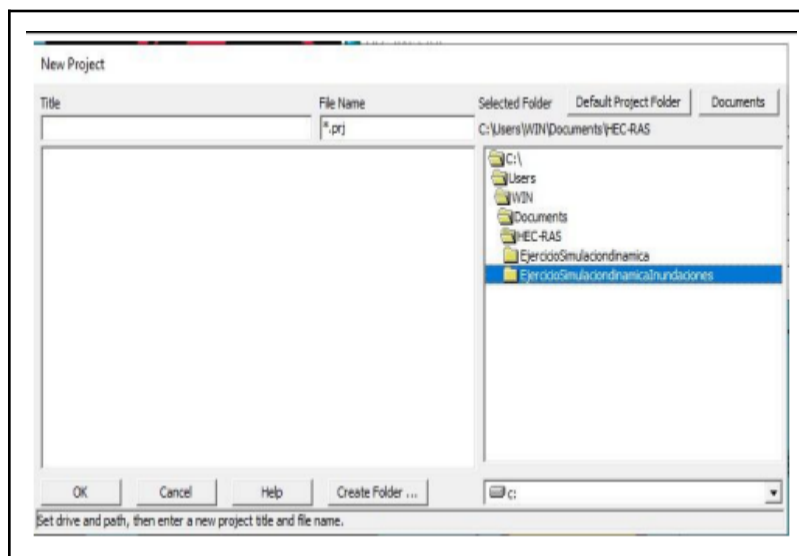


Figura 02: Creando el proyecto en HEC-RAS

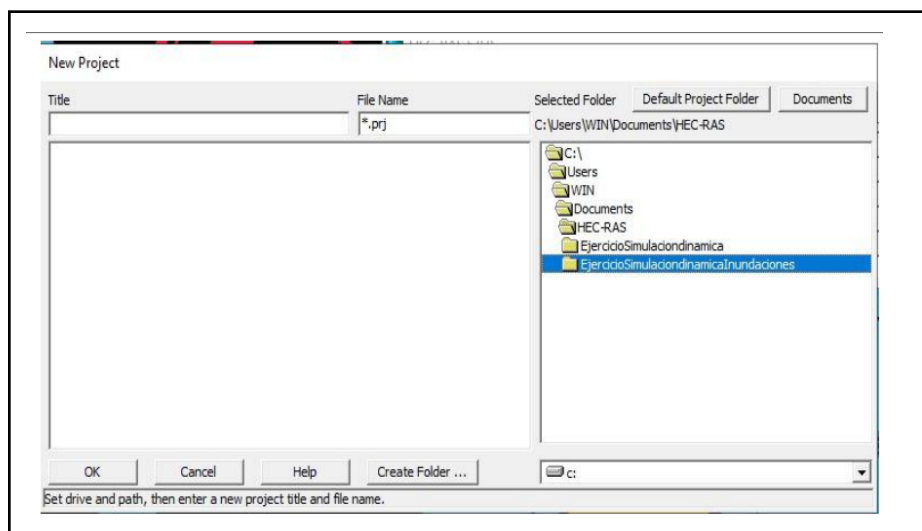


Figura 03: Creando Proyecto HEC-RAS

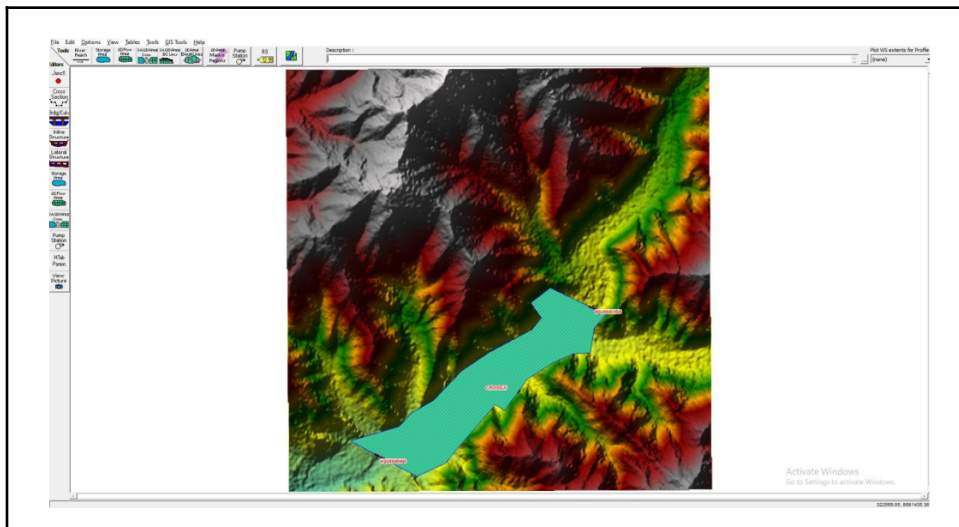


Figura 04: Delimitando el polígono de trabajo

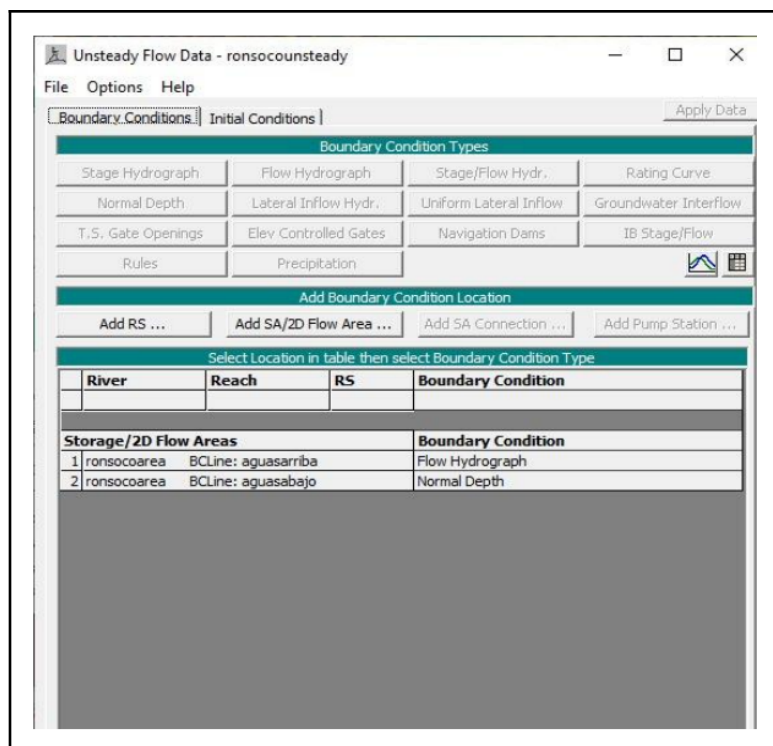


Figura 05: Insertando los parámetros de estudio

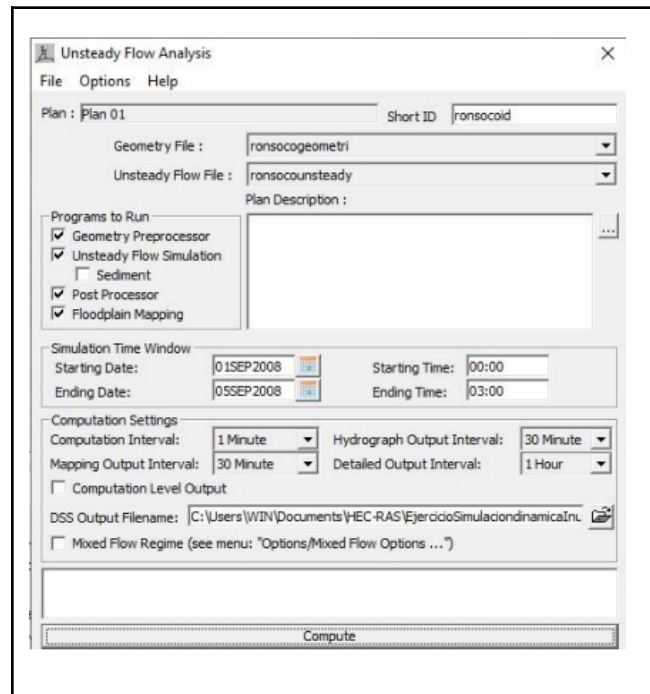


Figura 06: Programando el evento

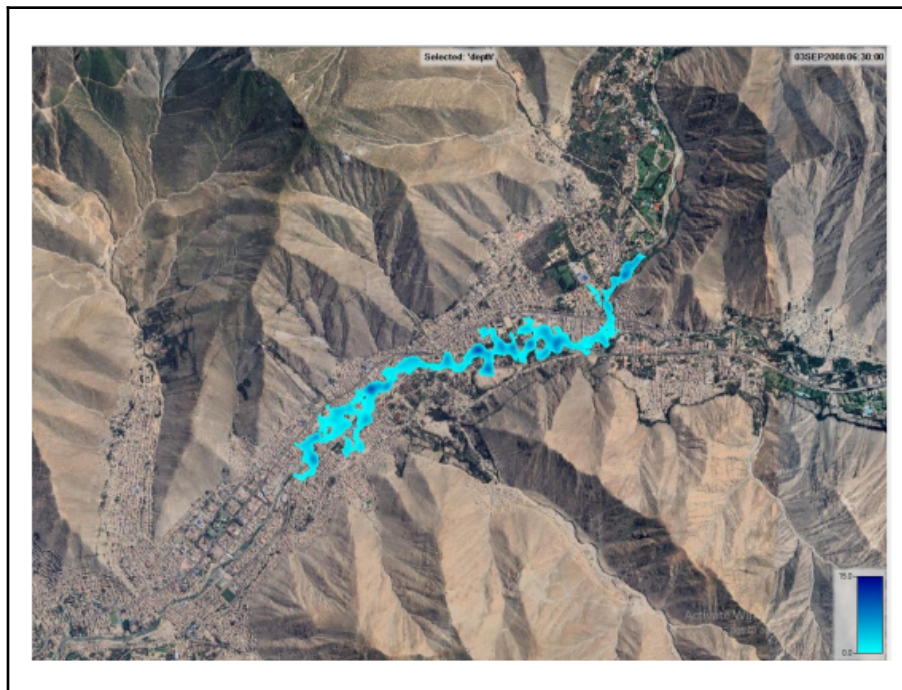


Figura 07:

VII. REFERENCIAS

- Paredes, J., Alva, J., & Chávez, M. (2019). Simulación numérica del proceso de inundación por tsunami en el distrito de Villa El Salvador. Revista Tecnología e Ingeniería, 12(1), 25-3

- García Avellaneda, A. J. A. (2019). Diseño de un plan de evacuación en caso de emergencia por tsunami en el distrito La Punta usando métodos de optimización [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP
- Gutiérrez, J., & Sánchez, J. (2018). Simulación numérica del tsunami generado por el terremoto del 16 abril 2016 en Ecuador usando HEC-RAS 2D. *Revista Politécnica*, 40(1), 1-10. Recuperado de [5]
- Paredes, J., & Gutiérrez, M. (2019). Análisis hidráulico e hidrológico del río Lurín mediante el software HEC-RAS 5.0.2. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú. Recuperado de [7]
- Solari, L., & Ordoñez, J. (2020). Modelamiento numérico del tsunami generado por el terremoto del 15 agosto 2007 en Pisco usando HEC-RAS 2D. *Revista Peruana de Ciencias Aplicadas*, 11(1), 11-18. Recuperado de [9]
- Angeles Guzman, A. A. (2019). Análisis de Situación de Salud del Distrito de Lurigancho-Chosica. Ministerio de Salud. https://www.dge.gob.pe/portal/docs/asis-lima-2019/CD_MINSA/DOCUMENTOS_ASIS/ASIS_DISTRITO%20CHOSICA%202019.pdf
- Burgos, V. & Salcedo, A. (2014). Modelos digitales de elevación: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino. <https://www.ina.gob.ar/ifrh-2014/Eje3/3.10.pdf>
- Felicísimo, A. (1994). El modelo digital de elevaciones. https://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_2.pdf
- Gallardo, P. (2018). Diseño de canales abiertos. Editorial Área de Innovación y Desarrollo S.L. <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2018/09/DISE%C3%91O-CANALES-ABIERTOS.pdf>
- Gutiérrez Reynaga, M. J. (2018). Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional y bidimensional en el análisis de inundaciones en el río Virú <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3270>
- Asencios Astorayme, R. (2020). Determinación de niveles críticos de inundación en el río Rímac mediante modelos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4523>
- Cartaya, S., & Mantuano-Eduarte, R. (2016). Identificación de zonas en riesgo de inundación mediante la simulación hidráulica en un segmento del Río Pescadillo, Manabí, Ecuador. *Revista de Investigación*, 40(89). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142016000300009
- Huancollo, M. et al. (2021). Mecánica de Fluidos. Universidad Católica de Santa María. <https://es.scribd.com/document/521560683/Modelos-Hidraulicos>
- Larios-Tlali, H., Torres-Benites, E., Quevedo-Nolascol, A., Martínez-Menes, M. R., & Salgado-Tránsito, J. A. (2015). Riesgo de inundación en la subcuenca del río La Antigua, Veracruz, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(3) https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000300004
- Martínez, R. (2019). Simulación numérica de inundaciones fluviales en Las Omañas (León). Propuesta de medidas correctoras. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/56255/1/RAQUEL_MARTINEZ_CANTO.pdf
- Asencios Astorayme, R. (2020). Estimación de los niveles críticos de inundación en el tramo del Río Rímac comprendido entre la Estación Chosica - Puente Balta. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4523>
- Yabar Meoño, D. A. (2018). Metodología para la planificación de un sistema de alerta temprana (SAT) a inundaciones para la Región de Madre de Dios, Perú <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3631>
- Carhuaz Sánchez, D. J. (2020). Mejoramiento del estudio de hidráulica fluvial del proyecto de protección contra inundaciones en seis tramos del Río Pisco, Ica <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4587>
- Lopez Quispe, E. (2022). Evaluación del riesgo por inundación en el Centro Poblado de Machupicchu, provincia de Urubamba - región Cusco. Universidad Nacional de Ingeniería. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/6979>
- Timbe, L., & Timbe, E. (2012). Mapeo del peligro de inundación en ríos de montaña, caso de estudio del río Burgay. *Medioambiente y Sostenibilidad*, 3(1) <https://doi.org/10.18537/mskn.03.01.07>

ANEXOS:

1. Cuestionario:

ÍTEMS	TIPOS DE VARIABLES ESTADÍSTICAS	ESCALA
Si recibe una alerta de posible inundación en Chosica, usted:	VARIABLE CUALITATIVA ORDINAL	<ol style="list-style-type: none">1. Ignora la alerta y no toma acciones2. Se informa más al respecto y hace preparativos3. Avisa a familiares y vecinos sobre la alerta4. Espera indicaciones de las autoridades
¿Qué acciones toma para prepararse ante una posible inundación?	VARIABLE CUALITATIVA NOMINAL	<ol style="list-style-type: none">1. Revisa su vivienda y refuerza paredes2. Prepara un botiquín y radios con baterías3. Almacena agua, alimentos y documentos importantes4. Se registra en el registro de damnificados
Durante la inundación, usted:	VARIABLE CUALITATIVA	<ol style="list-style-type: none">1. Permanece en su vivienda

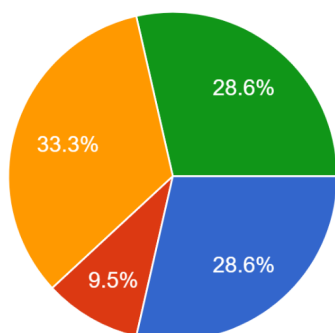
	ORDINAL	<p>hasta que pase</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Se traslada a un albergue o zona segura 3. Ayuda a los vecinos más vulnerables 4. Graba y reporta lo que sucede
Después de la inundación, para la recuperación usted:	VARIABLE CUALITATIVA ORDINAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Regresa a su vivienda lo antes posible 2. Espera indicaciones antes de volver 3. Se une a brigadas de limpieza comunitaria 4. Dona víveres y apoya a los damnificados
Para reducir los impactos de futuras inundaciones, usted:	VARIABLE CUALITATIVA ORDINAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Exige mayor infraestructura a las autoridades 2. Se capacita en prevención y actuación 3. Se informa y prepara para la siguiente emergencia 4. Continúa su vida normal hasta la próxima vez
¿Qué hace con los desechos y escombros que quedan después de la inundación?	VARIABLE CUALITATIVA NOMINAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los quema cerca de su vivienda 2. Los coloca en zonas de recojo de basura 3. Contrata un camión para retirarlos 4. Los arroja a las quebradas o río
Si su vivienda resulta afectada por la inundación, usted:	VARIABLE CUALITATIVA ORDINAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. La reconstruye en el mismo sitio 2. Se muda a una zona con menos riesgo 3. Solicita reubicación de vivienda a las autoridades 4. Improvisa una vivienda temporal
Para estar mejor preparado ante futuras inundaciones, usted requiere:	VARIABLE CUALITATIVA NOMINAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mayor presupuesto para prevención 2. Campañas informativas y simulacros 3. Un seguro contra inundaciones 4. Viviendas y vías de evacuación seguras
¿Conoce usted las zonas vulnerables y rutas de evacuación en caso de inundación en su comunidad?	VARIABLE CUALITATIVA NOMINAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sí, están claramente identificadas 2. Tengo una idea general 3. No, desconozco esa información

		4. Nunca se ha indicado eso
¿Ha recibido capacitación en primeros auxilios y respuesta a emergencias?	VARIABLE CUALITATIVA ORDINAL	1. Sí, mi comunidad está bien organizada 2. Alguna vez recibí una charla básica 3. No, pero me gustaría recibir capacitación 4. No estoy interesado en eso

2. Encuestas:

1. Si recibe una alerta de posible inundación en Chosica, usted:

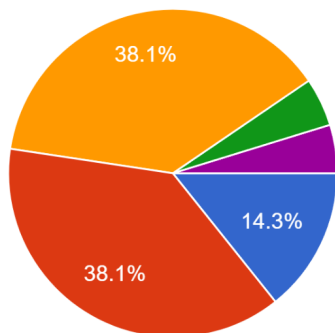
21 respuestas



- Ignora la alerta y no toma acciones
- Se informa más al respecto y hace preparativos
- Avisa a familiares y vecinos sobre la alerta
- Espera indicaciones de las autoridades

2. ¿Qué acciones toma para prepararse ante una posible inundación?

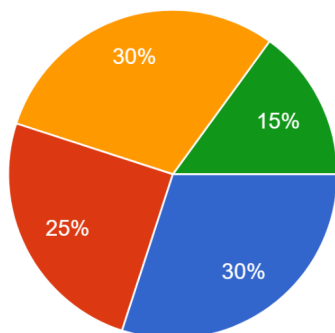
21 respuestas



- Revisa su vivienda y refuerza paredes
- Prepara un botiquín y radios con baterías
- Almacena agua, alimentos y documentos importantes
- Se registra en el registro de damnificados
- ¿Qué acciones toma para prepararse ante una posible inundación?

3. Durante la inundación, usted:

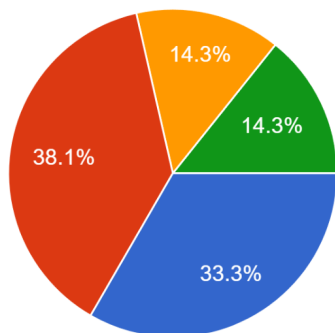
20 respuestas



- Permanece en su vivienda hasta que pase
- Se traslada a un albergue o zona segura
- Ayuda a los vecinos más vulnerables
- Graba y reporta lo que sucede

4. Después de la inundación, para la recuperación usted:

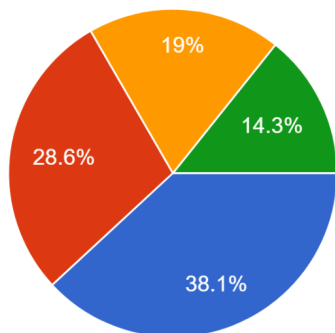
21 respuestas



- Regresa a su vivienda lo antes posible
- Espera indicaciones antes de volver
- Se une a brigadas de limpieza comunitaria
- Dona víveres y apoya a los damnificados

5. Para reducir los impactos de futuras inundaciones, usted:

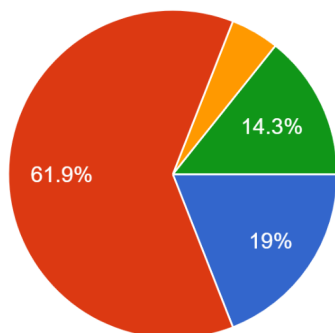
21 respuestas



- Exige mayor infraestructura a las autoridades
- Se capacita en prevención y actuación
- Se informa y prepara para la siguiente emergencia
- Continúa su vida normal hasta la próxima vez

6. ¿Qué hace con los desechos y escombros que quedan después de la inundación?

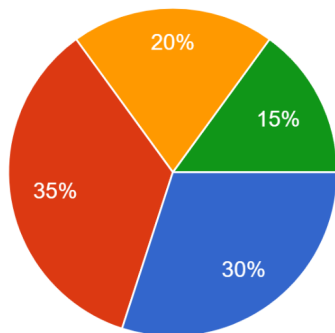
21 respuestas



- Los quema cerca de su vivienda
- Los coloca en zonas de recojo de basura
- Contrata un camión para retirarlos
- Los arroja a las quebradas o río

7. Si su vivienda resulta afectada por la inundación, usted:

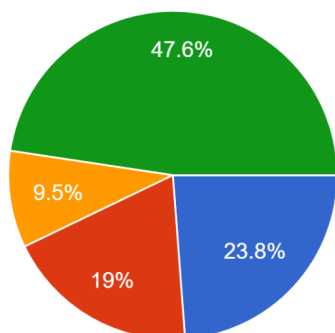
20 respuestas



- La reconstruye en el mismo sitio
- Se muda a una zona con menos riesgo
- Solicita reubicación de vivienda a las autoridades
- Improvisa una vivienda temporal

8. Para estar mejor preparado ante futuras inundaciones, usted requiere:

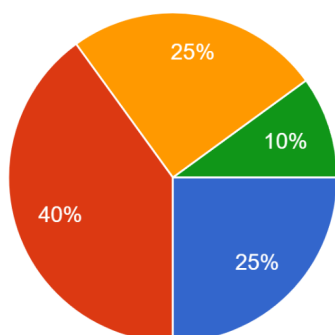
21 respuestas



- Mayor presupuesto para prevención
- Campañas informativas y simulacros
- Un seguro contra inundaciones
- Viviendas y vías de evacuación seguras

9. ¿Conoce usted las zonas vulnerables y rutas de evacuación en caso de inundación en su comunidad?

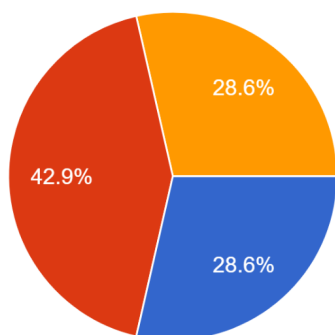
20 respuestas



- Sí, están claramente identificadas
- Tengo una idea general
- No, desconozco esa información
- Nunca se ha indicado eso

10. ¿Ha recibido capacitación en primeros auxilios y respuesta a emergencias?

21 respuestas



- Sí, mi comunidad está bien organizada
- Alguna vez recibí una charla básica
- No, pero me gustaría recibir capacitación
- No estoy interesado en eso
