



Análisis Beneficio Costo de la zona afectada previo a la generación de un modelo de aluviones en la subcuenca del río Mindo, utilizando herramientas geoespaciales

Morales Pisuña, Mónica Graciela y Paucar Apupalo, Luis Jesús

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente

PhD. Rodríguez Espinosa, Fabián Francisco

12 de abril del 2022



MORALES_PAUCAR_TESIS_FINAL_docx

Scanned on: 16/7 April 12, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	25
Words with Minor Changes	1
Paraphrased Words	25
Orphaned Words	32505



Website | Education | Businesses

Firma:



UJ5686 #electronicamente por:
**FABIAN FRANCISCO
RODRIGUEZ
ESPINOSA**

PhD. Rodríguez Espinosa, Fabián Francisco

DIRECTOR



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Análisis Beneficio Costo de la zona afectada previo a la generación de un modelo de aluviones en la subcuenca del río Mindo, utilizando herramientas geoespaciales.”** fue realizado por los señores **Morales Pisuña, Mónica Graciela y Paucar Apupalo, Luis Jesús**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 12 de abril del 2022

Firma:



PhD. Rodríguez Espinosa, Fabián Francisco

C. C. 1706853759



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Morales Pisuña, Mónica Graciela y Paucar Apupalo, Luis Jesús**, con cédulas de ciudadanía n°172426250-4 y n°180381191-6 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Análisis Beneficio Costo de la zona afectada previo a la generación de un modelo de aluviones en la subcuenca del río Mindo, utilizando herramientas geoespaciales**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 12 de abril del 2022

Firma

Morales Pisuña, Mónica Graciela

C.C.:172426250-4

Firma

Paucar Apupalo, Luis Jesús

C.C.: 180381191-6



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción
Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Autorización de Publicación

Nosotros **Morales Pisuña, Mónica Graciela** y **Paucar Apupalo, Luis Jesús**, con cédulas de ciudadanía n°172426250-4 y n°180381191-6 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Análisis Beneficio Costo de la zona afectada previo a la generación de un modelo de aluviones en la subcuenca del río Mindo, utilizando herramientas geoespaciales** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 12 de abril del 2022

Firma

Morales Pisuña, Mónica Graciela

C.C.:172426250-4

Firma

Paucar Apupalo, Luis Jesús

C.C.: 180381191-6

Dedicatoria

Con todo mi amor y cariño, dedico de manera especial este logro a quienes han sido y son los pilares fundamentales en mi vida, mi familia.

A mi mami Teresa, la mujer más valiente y guerrera en todo el mundo y a quien debo todo lo que soy, con tu ejemplo de perseverancia y tu amor me has inculcado buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi abuelito papá Juan, que ahora es un ángel en el cielo, siempre fuiste un hombre y un padre admirable, trabajador y de buenos principios, estuviste en mis buenos y malos momentos, mis más bonitos recuerdos de la infancia los compartimos juntos, te llevo en mi corazón y como te lo prometí hoy te dedico este gran logro.

A mi papi José, quien a su manera jamás ha dejado de estar presente y me ha brindado su apoyo, sentaste en mi la base de responsabilidad y deseos de superación siendo un principal cimiento para la construcción de mi vida profesional.

A mis queridos hermanos Darío y Victoria, mis compañeros de vida, de regaños y travesuras, que les sirva de inspiración para que luchen por sus sueños, que nunca se rindan y que todo sacrificio tiene su recompensa, hermanitos ustedes me inspiran todos los días.

A mis abuelitos mamita María y papito Francisco, por brindarme su apoyo incondicional su preocupación y afecto, ustedes han sido fuente de inspiración para conseguir este logro.

Y a todas las personas que de una u otra manera, fueron parte de esta maravillosa aventura.

Mónica Graciela Morales Pisuña

Dedicatoria

Este trabajo dedico a Dios sobre todas las cosas, ya que el es parte fundamental en mi vida y en cada cosa que hago y que en un futuro llegue hacer.

A mi Madre por apoyarme en cada paso de mi vida académica por ser el ejemplo de superación en mi vida, por su amor que infundido con disciplina favoreció para que esta meta se pueda concluir y por más lejos que se encuentre siempre está presente en mi vida.

A mi Padre por brindarme consejos que los atesoro en mi corazón y mi mente, por jamás dejar de creer en mí, por el apoyo incondicional que me brinda y el ejemplo de amor que demuestra.

A mi hermana Tani, que ha sido mi inspiración tanto en el ámbito espiritual como en profesional, por sus consejos y palabras de aliento que me brindo y que además creyó en mi para alcanzar esta meta y así poder llamarla colega geógrafa.

A mi hermana Paty que es un ejemplo en mi vida a nivel profesional que me demostró que con esfuerzo todo se alcanza, a mi sobrino Carlos que es un hombre esforzado y valiente y a mi sobrina Camila que es una princesa de Dios.

A mi novia Carmen del Cisne que fue mi apoyo en cada paso de mis últimos niveles, por lidiar conmigo en momentos que estaba a punto de desistir, por demostrarme que todo se fundamenta en las pequeñas cosas y que amo con todo mi corazón

A mis hermanos Antony y Steven que sepan que todo sacrificio por más duro que sea al final tendrá una gran recompensa, los aliento a seguir una carrera que los apasionen y disfruten cada victoria y que aprendan de cada caída.

Luis Jesus Paucar Apupalo

Agradecimiento

A Dios por ser mi guía en cada momento de mi vida y por enviarme a personas buenas quienes me han llenado de mucho amor y me han ayudado a formarme personalmente, espiritualmente y académicamente.

A mis padres, por brindarme su apoyo incondicional, por inculcarme a ser una persona de bien, su ejemplo de vida, su sacrificio y sus valiosos consejos me han motivado día con día a superarme, gracias por preocuparse y cuidarme tanto, por desear siempre lo mejor para mí y celebrar mis logros por más pequeños que fuesen, se cuánto anhelan que aprovechemos las oportunidades que con su esfuerzo nos supieron brindar en la vida. A mis hermanos Darío y Victoria por acompañarme en noches largas de trabajo, por ser mi inspiración para no rendirme. Todos mis logros son gracias a ustedes

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a los docentes que son parte de la carrera de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente, por sus enseñanzas y aprendizajes que me llevo en mi corazón, en especial al Doctor Fabian Rodríguez quien estuvo presente desde el inicio hasta el final en la elaboración de este gran logro.

A mi amigo y novio Steven, gracias por estar en mis días malos y buenos, por preocuparte tanto por mí, porque nunca me permitiste rendirme cuando la situación era difícil y sobre todo por hacerme feliz.

A mi amiga y segunda mami Paty que la vida me regaló, llegue como una adolescente a tu vida y hoy gracias a tu cariño y consejos has sido parte importante de este gran logro tu quien ha creído en mí siempre, gracias por orar por mi y nunca dejarme sola.

A mis amigos Dianita V., Alejo T., Jos G., Aby G., Liz L., Kary Y., Sebas A., Luis P. Cris B., Geova G., Tami Z., Gabo T. y en especial a Luchito Paucar quien además de ser mi amigo fue un excelente compañero de tesis; ustedes me ayudaron en incontables ocasiones, con quienes he compartido risas, llantos, tardes de estudio en la biblioteca y tristezas, gracias por su apoyo y convertir a la universidad en lugar agradable y divertido, el camino no fue fácil pero gracias a ustedes fue mucho más bonita la batalla.

Y a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de esta gran aventura, con una palabra de aliento, con su consejo desinteresado o con su alegría, les doy gracias de corazón.

Mónica Graciela Morales Pisuña

Agradecimiento

A el Rey de Reyes, porque sus planes son mejores que los míos, gracias a su guía durante todo el proceso se llegó a culminar este ansiado objetivo, a EL sea toda la gloria.

A mis padres que fueron los pilares con los que se logró concluir esta meta, por darme la vida y aportar cada granito de arena que, aunque las circunstancias fueron distintas los amo de la misma manera ya que yo soy el fruto de sus consejos, de su ejemplo, de sus oraciones, de su disciplina infundida, de su dedicación y por darme la identidad en hacer las cosas correctas.

A mi novia Carmen del Cisne, por formar parte de mi vida, por ser quien vio más de cerca el proceso hasta su conclusión y apoyarme en todo momento con sus palabras de amor y su sabiduría.

A mis amigos que fueron parte del proceso académico y más allá de las aulas, amistad que se mantiene hasta el día de hoy en este sentido que esta amistad siga fortaleciéndose, a mi amiga Moni Morales que en conjunto logramos cumplir la ansiada meta que, aunque fue difícil tras muchas cosas que pasaron en el proceso, hoy es una realidad.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que gracias a los conocimientos de cada uno de los docentes de la carrera se pudo concluir con este trabajo, además gracias a nuestro Tutor Dr. Fabian Rodríguez que nos apoyó en toda la elaboración del presente trabajo y por motivarnos a terminar lo más pronto y alentarnos a alcanzar muchas más metas profesionales.

Y a cada persona que de una u otra manera apoyaron en la conclusión de este trabajo y del proceso académico, gracias a todos.

Luis Jesus Paucar Apupalo

Índice de Contenido

Certificación	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	8
Índice de Contenido	10
Índice de Tablas	13
Índice de figuras.....	14
Resumen.....	15
Abstract	16
CAPITULO I.....	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema.....	20
Justificación e importancia	22
Objetivo General	23
Objetivos Específicos	23
Metas.....	24
CAPITULO II.....	25
Marco Teórico	25
Modelamiento	28

Modelamiento HEC-HMS	28
Modelación Hidráulica	35
Modelación hidráulica de afluentes con HEC-RAS	35
Ecuación de la continuidad	36
Ecuación de la energía.....	36
Ecuación de momento.....	37
Aplicación de los SIG en el modelamiento hidráulico	39
Análisis coste-beneficio (ACB)	40
Base Legal	43
CAPITULO III.....	46
Metodología	46
Descripción del área de estudio	46
Características geográficas del área de estudio.....	47
Figura 6.....	51
Recopilación de la información.....	51
Proceso para la elaboración del Modelo de Aluviones	52
Zonas de influencia	85
Análisis Costo Beneficio.....	86
CAPITULO IV	90
Resultados	90
Obtención de datos	90

Modelamiento de datos (HEC-RAS).....	92
Área de afectación.	93
Análisis costo beneficio	99
Análisis y discusión de resultados	117
CAPITULO V	121
Conclusiones	121
Recomendaciones	122
Bibliografía	124
Apéndices	135

Índice de Tablas

Tabla 1 Elementos hidrológicos del modelo de cuenca	30
Tabla 2 Valores del número de Manning	38
Tabla 3 Reclasificación del mapa de suelo	59
Tabla 4 CN en función del grupo hidrológico y uso del suelo	60
Tabla 5 Reclasificación de la variable de cobertura.....	62
Tabla 6 Metodología utilizada para el cálculo del CN ponderado.....	65
Tabla 7 Ecuaciones de estación de intensidad M0024 QUITO INAMHI-IÑAQUITO	67
Tabla 8 Intensidades máximas de la estación Iñaquito	67
Tabla 9 Ecuaciones de intensidad de precipitación Estación Iñaquito para cualquier periodo de retorno	69
Tabla 10 Intensidades máximas de precipitación	69
Tabla 11 Estación hidrológica empleada como punto de control	70
Tabla 12 Hietograma de diseño para periodo de retorno de 2 años	71
Tabla 13 Parámetros utilizados para el modelamiento de la subcuenca.....	74
Tabla 14 Tipos de modelos meteorológicos	76
Tabla 15 Área de afectación urbana para distintos periodos de retorno.....	93
Tabla 16 Pérdidas económicas anuales en hospedaje para el escenario 4 (25 años)	99
Tabla 17 Pérdidas económicas anuales en alimentación para el escenario 4 (25 años) ...	100
Tabla 18 Pérdidas económicas anuales en operación turística para el escenario 4 (25 años)	101
Tabla 19 Perdidas de vivienda y propiedad por m2 para el escenario 4 (25 años).....	103
Tabla 20 Perdidas de lotes por m2 para el escenario 4 (25 años)	104
Tabla 21 Valor por m2 de lotes dentro de la zona urbana de Mindo	105
Tabla 22 Padrón urbano de áreas comunales y espacios abiertos	107
Tabla 23 Costo de construcción de la zona residencial para el reasentamiento de la zona urbana de Mindo	108
Tabla 24 Costo de construcción del área de hoteles para el reasentamiento de la zona urbana de Mindo	109
Tabla 25 Pérdidas económicas estimadas si ocurre aluvión en el centro urbano de la parroquia Mindo asumiendo tiempos de retorno de 2 años (Escenario 1), 5 años (Escenario 2),10 años (Escenario 3),25 años (Escenario 4)	114
Tabla 26 Costos de construcción.....	115
Tabla 27 Relación costo evitado/reasentamiento.....	116

Índice de figuras

Figura 1 Interfaz gráfica en HEC-HMS de los elementos del modelo de la subcuenca.....	31
Figura 2 Comportamiento de un hidrograma.....	34
Figura 3 Área de estudio del centro urbano de Mindo.....	46
Figura 4 Columna sedimentaria de un depósito aluvial	49
Figura 5 Columna sedimentaria de un depósito coluvial	49
Figura 6 Metodología del proyecto de investigación	51
Figura 7 Metodología para generar un DEM	53
Figura 8 Esquema de las operaciones que conducen a determinar la subcuenca del río Mindo.....	55
Figura 9 Esquema de las operaciones que conducen a determinar el número de curva	56
Figura 10 Mapa del número de curva en función del uso de suelo y grupo hidrológico del suelo del río Mindo	64
Figura 11 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia.....	68
Figura 12 Representación del Hietograma para un periodo de retorno de 2 años	72
Figura 13 Gráfico del hietograma de diseño periodo de 2 años	78
Figura 14 Hidrograma de crecida para un periodo de retorno de 25 años	80
Figura 15 Zona de afectación periodo de retorno 2 años.....	85
Figura 16 Shapefile de lotes y construcciones de la zona urbana de la parroquia rural de Mindo.....	91
Figura 17 Shapefile de la zonificación de suelo de la zona urbana de la parroquia rural de Mindo.....	91
Figura 18 Modelo digital de elevaciones de la subcuenca del río Mindo	92
Figura 19 Modelo de aluviones para un periodo de retorno de 25 años en HEC-RAS.....	93
Figura 20 Zona de influencia por aluvión para un periodo de retorno de 2 años en la zona urbana de la parroquia Mindo.....	94
Figura 21 Zona de influencia por aluvión para un periodo de retorno de 5 años en la zona urbana de la parroquia Mindo.....	95
Figura 22 Zona de influencia por aluvión para un periodo de retorno de 10 años en la zona urbana de la parroquia Mindo.....	96
Figura 23 Zona de influencia por aluvión para un periodo de retorno de 25 años en la zona urbana de la parroquia Mindo.....	97

Resumen

Debido al cambio climático existe una elevación de intensidad y frecuencia en sucesos tanto de precipitación como de temperatura, por tal motivo son recurrentes los fenómenos naturales como aluviones, siendo un aluvión impredecible es de gran importancia realizar estudios de gestión de riesgos con el fin de reducir y mitigar la vulnerabilidad poblacional en zonas aledañas, sumado a la existencia de asentamientos humanos al costado de causas y zonas propensas a inundación, acompañada por la carencia de un adecuado ordenamiento territorial y uso de suelo. En el presente estudio se realizó la valoración económica en función del modelamiento de un aluvión para diferentes periodos de retorno en el Cantón San Miguel de los Bancos dentro de la zona urbana de la parroquia Mindo donde se obtuvieron valores reales en cuanto al área de afectación y el valor económico de daños a elementos expuestos, partiendo de estos resultados se generó un proyecto de reasentamiento con la metodología costo beneficio, que permitió proponer zonas de protección en la franja hídrica e identificar los límites urbanos en zonas de riesgo. Como resultado de la simulación se obtuvo cuatro escenarios dentro de los cuales el escenario de mayor afectación abarca un área de 440608,13 m² siendo su valoración por pérdidas económicas de USD 121.137.918,99 además mediante la relación costo-beneficio se determinó que el costo de reasentamiento es de USD 95.624.974,24 y es favorable para los escenarios de 10 y 25 años. En definitiva, por la situación actual que la parroquia Mindo presenta con respecto a un posible escenario de aluvión, se recomienda fortalecer el control de nuevas construcciones dentro de la franja de protección hídrica y proponer un plan de mitigación por parte del GAD San Miguel de los Bancos.

Palabras claves: aluvión, costo-beneficio, fenómenos naturales, precipitación, mitigación

Abstract

Due to climate change there is an increase in frequency and intensity of both precipitation and temperature events. As a result, natural phenomena such as floods, being an unpredictable flood it is of great importance to carry out risk management studies in order to mitigate and reduce the vulnerability of the population in surrounding areas. Moreover, the presence of human settlements next to river flows and floodplains of rivers, accompanied by the lack of planning of growth and land use worsens population vulnerability. In the present study, an economic evaluation was made based on the flood modeling for different periods of return in the San Miguel de Los Bancos Canton within the urban area of the Mindo parish where real values were obtained in terms of the area of affectation and the economic value of damage to exposed elements, Based on these results, a relocation project was generated with the cost-benefit methodology, which allowed to propose protection zones in the water strip and identify urban limits in risk areas. As a result of the simulation, four scenarios were obtained within which the scenario of greater affectation covers an area of 440.608,13 m² being its valuation for economic losses of USD 121.137.918,99 in addition, through the cost-benefit analysis it was determined that the cost of resettlement is USD 95.624.974,24 and is favorable for the scenarios of 10 and 25 years. In short, due to the current situation that the Mindo parish presents with respect to a possible flood scenario, it is recommended to strengthen the control of new constructions within the water protection strip and propose a mitigation plan by the GAD San Miguel de Los Bancos.

Keywords: alluvium, cost-benefit, natural phenomena, precipitation, mitigation

CAPITULO I

En este capítulo se describe los antecedentes históricos de los fenómenos naturales ocurridos y las afectaciones a la zona de estudio, además se describe el problema y la justificación por lo cual se realizó el planteamiento de los objetivos y metas que se llevaron a cabo.

Antecedentes

Un hecho importante es el cambio en las condiciones meteorológicas que se están dando en los últimos años, diversos estudios establecen cierta correlación entre la frecuencia con la que ocurren estos fenómenos y el cambio climático (IPCC, 2014), acompañado del crecimiento exponencial de la poblacional y su distribución incrementa la probabilidad de que exista un impacto en el ecosistema, actividades comerciales agrícolas, pecuarias, marinas o turísticas (Serrano y otros, 2016) . Existen estudios relacionados con aluviones, tal es el caso en Perú donde determinan los niveles de riesgo por aluvión en función de elementos condicionantes y desencadenantes, que por medio de observaciones e interpretaciones geológicas elaboran un modelo, (Instituto Nacional de Investigaciones en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM, 2020). Sin embargo, en Argentina se desarrolló un análisis para el diseñar obras de control generando simulaciones hidrológicas en función de modelos matemáticos y de esta manera calcular la eficacia de diversas técnicas de control por medio de simulaciones de diversas opciones de obras y elegir la de menos costosa (Dufilho y otros, 2001). Un caso similar es el estudio realizado por Monserrat (2005) el cual realiza un análisis empírico en función de la dinámica de flujos detríticos y su relación con diversos impedimentos que se encuentran al paso del flujo simulando obras de protección; estudios que pueden ser complementados con un adecuado análisis económico.

Debido a su situación geodinámica y su posición geográfica Ecuador está propenso a desastres naturales (Demoraes & D'ercole, 2001). El Cinturón de Fuego que circunda las costas del Pacífico conserva una constante actividad volcánica y por ende sísmica (Toulkeridis, 2015). Sumado a esto, por su característica meteorológica de altas precipitaciones que se dan principalmente en las zonas bajas de los andes como es el caso de la provincia de Esmeraldas donde las precipitaciones llegan hasta los 3000 mm anuales que por lo contrario en la costa sur ecuatoriana en la provincia de Santa Elena sus precipitaciones anuales son inferiores a los 500mm (Cedeño & Donoso, 2010), esto entre cosas provoca que el territorio tenga una diversidad de ecosistemas, pero además que este propenso y vulnerable a los peligros naturales y la existencia de los fenómenos meteorológicos tales como el fenómeno cálido El Niño y frío La Niña (Coronel & Buñay, 2018). En el Ecuador, se constata un incremento de temperatura, aluviones recurrentes, inundaciones y sequías, una intensificación y alteración de los esquemas de precipitación y derretimiento de glaciares (Muñoz y otros, 2010).

Al vivir en un país enormemente sujeto a la ocurrencia de eventos adversos se puede examinar que se debe investigar alternativas preventivas y contingentes en respuesta a probables emergencias tomando en cuenta los sucesos históricos que nos permiten establecer un parámetro de inicio para probables escenarios tangenciales (Pauker, 2014).

Sin importar su origen, los aluviones han tenido consecuencias como la pérdida de vidas humanas además de afectaciones al transporte, comercio, la salud, movilidad, entre otros; generando un alto precio de atención y crecimiento en los costos variables y fijos de los procesos de recuperación y afectaciones (Carvajal y otros, 2016).

En el Ecuador los aluviones tienen una presencia recurrente. Una de las principales razones son las precipitaciones estacionales, debido al alto grado de sedimentación, este fenómeno se ve agravado por el desarrollo de centros poblados los cuales ocupan las riberas de los ríos para actividades económicas del sector primario (Carvajal y otros, 2016).

En los Cantones del noroeste de Pichincha, debido a la actividad económica del turismo se da asentamientos humanos en zonas críticas tal es el caso de construcciones dentro de la franja hídrica, haciendo que la presencia de un aluvión pueda afectar en gran medida especialmente a los Cantones de San Miguel de Los Bancos y Puerto Quito, donde es aprovechado el cauce de los ríos para operaciones turísticas, de esta manera aumentando el nivel de riesgo gracias a sus condiciones físicas a más de la permeabilidad de suelos que es relativamente baja. Mindo se localiza en una zona con una susceptibilidad media a aluviones debido a las altas cantidades de precipitaciones anuales provocando el desborde de cauces (Gobierno de la Provincia de Pichincha, 2011).

Debido a altas precipitaciones y a deslizamientos de tierra en épocas lluviosas que van de marzo a mayo y de octubre hasta diciembre causa el recurrente desbordamiento del río Canchupi mismo que afecta a la cabecera parroquial de Mindo y específicamente los barrios de la Virgen del Cisne y Magdalena, uno de los eventos que generó más daño fue en el año 2013, situación por la cual el Centro de Operaciones de Emergencia (COE) de Pichincha analizó coordinar el plan de contingencia frente a efectos ocasionados por la lluvia en la población de Mindo (SNGRE, 2021).

Planteamiento del problema

Ecuador está localizado dentro de la Zona de Convergencia Intertropical produciendo amenazas de procedencia hidro-meteorológicas (Aluviones, efectos del fenómeno de El Niño, tormentas, sequías, heladas, entre otros.). Debido a las condiciones geomorfológicas se ve afectado por procesos naturales como erosión, flujos de lodos, deslizamientos que tienen efectos negativos para la sociedad (FLACSO, 2008).

De entre los diversos fenómenos naturales, los aluviones son considerados uno de los más peligrosos. Estudios anteriores indican que los aluviones e inundaciones son los desastres naturales con más porcentaje de víctimas llegando a un 40% en relación al número de víctimas por otros desastres naturales (SENAMHI, 2019).

A esto se suma la existencia de asentamientos humanos a orillas de llanuras y cauces propensas a inundaciones en compañía de flujos de sedimentos, condicionada por la carencia de planificación de uso del suelo y del crecimiento urbano, además de las características socioeconómicas poblacionales, aumentando el nivel de riesgo por aluviones e incrementando la vulnerabilidad (Carvajal y otros, 2016).

De acuerdo con la secretaria nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) en los años 2020 y 2021 han ocurrido 127 aluviones arrastrados por una ladera, quebrada o cauce, donde el 69% se produjo en la Sierra, 19% en la Amazonia y 12% en la región Costa. Este fenómeno ocurre con frecuencia en Ecuador, esto debido principalmente a la topografía y condiciones meteorológicas que se presentan en zonas cercanas a la cordillera de los Andes.

El noroeste de la provincia de Pichincha, presenta estribaciones con pendientes fuertes que oscilan en un 50% a 70%, susceptibles a erosión y deslave, sin embargo,

existen pequeñas áreas en los cauces de los ríos donde las pendientes van de 5% a 25% (GAD Municipal San Miguel de los Bancos, 2019). De modo que, la humedad relativa mensual del 88.5%, alcanza su valor máximo de 90% en febrero, mayo y junio y una mínima del 85% para el mes de noviembre.

La parroquia Mindo correspondiente al cantón San Miguel de los Bancos que se encuentra al noroeste de la provincia de Pichincha ha sufrido la acción negativa recurrente de aluviones en los años comprendidos del 2011 al 2022, esto debido principalmente a la cantidad de humedad presente en el área, a la susceptibilidad a erosión y a sus fuertes precipitaciones que son características de su ubicación geográfica (SNGRE, 2022).

Son más de 100 personas que han sido afectadas por aluviones (SNGRE, 2021). EL mayor impacto por aluvión en la población se dio en el año 2013 afectando a 54 personas que perdieron sus viviendas (SNGRE, 2013). El evento más reciente fue el 20 de febrero del 2022 donde fueron afectadas 3 viviendas, tres automotores pesados además de 1 puente que resulto anegado (SNGRE, 2022). Tomando en cuenta la recurrencia de los aluviones y el impacto que han venido ocasionado con sus altas intensidades de precipitaciones se plantean diferentes escenarios para evaluar los daños que podrían ocasionar, tanto en área de afectación como en una valoración económica de pérdidas para la población y la propiedad, esto permitirá el desarrollo de normativas, programas de prevención y mitigación por parte del GAD Municipal dado que actualmente no dispone con una ordenanza que permita el correcto ordenamiento territorial a nivel de construcciones en áreas de riesgo.

Justificación e importancia

La parroquia Mindo se asienta al noroeste de la provincia de Pichincha, por sus características físicas del terreno la coloca en un estado de vulnerabilidad frente a aluviones que en la zona urbana ya han cobrado bienes materiales (SNGRE, 2013). La parroquia se encuentra vulnerada en la zona centro y suroeste de Mindo corriendo riesgo por la presencia de movimientos en masa, alrededor de los ríos Mindo y Canchupi.

Por otro lado, el río Mindo, se encuentra en la zona de alto peligro, la cual podría ser afectada por aluviones y flujos de lodo los cuales pueden viajar a largas distancias. Para el año 2019, el SNGRE realizó un estudio de la amenaza por aluviones en los litorales del Río Canchupi, donde para la fecha más de 100 familias se encontraban dentro de las zonas más vulnerables (SNGRE, 2021).

El crecimiento poblacional y asentamientos a orillas de los ríos se da principalmente debido a la afluencia turística que la parroquia posee donde, aproximadamente el 40% es de las Cordilleras de Nambillo y del Bosque Protector Montañas de Mindo en donde llegan a tener 8.524 Ha, este bosque es catalogado como una de las zonas de gran importancia en la avifauna, albergando especies emblemáticas como la pava del monte y el oso de antejo. La parroquia de Mindo dispone de una excepcional biodiversidad a nivel regional, y a nivel de América Andina es considerada como referente principal para impulsar el turismo ecológico o ecoturismo en Ecuador, por lo que está albergada en cuatro ecosistemas de bosques siempre verdes, es así que en 1996 se la declaró como el primer Important Bird Area, por lo tanto, se lo considera como el primer santuario de aves en Sudamérica (Maldonado & Rueda, 2007), dando renombre a la población de Mindo y por ende a su cantón considerado como “La Capital Mundial de las Aves”.

Como se ha enfatizado la parroquia Mindo dispone de varias cualidades que la hacen llamativa, desembocando en la obligación de identificar la amenaza de aluviones que puede ser parte este territorio con una belleza paisajística y cultural del entorno.

Simultáneamente el reconocimiento permite demarcar y situar las áreas en donde es indispensable tomar acciones que consideren la limitación o prohibición de actividades tales como la construcción de infraestructura, actividades dedicadas a la ganadería y agricultura, y así salvaguardar la vida de los habitantes y turistas.

En definitiva, en cumplimiento a las metas del objetivo 11 de las Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es una prioridad valorar económicamente en función del análisis costo beneficio la afectación por aluviones, para determinar los daños potenciales que pudieran causar a nivel local según su extensión y el nivel de afectación a los elementos expuestos siendo así un aporte a los esfuerzos de los organismos de atención de emergencia que operan a nivel parroquial, cantonal y provincial consecuentemente se tome las medidas necesarias para limitar su impacto.

Objetivo General

Determinar el impacto económico de las zonas de afectación generadas por un modelo de aluviones mediante los softwares HEC-RAS, ArcGis y análisis beneficio costo, en el sector comprendido entre la microcuenca del río Mindo, y el centro urbano de la parroquia Mindo, para prevenir su potencial daño.

Objetivos Específicos

- Analizar la información existente en el área de trabajo mediante revisión bibliográfica e información proporcionada por los servicios de socorro locales para la elaboración del modelo de aluviones en HEC-RAS
- Determinar el área de influencia mediante el modelo Hidrológico de aluviones

HEC-RAS en función de los elementos expuestos (edificaciones de interés público y privado, áreas urbanas, zonas de actividad agrícola, entre otros.)

- Evaluar el impacto económico mediante la relación Costo Beneficio para el área de amenaza por aluviones.
- Desarrollar las bases para una propuesta de estrategias de tratamiento de riesgo a fin de reducir pérdidas socioeconómicas.

Metas

- Una geodatabase con el registro histórico que han amenazado a la zona utilizando la información preexistente e información geográfica
- Una base de datos hidrológica de las variables para el cálculo y determinación del modelo de inundaciones.
- Cuatro mapas de amenaza de la zona de afectación por aluviones en diferentes periodos de retorno a escala 1:5 000
- Valoración económica, social y ambiental de los elementos expuestos.
- Un informe debidamente estructurado donde constara la metodología utilizada y la explicación de los resultados obtenidos con las bases para una propuesta de tratamiento de riesgos.

CAPITULO II

En el desarrollo de este capítulo se expone la importancia en cuanto a la modelación de desastres naturales y la valoración económica de las áreas de afectación. A su vez la sustentación teórica de la metodología aplicada en la modelación de un aluvión en el área urbana de la parroquia Mindo en conjunto con el análisis costo beneficio del proyecto de reasentamiento.

Marco Teórico

Los desastres naturales abarcan a diferentes fenómenos y lo que estos ocasionan, siendo estos resultados de procesos externos de la tierra y de las variaciones presentes en la naturaleza en función del tiempo. Tomando en cuenta esto, los fenómenos se originan en territorios o sitios y tiempos, basado en leyes de los procesos naturales de la tierra (Tejada, 2012). Es así que llamamos desastres naturales a los fenómenos peligrosos o catastróficos.

Para Ramírez (2014) considera que: “En su mayoría, los desastres naturales son difíciles de predecir con absoluta precisión del momento (día y hora), lugar e intensidad que tienen lugar” (p.43).

Los desastres naturales han ido ocurriendo en numerosas ocasiones a través de la historia y continuaran siendo recurrentes, por tal manera, es de gran importancia conocer la presencia de los fenómenos naturales, debido a que, es incierto predecir a qué hora y cuándo puede suceder un desastre natural es posible estar capacitados y prevenidos en diferentes desastres naturales existentes, siendo que el termino desastre natural sea directamente proporcional a pérdidas humanas y materiales (Organización de los Estados Americanos, 1991).

Existen varios fenómenos de origen natural que se dividen en los producidos por fuerzas que participan en los procesos dinámicos internos de la tierra como vienen hacer los sismos, tsunamis, erupciones volcánicas; así como los procesos dinámicos externos de la tierra como son movimientos de masa y los fenómenos hidrometeorológicos y oceanográficos como inundaciones, aluviones, sequias, entre otros (CENEPRED, 2014).

Ecuador por a su posición geográfica y su situación geodinámica conjuntamente con su falta de política de prevención hace que sea un país mega-vulnerable de la misma manera por su característica meteorológica e hidrológica hace que el país albergue una gran diversidad de ecosistemas, y en consecuencia se vea vulnerable y propenso a riesgos de origen natural (Almeida, 2010); además de temporadas lluviosas o secas, alteraciones climáticas, y la presencia de los fenómenos meteorológicos de “La Niña” y “El Niño”.

El Ecuador presentan una mayor probabilidad de presencia de desastres naturales en Latinoamérica debido a la existencia amenazante de sismicidad, volcanismo, movimientos en masa, inundaciones (Banco Mundial, 2021); es así que con los cambios climáticos, sobre un lugar, pueden provocar impactos negativos ambientales y socioeconómicos considerables en la sociedad (INAMHI, 2017).

Uno de los desastres naturales que causan pérdidas humanas y económicas es el aluvión. Un aluvión se conforma por material suelto que es arrastrado por un flujo de barro generado por deslizamientos donde aumenta el caudal del río, este puede desplazarse grandes distancias a partir de su origen, a medida que avanza pendiente abajo aumenta su tamaño y velocidad transportando hojas, rocas, árboles, ramas y otros elementos (Bravo & García, 2017)

Estudios anteriores indican que los aluviones e inundaciones forman parte de los desastres naturales con alto porcentaje de víctimas llegando a un 40 % en relación con el número de víctimas que acarrearán los diferentes desastres naturales (SENAMHI, 2019).

Este tipo de fenómenos son difíciles de predecir, principalmente debido a la serie de factores que lo generan, porque no siempre fuertes lluvias en cortos periodos de tiempo son sinónimos de aluviones, ya que además existen factores de interés, los cuales tienen que ver con la topografía del lugar y la forma del río o cauce entre otros (INAIGEM, 2020).

Es importante mencionar que los aluviones ocurren en cortos periodos de tiempo, es decir que en pocos minutos recorren una gran cantidad de kilómetros, por lo cual no se pueden hacer evacuaciones en el momento que ocurre el desastre natural, esto ha generado la gran pérdida de vidas humanas (Orellana, 2021)

Además otro hecho importante es el cambio en las condiciones meteorológicas que se están dando en los últimos años, diversos estudios establecen cierta correlación entre la frecuencia con la que ocurren estos fenómenos y el cambio climático (IPCC, 2014). En Ecuador se ha observado un aumento sostenido en los últimos años que tienen cierta conexión con el fenómeno cálido de “El Niño”, este genera cambios en la temperatura superficial de las aguas, por lo cual afecta de cierta manera a las temperaturas de las corrientes de aire en las costas y a la caída de fuertes precipitaciones (Vargas y otros, 2000).

Uno de los principales parámetros físicos para que se genere un aluvión son: el caudal, la velocidad y la altura que posee (INAIGEM, 2020). Cabe mencionar que este fenómeno es acumulativo, es decir a medida que avanza va arrastrando más material,

esto hace que aumente su volumen y masa, y en consecuencia hace que el fenómeno sea aún más destructivo.

Si bien existe un amplio conocimiento sobre aluviones, aun no se ha abarcado el campo de las simulaciones de manera detallada, es decir que se aproximen al desarrollo del escurrimiento. Dentro de los trabajos que más se han acercado a este tipo de fenómenos, es el estudio de avalanchas de nieve en Suiza (Gruber & Bartelt, 2007).

Modelamiento

Un modelo, describe a un sistema de una manera simplificada y entendible el cual es utilizado para explicar el comportamiento, así como representa los aspectos esenciales de un evento para realizar cualitativas o cuantitativas (Orellana, 2021). Es así como el objetivo de los modelos matemáticos es la predicción de las salidas del sistema por lo tanto determinan los hidrogramas de avenida en cualquier punto de la cuenca de estudio.

Modelamiento HEC-HMS

Cabe mencionar que los modelos hidrológicos dependen del flujo de los fluidos en canales abiertos; que con la fuerza de gravedad estos fluyen, es decir presentan una superficie que tiene contacto con la atmosfera, donde las fuerzas específicas de presión que se van a ejercer sobre el líquido es la presión atmosférica y su propio peso (Chow, Flujo en canales abiertos y su clasificación, 1994). En la naturaleza existen canales abiertos como ríos, arroyos, entre otros.

Los modelos hidrológicos de cuencas mayores a 2.59 km², en este caso la subcuenca abarca una superficie de 40.06 km², en la mayoría de casos se trabaja empleando métodos determinísticos, eso no implica que puede resultar complicado la

determinación de las abstracciones hidrológicas, esto debido a los criterios que condicionan el paso en la distribución del tiempo y espacio de las tormentas, los cauces se verán reflejados como el máximo pico de la avenida, llegando a ser difíciles ya que demandan de una estimación minuciosa (Ramos, 2010).

Entre los modelos hidrológicos está el utilizado en este estudio y se fundamenta en la plataforma Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), ya que esta plataforma está diseñada para realizar simulaciones del proceso lluvia-escurrimiento en cuencas hidrográficas, considerando diferentes alternativas en el momento de describir los procesos de evapotranspiración, infiltración, humedad del suelo y deshielo; además se puede aplicar en un amplio rango de zonas geográficas y puede ser usado como en cuencas de diferentes tamaños o en las urbanas.

Por otro lado, utiliza métodos lineales o agregados donde transforma la esorrentía distribuida, sistema de optimización de parámetros y opciones de tránsito hidrológico, sus resultados pueden ser aplicados en trabajos de abastecimiento de drenaje urbano, agua, impacto en el cambio de uso de suelos, observaciones de flujos y vegetación, operaciones de sistemas, reducción del daño por aluviones, entre otros. La simulación trabaja en referencia a un conjunto de tres datos que son incorporados por los usuarios (US Army Corps of Engineers, 2016).

Adicionalmente se utiliza el modelo de la cuenca que incluye los datos que conectan a los elementos hidrológicos y sus parámetros, tales como el número de curva de las subcuencas, la metodología de tránsito de avenidas con los cauces, las uniones entre cauces y el tiempo de retraso o lag time, estos elementos (Tabla 1) utilizan como base expresiones matemáticas para representar los procesos de la subcuenca en aspectos físicos (Figura 1) y estas operaciones se calculan de aguas arriba hacia aguas abajo (Hernández & Patiño, 2018).

Tabla 1*Elementos hidrológicos del modelo de la subcuenca*

Elemento	Descripción
Subbasin (Subcuenca)	Es usado para representar físicamente a la cuenca. Con una precipitación dada, el flujo de salida de la subcuenca se determina transformando el excedente de precipitación y quitando las pérdidas de precipitación en escurrimiento considerando el caudal base.
Reach (Tramo)	Se usa para representar el caudal de salida en el modelo de la subcuenca. El caudal de acceso a este factor puede provenir de uno o diversos recursos aguas arriba. El caudal de salida es determinado con base al hidrograma de acceso y al tránsito.
Junction (Unión)	Es usado para enlazar el caudal que procede de uno o diversos componentes hidrológicos aguas arriba. El caudal de salida es determinado al sumar cada una las entradas aguas arriba y tomando en cuenta la no existencia de almacenamiento en este elemento.
Source (Fuente)	Es utilizado para ingresar el caudal en la subcuenca. El caudal de salida es establecido por el usuario.
Sink (Salida)	Es utilizado para representar la salida de la subcuenca de una manera física. La caudal agua arriba de este elemento deriva de uno o diversos elementos para el caudal de aguas arriba. No existe caudal de salida para este elemento.

Reservoir (Depósito) Es usado para la modelación de la atenuación y detención de un hidrograma por efecto de un depósito, estanque de detención o embalse. El caudal de entrada puede derivarse de uno o varios componentes hidrológicos aguas arriba.

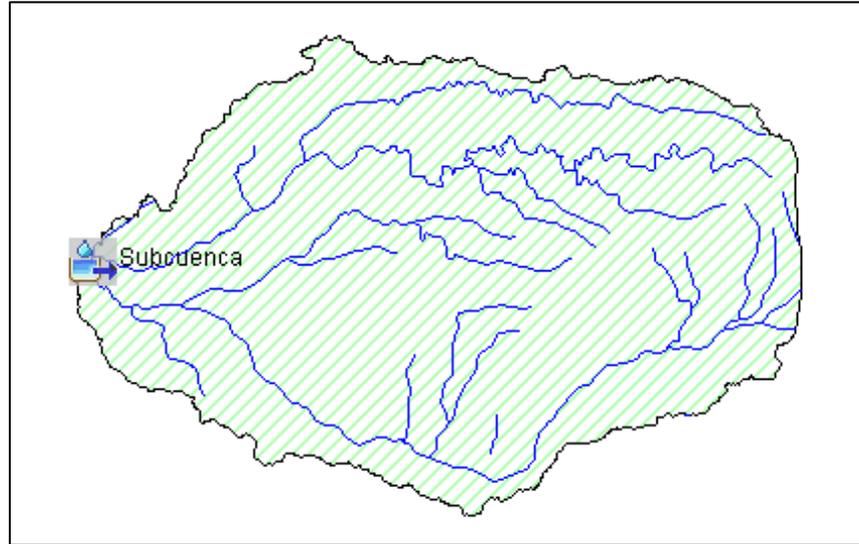
Diversión (Derivación) Se utiliza para el modelamiento del caudal que abandona el cauce principal. La entrada puede derivarse de uno o diversos componentes hidrológicos aguas arriba. En donde la salida de este elemento reside en: un caudal desviado, y el caudal que no derivado (siguiente en el cauce principal)

Nota. Tomado de Manual para el uso de modelo hidrológico HEC-HMS, Hernández & Patiño, 2018 (Hernández & Patiño, 2018)

HEC-HMS estima los procesos en base a distintos métodos, tales como: la Onda Cinemática, Muskingum, Muskingum-Cunge, Straddle Stagger y Pulso Modificado con relación al flujo de avenidas en los cauces.

Figura 1

Interfaz gráfica en HEC-HMS de los elementos del modelo de la subcuenca



El método de Muskingum se utiliza para la calibración requiriendo como datos un hidrograma de salida y otro de entrada, por ende se utilizan dos parámetros, donde el primero en ser utilizado se lo denomina constante de almacenamiento "K" y se refiere a la duración de la rapidez de la onda en el transcurso del segmento; posteriormente el parámetro "x" se lo considera adimensional ya que se refiere a la importancia que se a los caudales de salida y de entrada, este parámetro fluctúa de 0 cuando solo existe almacenamiento y 0.5 cuando existe translación (Campos, 2010)

Los parámetros K y x se determinan en función a las fórmulas (1) y (2) (Cunge, 1969):

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad (1)$$

En donde:

Δx : Longitud de tramo (Intervalo de espacio)

c : celeridad de la onda

$$x = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{q}{S_0 c \Delta x} \right) \quad (2)$$

En donde:

q : caudal unitario

S_0 : pendiente del río o corriente

Además, se desarrolló un modelo de precipitación el cual contiene la información requerida para procesarla como los datos meteorológicos, es decir se necesita el hietograma específico, calculado de la estación meteorológica seleccionada, además del modelo de evapotranspiración.

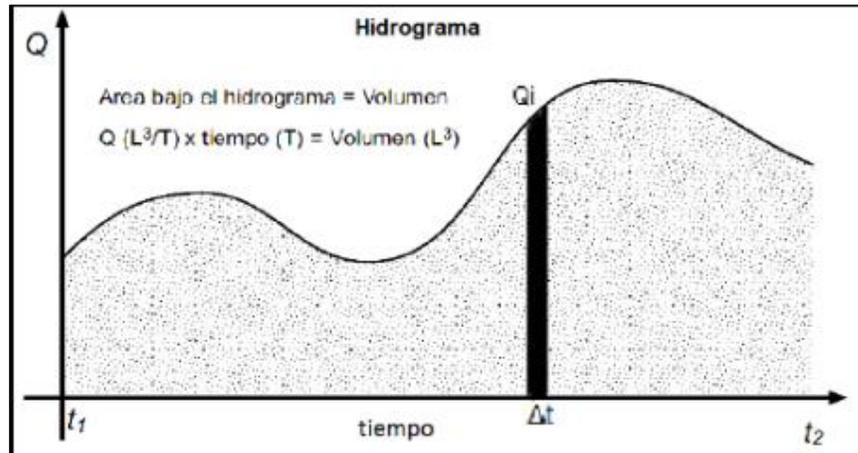
La plataforma HEC-HMS a través de diferentes métodos permite determinar las abstracciones tales como Soil Moisture Accounting, Curva Numero del SCS, Smith Parlange , initial/constant, Curva Numero Gridded SCS y Green and Ampt .

Mientras tanto la transformación de precipitación a escorrentía es realizada en función a métodos distribuidos y agregados. El método agregado calcula la precipitación utilizando hidrogramas unitarios los cuales pueden ser el método de la onda cinemática o SCS o, Snyder, Clark (Orellana, 2021).

Cabe mencionar que los hidrogramas representan el funcionamiento del caudal en función del tiempo (Figura 2). Donde el área bajo la curva representa el intervalo de tiempo donde pasa un volumen específico. Siendo las divisorias de drenaje y la estructura de la subcuenca los factores que determinan la forma del Hidrograma (Carpio, 2018).

Figura 2

Comportamiento de un hidrograma



Fuente: (Cedillo & Guerrero, 2010)

Se seleccionó el método SCS (Soil Conservation Service) que consiste en dividir en dos grupos la lluvia que precipita sobre la subcuenca: la lluvia transformada en escorrentía directa y la lluvia infiltrada. La transformación del hidrograma de crecida se da por la escorrentía directa en la salida de la subcuenca (Bateman, 2007).

De acuerdo con Fattorelli y Fernández (2011), este método es utilizado en mayor frecuencia en comparación a otros métodos debido a su comprensión y factibilidad de resolución y generando resultados de mayor confiabilidad.

Para que el modelo pueda ser generado se necesita de las especificaciones de control los cuales tienen que ver con el intervalo de duración en la que va hacer realizada la simulación como la fecha de término y la fecha de inicio, también como el tiempo en la que realiza los cálculos el software realiza. Estos cálculos son más confiables al utilizar intervalos de tiempo menores.

Modelación Hidráulica

La modelación hidráulica es utilizada para solventar problemas que están relacionados con la regulación de ríos, transporte de sedimentos o aluviones y estructuras hidráulicas (Orellana, 2021). Se los puede dividir en modelos físicos, analógicos y matemáticos, en el presente estudio se utilizó un modelo matemático y estos modelos se los puede clasificar en estocásticos, determinísticos y modelos de simulación numérica los cuales emplean condiciones iniciales de borde y ecuaciones diferenciales.

Estos modelos son generados a partir del estudio de la hidrología fluvial, los cuales se centran en el estudio del curso de agua y la variación que este presenta dos secciones transversales contiguas a en transcurso del flujo del cauce. Estos cambios hacen referencia a la variación que puede presentar un caudal y a las precipitaciones en función del tiempo que generalmente se establece en un año.

Modelación hidráulica de afluentes con HEC-RAS

Hydrological Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS) es una aplicación informática para la modelación hidráulica que admite realizar cálculos de flujo estacionario unidimensional, flujo no estacionario de una y dos dimensiones, computo de transporte móvil de sedimentos y modelado de temperatura y calidad del agua (US Army Corps of Engineers, 2016).

Además, admite editar las secciones transversales incluyendo estructuras hidráulicas, los resultados de simular un aluvión permiten la observación de la altura y la rapidez en la que son transportados los sedimentos representados en esquema de perfil para todo el tramo a modelarse, basándose principalmente en las expresiones

matemáticas de Saint Venant y onda difusiva las mismas que se resuelven empleando el algoritmo de volúmenes finitos implícitos.

Ecuación de la continuidad

La ecuación (4) explica la conservación de la masa en un sistema de una dimensión.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (3)$$

Donde:

X : Es la distancia a lo largo del canal

t : Tiempo

Q : Flujo

A : Área de la sección transversal

S : Almacenamiento de porciones de sección transversal no transportadas

q_1 : Flujo de entrada lateral por unidad de distancia

Ecuación de la energía

Al resolver la ecuación de la energía donde intervienen dos secciones contiguas se estableces los perfiles de flujo llevando a cabo un método iterativo conocido como método del paso estándar.

Según Ven Te Chow (1994): "La energía total que pasa por una sección de canal se puede expresar como la altura total de agua, que es igual a la suma de

elevación por encima del nivel de referencia, la altura de presión y la altura de velocidad” (p.40).

La ecuación de la energía está dada por:

$$Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{V^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{V^2}{2g} + hf \quad (4)$$

Donde:

Z_1, Z_2 : Son elevaciones del cauce en la sección

Y_1, Y_2 : Elevación del agua en la sección

V_1, V_2 : Velocidades promedios

α_1, α_2 : Coeficientes de velocidad

g : Aceleración de la gravedad

hf : Pérdida de energía

Ecuación de momento

Esta ecuación establece que la tasa de variación en el instante es equivalente a las fuerzas externas que operan en el sistema.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (5)$$

Donde:

g : aceleración de la gravedad

V : Velocidad

Q : Flujo

Para realizar la modelación de un río la plataforma requiere de información básica como: secciones transversales y su respectiva distancia, el caudal de diseño, el coeficiente de rugosidad o también llamado número de Manning para cada sección, y las condiciones de borde que obedecen al flujo si es supercrítico o subcrítico, es decir si es aguas abajo o aguas arriba.

Cabe mencionar que el número de Manning representa el flujo de agua en llanuras de inundación y cauces, el cual es un factor principal actuando de manera directa en la calibración para la modelación hidráulica. Existen algunos procedimientos que permiten calcular el coeficiente de rugosidad o número de Manning, siendo el que se usa frecuentemente el de Ven Te Chow (1994), que define los valores de rugosidad por medio de tablas en función a las características del terreno.

Tabla 2

Valores del número de Manning

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes naturales			
b. Corrientes Montañasas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos.			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070

Nota. Tomado del libro Hidráulica de canales abiertos de Ven Te Chow (Chow, 1994)

Aplicación de los SIG en el modelamiento hidráulico

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas diseñadas para manejar información geográfica, como cobertura vegetal, cantidad de precipitación pluvial, tipo de suelo, corrientes o cuerpos de agua, pendiente del terreno e incluso la ubicación de centros de población siendo también posible la simulación bajo condiciones ambientales (Villegas & Gallo, 2018).

Al emplear un SIG en modelamientos hidráulicos se genera un enfoque interdisciplinario que completa los criterios y conocimientos establecidos para la gestión del riesgo frente a un aluvión (Cervantes, 2012). Estas tecnologías se utilizan para procesar datos geospaciales es decir son herramientas útiles en la generación de mapas temáticos de riesgo o de ordenamiento territorial que pueden ser utilizados en el almacenamiento, tratamiento y difusión de información de datos (Jiménez y otros, 2015).

Por lo tanto, la subcuenca del Rio Mindo puede ser mejor entendida mediante una pre visualización espacial, es así que se emplea la plataforma ArcGIS el cual brinda facilidades previo al modelamiento hidrológico e hidráulico. Estas herramientas transforman la información espacial a un Modelo Digital de Elevación (DEM) que tiene como objetivo el procesamiento y generación de datos de entrada tanto para la modelación hidráulica como para la hidrológica, y así trabajar directamente con los datos de entrada en los modelos.

Análisis coste-beneficio (ACB)

Las autoridades públicas deben tomar decisiones sobre la asignación de recursos donde los beneficios no son evidentes para la sociedad, puesto a que parte de estos no se logran capturar a través de mecanismos de mercado. El análisis costo-beneficio de manera general, es un proceso que involucra al análisis de un determinado proyecto, que permite la toma de decisiones de cualquier índole. Esto incluye, de manera explícita o implícita la determinación de los beneficios y costos del total de las opciones y así elegir la mejor o más rentable (Ortega, 2012).

Las áreas aplicativas de este análisis están relacionadas con la seguridad publica significativamente impulsados por el riesgo y la incertidumbre de estos en donde se encuentran los peligros naturales (Farrow & Viscusi, 2011). El cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (USACE) ha utilizado el análisis costo beneficio a principio del siglo XX para evaluar proyectos de presas y canales (Zerbe y otros, 2010).

Por lo tanto es una metodología que permite el estudio de los beneficios y costos de forma exhaustiva de cualquier proyecto, es decir valora inversiones tomando en cuenta aspectos medioambientales y de tipo social, que por lo general no se consideran en las valoraciones netamente financieras, por tal razón se deben cuantificar los beneficios y costes para ser reflejados en unidades monetarias, todo con el objetivo de poder determinar la diferencia entre los ingresos y el consumo del proyecto de reasentamiento de la zona urbana de Mindo frente a un posible aluvión (Ortega, 2012).

El análisis económico de un potencial aluvión en el área urbana de Mindo es la relación costo beneficio utilizado para evaluar las consecuencias financieras en la toma de decisiones a fin de poder incrementar el bienestar público (Farrow & Viscusi, 2011).

La implementación de una valoración económica de daños por aluviones pretenderá que los parámetros simulados para una cuenca puedan ser la base para la estimación de daños en tiempo real, de tal manera que funcione como herramienta eficaz para la reducción de desastres y como insumos para un análisis de costo-beneficio de un plan de reasentamiento (Dutta y otros, 2003)

Por esta razón la aplicación del ACB es una herramienta de análisis que pretende incrementar el bienestar social, causando la designación de recursos de forma eficiente. Es por ello que, en estas bases, el ACB desarrolla una metodología que se explica bajo las siguientes etapas (Rus, 2010).

1. Primero es necesario la identificación precisa del proyecto de reasentamiento y lograr un profundo conocimiento de cómo va a ser ejecutado, es decir determinar los objetivos de la población en el ámbito socioeconómico y en donde su bienestar debe ser considerado; en este punto es donde se asegura la posibilidad técnica del proyecto.
2. Además se necesita afianzar la factibilidad financiera del proyecto de reasentamiento, por lo tanto se necesita establecer las etapas de vida del proyecto así como la repartición de los gastos (G) y de los ingresos (I) en un periodo de interés, consecuentemente se utilizara el método de reducción del flujo monetario, trabajando con la tasa de reducción financiera (i) adecuada para exponer los flujos que se darán a futuro en valores monetarios vigentes con el objetivo de determinar el valor vigente neto financiero ($VANF$) el cual se calcula con la siguiente expresión:

$$VANF = \sum_{t=0}^T \frac{I_t - G_t}{(1+i)^t} \quad (6)$$

Donde:

$I_t - G_t$: es el flujo de caja originado por año (t)

T : es el horizonte de preparación del proyecto

3. A continuación, se identifican los beneficios y costes sociales del proyecto y su distribución temporal, estos reflejarían todos los recursos utilizados y los resultados generados, incorporando los efectos que alteran colateralmente a otros mercados particularmente el mercado de trabajo.
4. Una vez cuantificados e identificados en términos físicos, los resultados generados y los recursos empleados por el proyecto de reasentamiento deben de ser representados en términos monetarios.
5. Posteriormente se debe determinar el valor vigente neto económico ($VANE$) del proyecto de reasentamiento, restando todos los costes (C) y beneficios (B) futuros a través de la implementación de una tasa social de descuento (r) y se calcula con la siguiente expresión:

$$VANE = \sum_{t=0}^T \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \quad (7)$$

No obstante, si se pueden implementar más de un proyecto esto cuando varios logran un VANE positivo y no son mutuamente excluyentes, la relación costo-

beneficio (RCB), establece un criterio de decisión que complementa al $VANE$ permitiendo jerarquizar los proyectos y se la calcula con la siguiente expresión:

$$RCB = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (8)$$

Resumidamente, el ACB se considera como un apoyo para tomar decisiones y no como un método mecánico para la misma. A pesar de los problemas relacionados a la valoración monetaria y a la previsión de las consecuencias externas que generan restricciones de esta metodología, es por esto que se requiere consistencia y una gran precisión en su aplicación. Sin embargo, el ABC es considerado como el mejor evaluador disponible para evitar que los recursos públicos tengan asignaciones ineficientes (European Commission, 2008).

Base Legal

Dentro de la sección cuarta de la Constitución de la República del Ecuador, en el Art. 389 se explica que el estado es el ente designado de cuidar la seguridad de las colectividades, personas y de la naturaleza ante la presencia de efectos negativos que puedan ser originados por la presencia de algún desastre natural, además de podrán exigir acciones de prevención y mitigación a instituciones privadas y públicas a nivel nacional, regional y local, sabiendo que estas cuentan con un financiamiento suficiente y oportuno, a fin de recuperar y atender eventuales efectos procedentes de desastres.

En consecuencia, el artículo 390 manifiesta que la responsabilidad directa está establecida por instituciones que se encuentren dentro del ámbito geográfico, pero cuando esta no disponga de las capacidades y financiamiento para gestionar riesgos

recurrentes, entonces las instancias con mayor capacidad financiera y técnica apoyara a la autoridad en el territorio sin deslindarla de su compromiso que tenía principalmente. La dirección la ejecutara el estado por medio de la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos según lo dispuesto en el art.11 de la Ley de Seguridad Publica y del Estado, donde se mencionan las entidades ejecutoras. De ahí que dentro del Reglamento de la Ley de Seguridad Publica y del Estado artículo 24 establece en el capítulo dos los organismos del sistema, a los Comités de Operaciones y Emergencias (COE) instancias interinstitucionales que trabajan en función del principio de descentralización encargadas de coordinar operaciones de reducción de riesgos, así como recuperación y respuesta frente a un escenario de emergencia o desastre.

Según el Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomías y Descentralización en su artículo 140; indica que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales están obligados a establecer normas técnicas para generar acciones de reacción, prevención, reconstrucción, mitigación y transferencia frente a cualquier amenaza de origen antrópico o natural que vulnere al cantón.

Frente a los artículos ya mencionados el Código Orgánico de Planificación y finanzas Publicas (COPLAFIP) en su art.64 de parágrafo 10 de la inversión pública y sus instrumentos, establece que la implementación y diseño de programas, así como proyectos de inversión estatal favorable a la gestión de riesgos y vulnerabilidades antrópicas como naturales, cuentan con la suficiente adquisición de servicios y bienes necesarios para su ejecución privilegiando la producción nacional.

Además, el Plan Nacional de Desarrollo “Plan de Creación de Oportunidades” 2021-2025 en el objetivo 9 busca el fortalecimiento de la gestión de riesgos que afectan el territorio nacional, mediante oportunas coordinaciones y difusiones a fin de mitigar los riesgos, prevenirlos y enfrentarlos. Por otra parte, el objetivo 11 de Transición ecológica

pretende establecer incentivos para así disminuir la expansión urbana, especialmente en zonas altamente expuestas a riesgo naturales, además de impulsar programas como reforestación en aquellos lugares de las cuencas hidrológicas que presentan problemas de sedimentación acompañado de inundaciones.

CAPITULO III

En el presente capítulo se da a conocer la metodología implementada, llevada a cabo a través del desarrollo secuencial de pasos empleado diferentes plataformas digitales a fin de cumplir las metas propuestas en este proyecto de investigación.

Metodología

Descripción del área de estudio

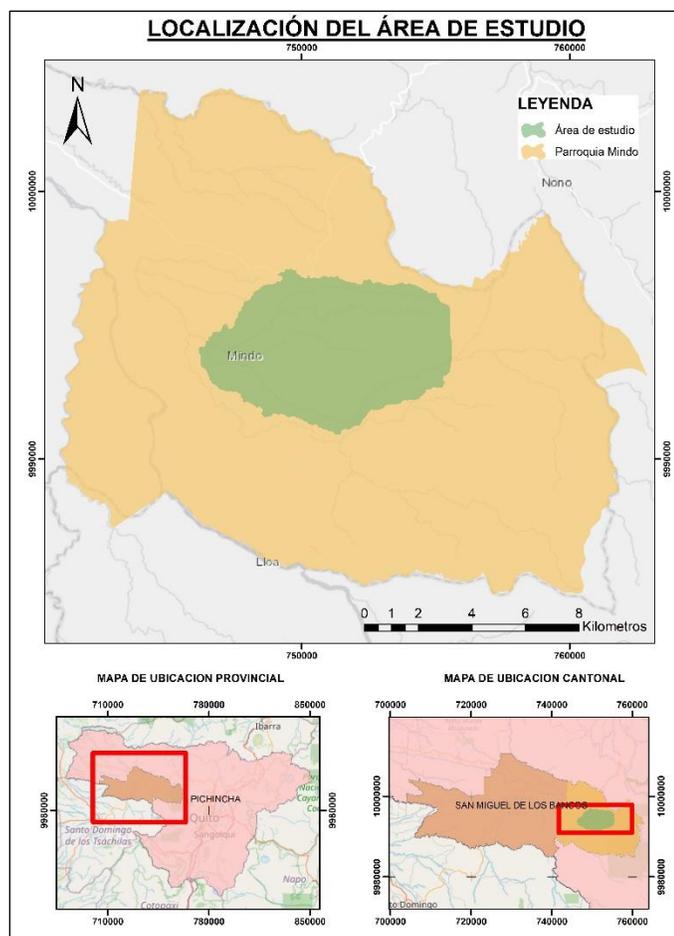
La parroquia rural de Mindo perteneciente al Cantón San Miguel de Los Bancos, el cual está situado al noroeste de la Provincia de Pichincha, a unos 70 Km de la capital del Ecuador, y situada en un gran valle subtropical siendo la vía Calacalí - La Independencia su principal acceso (Figura 3) (GAD Parroquial Mindo, 2020).

Esta parroquia se encuentra a una altura de 1.250 msnm, además se halla sobre el área donde predomina el Bosque Protector Mindo-Nambillo, que forma parte de las Áreas Protegidas del Ecuador, teniendo una altitud que va desde los 1.180 m, hasta los 4.780 m.

Es un gran potencial ecoturístico de gran importancia para la Provincia de Pichincha, tal es el caso que Mindo fue nombrado la Primera IBA dentro de Suramérica por su singular fauna, flora y botánica, el área de intervención será en el centro urbano de la población de Mindo que corresponde a la subcuenca del Rio Mindo.

Figura 3

Área de estudio del centro urbano de Mindo



Características geográficas del área de estudio.

Según la información geomorfológica del Cantón San Miguel de los Bancos, la parroquia Mindo se encuentra en cuatro unidades ambientales: Gran cono Tabular de la llanura costera, la cual se distribuye mayoritariamente al noroeste de la parroquia, Medio aluvial, el cual está distribuido en toda la parroquia acorde con los drenajes en las cotas más bajas las que presentan depósitos aluviales propios de la unidad genética deposicional, vertientes externas de la cordillera occidental, siendo así que esta unidad se distribuye mayoritariamente al suroeste de la parroquia teniendo una génesis predominante tectónica erosiva, en la parroquia se encuentra vestigios de edificios

volcánicos muy destruidos, distribuidos al este del territorio con poca representatividad (SNGRE, 2019).

En el área la pluviosidad tiene un promedio mensual de 328.88 mm mientras que su promedio anual de 3946,60 mm. Siendo así el mes más seco en agosto con 116,90 mm y el más lluvioso en abril con 687 mm (GAD Parroquial Mindo, 2020).

El promedio de humedad mensual es de 88.50% en donde la humedad mínima se constata en el mes de noviembre con 85%. Y la humedad máxima relativa registrada para febrero, mayo y junio llega a 90% respectivamente (GAD Municipal San Miguel de los Bancos, 2019).

La red hidrográfica se presenta a lo largo de todo el cantón San Miguel de los Bancos, la subcuenca del río Mindo simultáneamente debido al tipo de material existente en la parroquia Mindo han generado la aparición de valles fluviales y terrazas. Los caudales de los drenajes presentan un comportamiento dinámico reduciendo e incrementando de acuerdo a la época climática (SNGRE, 2019).

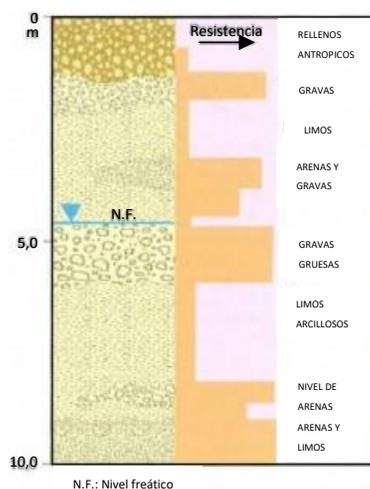
En la parroquia Mindo el material geológico predominante está relacionado la formación San Tadeo, Macuchi, Silante y Volcánicos Pichincha. Sin embargo, los materiales aluviales (Material de los principales afluentes del sector), coluvio aluviales y coluviales (depósitos de material que corresponde al coluvionamiento de las vertientes que se encuentran como límite de las geoformas en las que se ubica la parte urbana de Mindo) son los que caracterizan las geoformas con génesis deposicional y erosión fluvial (SNGRE, 2019).

Las formaciones geológicas predominantes en la parroquia Mindo dentro del área de investigación y de interés para el estudio de los procesos de aluvión son: depósitos aluviales los cuales son producto del depósito y transporte de material

detrítico por un flujo o aluvión (Figura 4). Los elementos que lo componen son arenas, arcillas, cantos gránulos y bloques de formas muy variables (Ayala, 2018). Los cuales, relacionados directamente a los grandes valles fluviales, drenajes y terrazas, donde se encuentran asentados los principales poblados de la zona.

Figura 4

Columna sedimentaria ejemplo de un depósito aluvial.



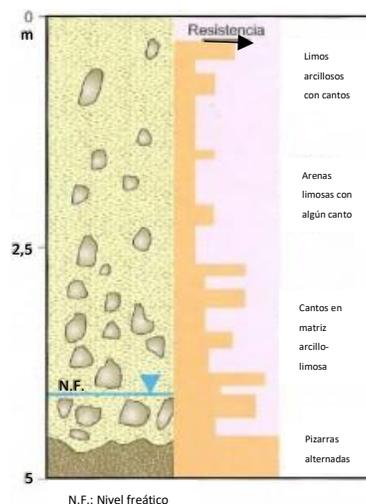
Fuente: (Ayala, 2018)

Por otro lado, los depósitos coluviales están constituidos por depósitos que surgen al pie de una ladera siendo el resultado del arrastre gravitacional de los materiales que resultan por la desintegración de relieves primarios (Figura 5), están conformados por gravas de arenisca en matriz limo arenosa y bloques, creando coluvios aluviales recientes y antiguos (Ayala, 2018).

Figura 5

Columna sedimentaria ejemplo de un depósito coluvial.

0 Resistencia

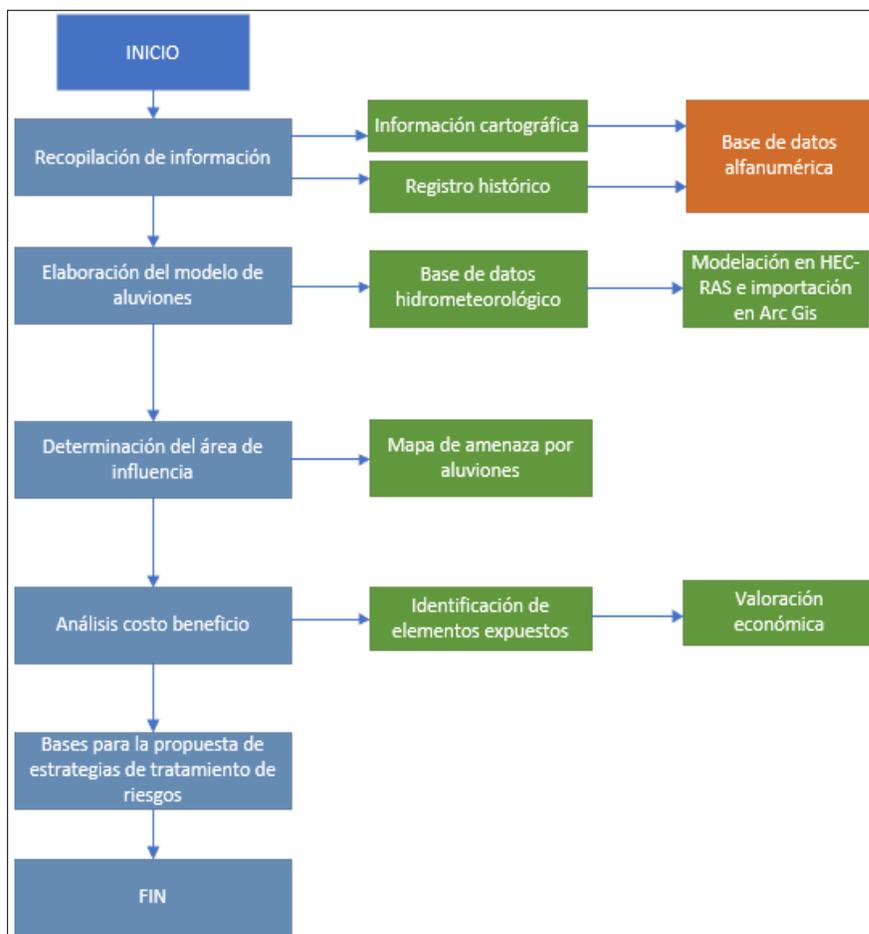


Fuente: (Ayala, 2018)

Finalmente, los depósitos coluvio- aluviales que componen los depósitos más recientes y se encuentran conformados de areniscas, gravas y arcillas; además de contener una elevada cantidad de materiales arrastrados y erosionados de las montañas adyacentes, limo arenosas, que forman coluviones recientes y antiguos (Ayala, 2018).

Cabe mencionar que los suelos presentes en la parroquia Mindo son Andisoles caracterizados por ser suelos profundos, de origen volcánico; Entisoles que se caracterizan por ser bien drenados poco profundos y los Inceptisoles con menor presencia en la parroquia que se caracterizan por ser altos en saturación de bases (SNGRE, 2019).

En este capítulo la metodología a desarrollarse se describe en la figura 6, representando los objetivos a cumplirse del presente proyecto, para ello se ha dividido la metodología en 5 fases.

Figura 6*Metodología del proyecto de investigación****Recopilación de la información***

La información utilizada para la generación tanto como de la valoración económica Costo Beneficio y del modelo de aluviones fueron recopiladas en fuentes bibliográficas confiables, como libros, tesis y publicaciones de academia de las cuales se extrajo metodologías validadas con sus ecuaciones, que fueron aplicadas en este trabajo.

Se requirió la información de instituciones públicas, para este caso información proporcionada por el GAD Cantonal de San Miguel de los Bancos, que comprendió en

una serie de archivos, como el catastro rural de la parroquia rural de Mindo, ortofoto de San Miguel de los Bancos, catastro turístico de Mindo (restaurantes, hospedaje y operaciones turísticas), avalúos de predios urbanos en Mindo, zonificación de precios por metro cuadrado en la zona urbana, mapa de uso de suelos, mapa de cobertura vegetal, informes de la Secretaria de Gestión de Riesgos de amenazas por aluviones en Mindo y archivos .shp de cartografía base de San Miguel de los Bancos (GAD Municipal San Miguel de los Bancos, 2019)

Además, la información del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), sobre datos anuales de la estación meteorológica NANEGALITO M0393, también fundamentándonos en el último Estudio de “Determinación De Ecuaciones Para El Cálculo De Intensidades Máximas De Precipitación” publicado en el 2019.

También fue requerida la información del Modelo Digital del Terreno (MDT) de Mindo que fue adquirida en el Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica (SIGTIERRAS) con formato .tiff.

Proceso para la elaboración del Modelo de Aluviones

Modelo digital de elevaciones (DEM). Mediante el uso de este modelo se identificó la morfología del terreno, el cual ayudo a generar el modelo de aluviones en el software HEC-RAS.

El Modelo Digital de Terreno (MDT) proporcionado por SIG TIERRAS se lo sometió a un tratamiento debido a que este cuenta con información en base a la superficie sin tomar en cuenta la vegetación y objetos de infraestructura, por lo que es necesario convertirlo mediante herramientas de información geográfica a un DEM el cual brindo información a nivel tanto de cobertura vegetal como de infraestructura

mediante lo cual se generó un modelo más cercano a la realidad y sirvió para evaluar daños por aluvión, para este paso se usó el aplicativo ArcGIS (Toribio, 2019).

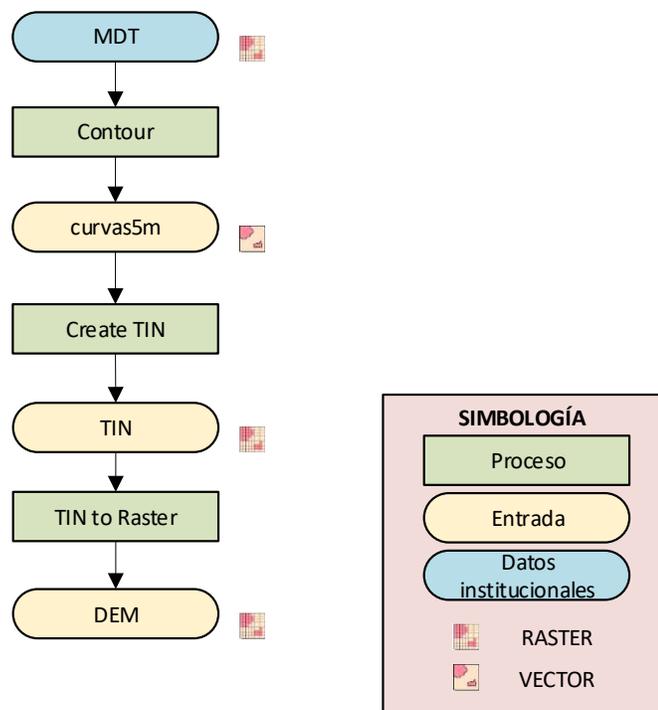
El proceso inicia cuando se carga el archivo MDT en la plataforma Arc-Map, ahí se utilizó la herramienta *Contour* siendo esta la herramienta que va a generar isolíneas por todo el MDT, líneas que se convierten en curvas de nivel, para este caso se establecieron cada 5m con lo cual se identificó alturas en donde se encuentra la vegetación o infraestructura y así para tener una mayor presión en el modelo de elevaciones archivo que fue guardado con nombre *curvas5m*.

Al archivo *curvas5m* se aplicó la herramienta *CREATE TIN* con esta herramienta se generó una triangulación de la información de las isolíneas generando un modelo en 3D.

Una vez creado el modelo en 3D *TIN* se aplica la herramienta *TIN to Raster* la cual permite crear un modelo ráster (Figura 7) y asignando un valor de elevación distinta cada pixel en donde se encontró variación por vegetación o infraestructura.

Figura 7

Metodología para generar un DEM



Delimitación de la subcuenca hidrográfica del Río Mindo. Siendo las subcuencas unidades hidrográficas que indican el área de adaptación de un río y tomando en cuenta la topografía del terreno se delimito la subcuenca del río Mindo, mediante el DEM en formato .tiff a escala 1:5000 proporcionado por el SIGTIERRAS.

En la obtención de la subcuenca hidrográfica del río Mindo se aplicaron varios procesos al DEM como fue la herramienta *Fill* la cual ayudó a llenar los vacíos que contenía el DEM, tomando el nombre de *Fill_DEM*.

Posterior a esto el archivo *Fill_DEM* se le aplico la herramienta *Flow Direction* el cual genera las direcciones del cauce de agua en relación a la pendiente del terreno generando un archivo de nombre *Flow_dir_DEM*.

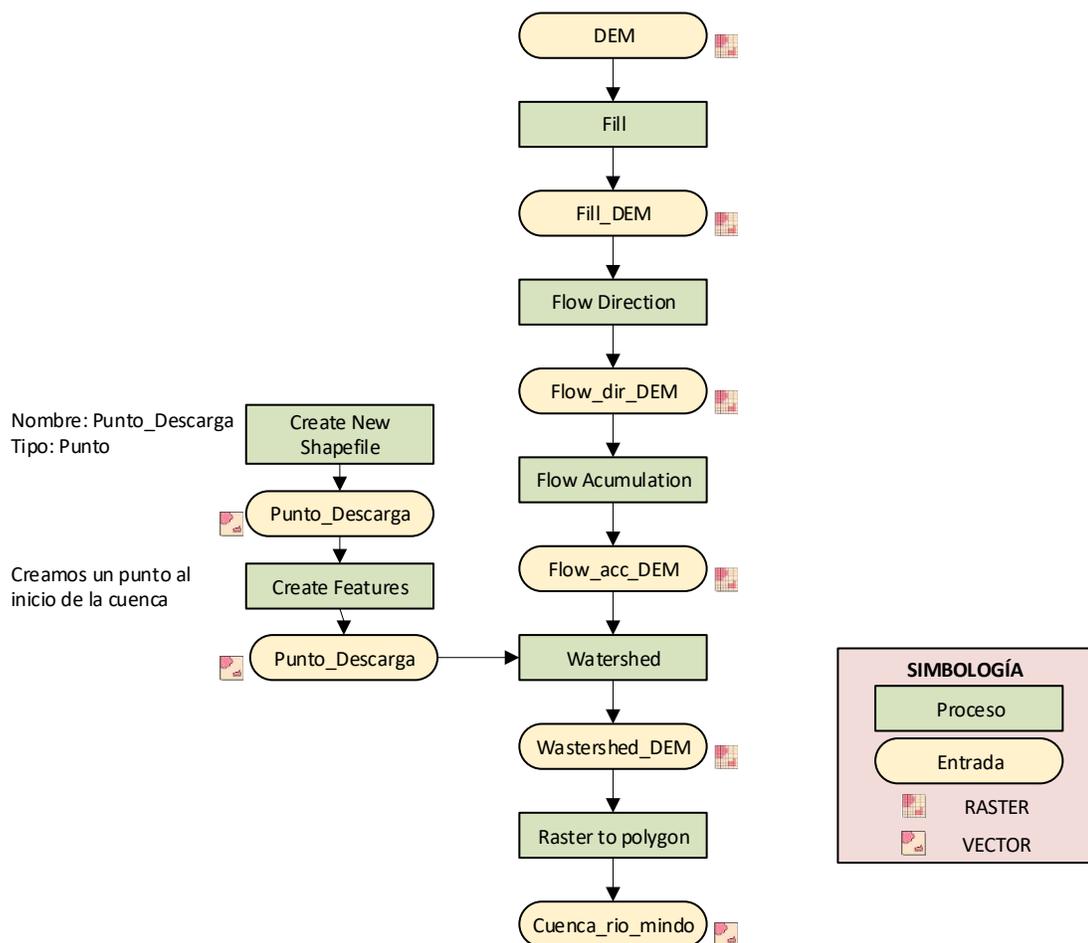
Una vez obtenido el archivo *Flow_dir_DEM* se determinó la red hídrica resultante esto mediante la herramienta *Flow Accumulation*, en simultaneo se crea un punto de

descarga en formato .shp de tipo punto, el cual va a representar el punto de salida del volumen de agua.

Generado ambos archivos *Flow_acc_DEM* y *Punto_Descarga*, se procedió a utilizar la herramienta *Watershed* el cual utiliza ambos archivos y genera un archivo tipo ráster de la cuenca hidrográfica delimitada según el punto de descarga y la red hídrica, finalmente se transformó el archivo raster *Watershed_DEM* a polígono y así se determinó el área de la subcuenca del Rio Mindo, esto con la herramienta *Raster to Polygon* (Figura 8).

Figura 8

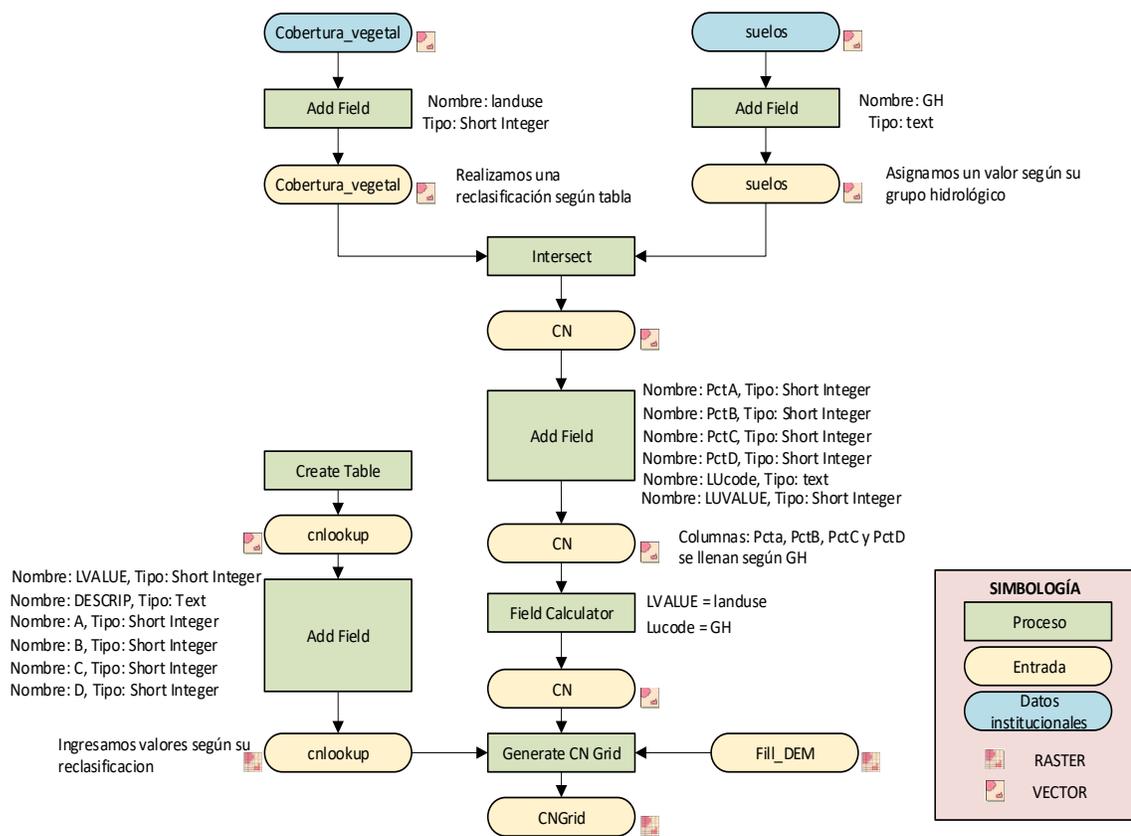
Esquema de las operaciones que conducen a determinar la subcuenca del rio Mindo



El Numero de curva. Este método se basa en dos principios en la capacidad de infiltración que tiene un terreno y la conservación de masa, donde las condiciones del terreno en cuanto a humedad facilitan la infiltración de lluvia (Figura 9).

Figura 9

Esquema de las operaciones que conducen a determinar el número de curva



Método de Soil Conservation Service.

Esta metodología se fundamenta en la capacidad del terreno que tiene para que exista infiltración y en la conservación de masa que es utilizado para generar los hidrogramas, la relación que establece este cálculo es entre la lluvia acumulada y la escorrentía directa a través del tiempo ya que los suelos pierden su capacidad de infiltración al pasar el tiempo (Chow, Hidrología Aplicada, 1993).

Tratándose de un método empírico para calcular la transformación de lluvia escorrentía que se dio por medio de observaciones de fenómenos hidrológicos en varios tipos de suelos y bajo distintas condiciones de humedad (Maurtua & Zelada, 2016).

Sea la expresión matemática de conservación de la masa:

$$P = Pe + Ia + Fa \quad (9)$$

Donde:

P: precipitación presente en una unidad hidrológica

Pe: Precipitación transformada en escorrentía directa

Ia: Abstracción de lluvia inicial

Fa: La porción de lluvia infiltrada

Para calcular cuanta lluvia se necesita para generar el primer escurrimiento y cuanta se infiltra el método SCS establece la proporcionalidad:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P - Ia} \quad (10)$$

Donde:

S: Retención potencial máxima

Al igualar las ecuaciones (1) y (2) se tiene como resultado la ecuación para calcular la profundidad de exceso de precipitación:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \quad (11)$$

El método de SCS ha estudiado varios resultados obtenidos en cuencas experimentales desarrollando así la siguiente relación:

$$Ia = 0.2S \quad (12)$$

Teniendo finalmente:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (13)$$

Por lo que es necesario estandarizar la ecuación mediante el número de curva (CN) que es adimensional, relacionado a la retención potencial máxima (S) en la siguiente expresión matemática:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (14)$$

La determinación de número de curva para diferentes condiciones resultan de gran importancia puesto que en un suelo húmedo existirá menor infiltración a diferencia que en el seco donde su infiltración será mayor, para este estudio se utilizó la condición de humedad (III).

Donde:

CN (II) es para condiciones normales del terreno

CN (III) es para condiciones húmedas del terreno

$$CN(I) = \frac{4.2 \text{ CN (II)}}{10 - 0.058 \text{ CN(II)}} \quad (15)$$

$$CN(III) = \frac{423 \text{ CN (II)}}{10 - 0.13 \text{ CN(II)}} \quad (16)$$

En donde un resultado de CN=100 muestra que todo lo que llueve se escurre y así bajando que por el contrario los valores hasta CN=0 expresan que todo lo que llueve se infiltra.

Reclasificación de tipo de suelo. Esta información fue proporcionada por el GAD de San Miguel de los Bancos como parte de su cartografía temática con la que trabaja el departamento de catastro. De acuerdo al tipo de suelo se asignó un Grupo hidrológico de suelo a la que pertenece cada uno (Tabla 3).

Tabla 3

Reclasificación del mapa de suelo

Grupo hidrológico del suelo	Potencial de escurrimiento	Infiltración para terreno húmedo	Suelos típicos
A	Escaso	Alta	Arenas y grava
B	Moderado	Moderada	Texturas medias.

C	Medio	Lenta	Textura fina o suelos con una capa que impide el drenaje hacia abajo.
D	Elevado	Muy lenta	Suelos de arcillas hinchadas o compactas o suelos poco profundo sobre capas impermeables.

Nota. Tomado de Fiel measurement of soil erosion and runoff, por Hudson, 1997.

(Hudson, 1993)

Identificados los grupos hidrológicos como se muestra en la tabla 4, posteriormente se basa en los tipos de suelos que fueron identificados por el GAD de San Miguel de los Bancos en el archivo tipo .shp en el cual consta la clasificación de los suelos, mismos que se encuentran en su mayoría por tener un potencial de escurrimiento medio y elevado

Tabla 4

CN en función del grupo hidrológico y uso del suelo.

Uso de Suelo	Característica	Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierras Cultivadas	con tratamiento de conservación	72	81	88	91
	sin tratamiento de conservación	62	71	78	81

Pastizales	condición pobre	68	79	86	89
	condición buena	39	61	74	80
Praderas		30	58	71	78
Bosques	cubierta pobre	45	66	77	83
	cubierta buena	25	55	70	77
Espacios abiertos con césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	Buena condición: cubierta de pastos sobre más del 75% del área	39	61	74	80
	Condición aceptable: cubierta de pastos sobre el 50% a 75 % del área.	49	69	79	84
Áreas comerciales y de tiendas (85% impermeable)		89	92	94	95
Zonas industriales (75% impermeable)		81	88	91	93
Zonas residenciales	Tamaño medio de la parcela (m2)	Promedio de % impermeable			
	500	65	77	85	90
	1000	38	61	75	83
	1350	30	57	72	81
	2000	25	54	70	80
	4000	20	51	68	79

Tejados, parking, superficies impermeables en general		98	98	98	98
Calles y carreteras	Pavimentadas, con bordillos y bocas de tormenta	98	98	98	98
	de grava	76	85	89	91
	de tierra	72	82	87	89

Nota. Tomado de Hidrología Aplicada, por Chow, 1993 (Chow, 1993).

El archivo tipo *.shp* se realizó con la herramienta *add field* dentro de la tabla de atributos del archivo tipo *.shp* de suelos en donde se creó una nueva columna y se asignó para este caso la letra de reclasificación según su grupo hidrológico en función de la tabla 4.

Reclasificación de uso y cobertura de suelo. Esta información fue proporcionada por el GAD de San Miguel de los Bancos, en donde se muestra la distribución y características generales del terreno. Se asignó un valor de reclasificación en función a la descripción que poseen las coberturas (Tabla 5).

Tabla 5

Reclasificación de la variable de cobertura

Descripción de coberturas	Reclasificación
Cuerpos de agua	1
Nevados	2

Centros poblados	3
Cultivos/Áreas intervenidas	4
Matorral arbustivo abierto	5
Pradera en zona de clima frío	6
Sabana de árboles leñosos	7
Sabana hidromorfica	8
Selva lluviosa tropical	9
Selva lluviosa tropical con bambúes	10
Selva temporal de hojas anchas	11
Selva hidrolítica	12
Desierto en zona de clima árido	13

Nota. Tomado de Generación del mapa temático de curva número (CN), por Autoridad Nacional del Agua, 2015 (Maurtua & Zelada, 2016)

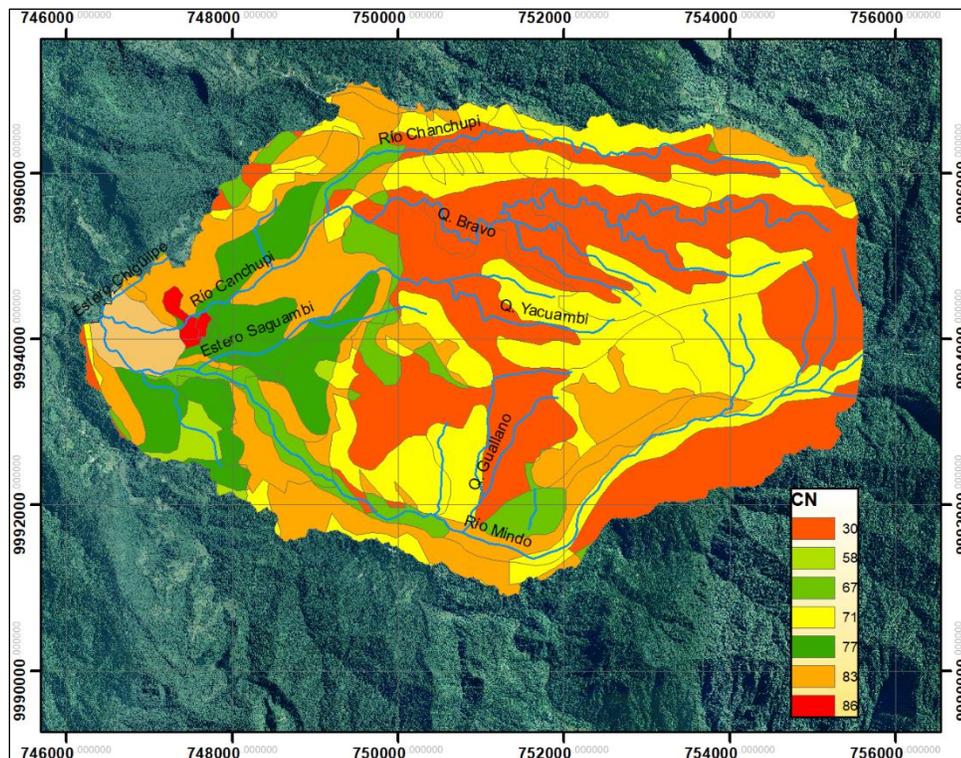
Para la reclasificación de la cobertura vegetal, de la misma manera que fue realizado la reclasificación de los tipos de suelo, mediante la identificación de las diferentes coberturas vegetales que se encuentran presentes en el área de estudio entonces se asignaron valores en el archivo tipo .shp en función de la tabla 5, ambas reclasificaciones sirvieron para calcular el número de curva.

Seguidamente con la herramienta *intersect* de ArcGis se generó una superposición la cual calcula la intersección geométrica de dos capas, en este caso la cobertura vegetal y el tipo de suelo generan un archivo .shp que conserva los atributos como son los valores de reclasificación que se asignó para ambos casos.

Luego se procede a utilizar una extensión de Arc-View, permitiendo utilizar herramientas hidrológicas geoespaciales ya que tiene como característica la visualización, documentación, realizar análisis espaciales, entre otros, para esta ocasión se importó el modelo de la subcuenca a través de la estimación de parámetros hidrológicos como fue el cálculo del número de curva en relación a su tipo de suelo y cobertura vegetal debidamente reclasificado ver figura 10.

Figura 10

Mapa del número de curva en función del uso de suelo y grupo hidrológico del suelo del río Mindo



Nota. En la figura se muestra en distintas tonalidades colores del número de curva que ayuda a identificar las áreas de la subcuenca del río Mindo en donde existe un mayor escurrimiento o infiltración.

Una vez calculado el CN se exponen los resultados en la tabla 6, que indica el porcentaje de uso de suelo y a su vez se pondera el valor obteniendo un CN parcial que se ingresó en el programa HEC-HMS (Vintimilla & Zhungo, 2013). Siendo el porcentaje de CN inversamente proporcional a la infiltración.

Tabla 6

Metodología utilizada para el cálculo del CN ponderado

USO	ÁREA	CN	%	CN
	KM2	TABLA		PARCIAL

Area urbana consolidada	1.18	86.00	3.00	2.58
Bosque Intervenido	13.40	60.75	34.06	20.69
Bosque Natural	12.71	58.33	32.29	18.84
Cultivos	1.00	77.33	2.54	1.97
Pastos cultivados	1.15	80.00	2.92	2.34
Vegetación Arborea Con Cultivos	1.05	83.00	2.67	2.21
Vegetación Arbustiva	3.16	77.57	8.03	6.23
Vegetación Arbustiva con Pastos Cultivados	4.05	76.95	10.29	7.92
Bosque Intervenido y Pastos Cultivados	1.65	57.38	4.19	2.41
TOTAL	39.35			59.99

Generación del hietograma a través de la regionalización del INAMHHI. Esta metodología se basa en el Estudio de precipitaciones intensas, efectuado por el INAMHI que clasifica al Ecuador en 35 regiones de la misma intensidad (INAMHI, 2019), correspondiendo a la siguiente ecuación:

$$I_{TR} = \frac{K I d_{TR}}{t^n} \quad (17)$$

I_{TR} : Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno (mm/h).

$K I d_{TR}$: Intensidad diaria para cualquier periodo de retorno dado (mm/h).

TR : Periodo de retorno (años).

t : Tiempo de duración de la lluvia en minutos.

K y n : Constantes de ajustes determinados aplicando mínimos cuadrados.

Según la zonificación de intensidades del INAMHI la estación de NANEGALITO se encuentra dentro de la zona 9 correspondiente a datos de la estación M0024 QUITO INAMHI-IÑAQUITO.

Curvas Intensidad Duración y Frecuencia regionalización del INAMHI. Estas curvas son las resultantes de enlazar los puntos significativos de la intensidad promedio en diferentes intervalos de tiempo siendo estos los que corresponden al mismo periodo de retorno o frecuencia ver tabla 7. Teniendo las ecuaciones de intensidades para las diferentes duraciones de lluvia se logra generar las curvas IDF para los diferentes periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años (Tabla 8), en la figura 11 se indica la representación de las intensidades máximas en un día.

Tabla 7

Ecuaciones de estación de intensidad M0024 QUITO INAMHI-IÑAQUITO

ZONA	DURACION	FRECUENCIA	R
	5<30	$i = 141.7719 * T^{0.2071} * t^{-0.38044}$	0.9896
9	30<120	$i = 418.754 * T^{0.2196} * t^{-0.7210}$	0.9864
	120<1440	$i = 1276.807 * T^{0.1681} * t^{-0.9297}$	0.9991

Nota. Tomado de Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, por INAMHI, 2019 (INAMHI, 2019).

Tabla 8

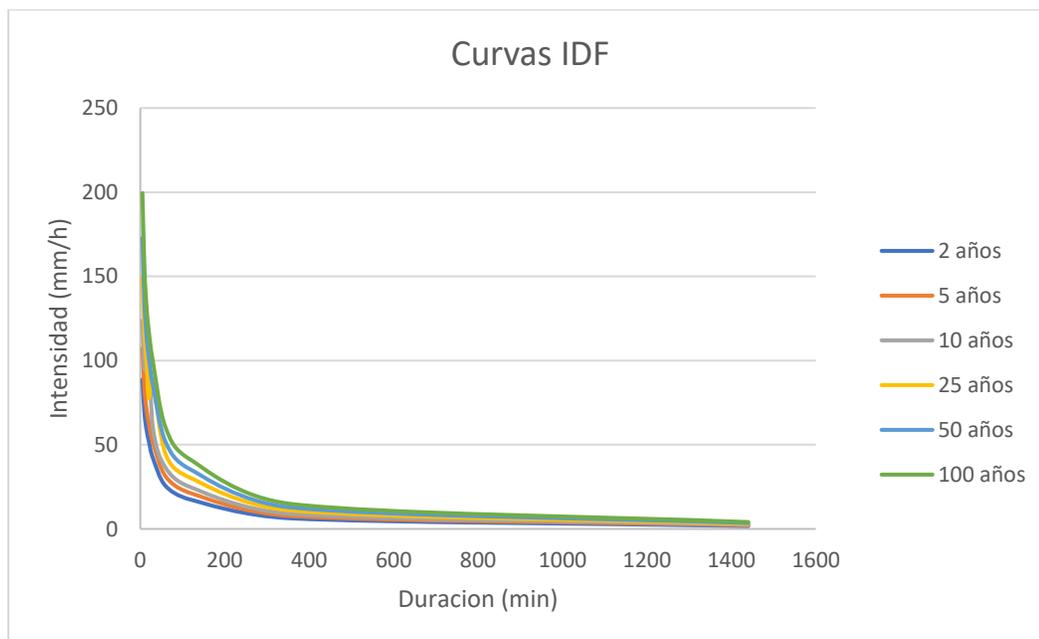
Intensidades máximas de la estación Iñaquito

TR (años)	Duración t(min)								
	5	10	15	20	30	60	120	360	1440
2	95.94	73.73	63.20	56.65	48.56	30.50	16.20	5.94	1.68
5	116.75	89.71	76.90	68.94	59.10	37.12	19.71	7.23	2.04
10	130.62	100.37	86.04	77.13	66.12	41.53	22.05	8.09	2.82
25	148.54	114.14	97.84	87.71	75.19	47.22	25.08	9.20	2.59
50	161.25	123.91	106.22	95.22	81.62	51.27	27.23	9.99	2.82
100	174.55	134.13	114.98	103.07	88.35	55.49	29.47	10.81	3.05

Nota. Tomado de Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, por INAMHI, 2019 (INAMHI, 2019).

Figura 11

Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia



Nota. Curvas de intensidad, duración y frecuencia Regionalización del INAMHI 2019, modificado por Autores.

Una vez obtenido los valores de intensidades se calcula las precipitaciones para los diferentes periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años utilizando las ecuaciones de la tabla 9.

Tabla 9

Ecuaciones de intensidad de precipitación Estación Iñaquito para cualquier periodo de retorno

Estación	Duración	Ecuación
Quito	5 min < 41.1min	$I_{TR} = 106.54 * Id_{TR} * t^{-0.38} R^2 = 0.9917$
INAMHI- IÑAQUITO	41.1 min < 1440 min	$I_{TR} = 772.11 * Id_{TR} * t^{-0.913} R^2 = 0.9996$

Nota. Tomado de Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación, por INAMHI, 2019 (INAMHI, 2019).

Teniendo como resultado una tabla de intensidades máximas de precipitación para los periodos de retorno de 2,5,10 y 25 años en 24 horas, ver tabla 10, todos los datos se exponen en el Apéndice 1.

Tabla 10

Intensidades máximas de precipitación

Tiempo (min)	2 años (mm/h)	5 años (mm/h)	10 años (mm/h)	25 años (mm/h)
5	166.45	206.91	234.08	268.18

Tiempo (min)	2 años (mm/h)	5 años (mm/h)	10 años (mm/h)	25 años (mm/h)
10	127.91	159.00	179.87	206.08
15	109.65	136.30	154.19	176.65
20	98.29	122.18	138.22	158.36
25	90.30	112.25	126.98	145.48
30	84.26	104.73	118.48	135.75
35	79.46	98.78	111.74	128.02
40	75.53	93.89	106.21	121.69
.
.
.

En función a los datos de la tabla 8 se calculó los hietogramas en distintos periodos de retorno.

Análisis de la información Hidrometeorológica. Los datos hidrometeorológicos utilizados en el desarrollo de este estudio corresponden al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), escogiéndose la estación meteorológica NANEGALITO ya que se localiza cercana a la zona de estudio, ofreciendo mejor información ver tabla 11.

Tabla 11

Estación hidrológica empleada como punto de control

Nombre	Código	Latitud	Longitud	Elevación (Msnm)
NANEGALITO	M0339	0° 4'0" N	78° 40'35"O	1580

Nota. Tomado de Anuario meteorológico, por INAMHI, 2017 (INAMHI, 2017)

Elaboración del Hietograma de diseño. Hay algunos métodos que se basan en las curvas IDF, para este trabajo se seleccionó el método de los bloques alternos ya que según Chow (1993) es una manera fácil de representar la lluvia, ya que esta metodología detalla la profundidad de precipitación que sucede en un intervalo de tiempo determinado sobre una duración total, por lo que se procedió con la aplicación de esta metodología utilizando la información de la tabla 8 intensidades máximas de precipitación además tomando en cuenta que el tiempo se trabajara en horas, esto para los distintos periodos de retorno 2, 5, 10 y 25 años (Tabla 12). El hietograma resultante se presenta en la figura 12, los datos completos se ven presentados en el Apéndice 2.

Tabla 12

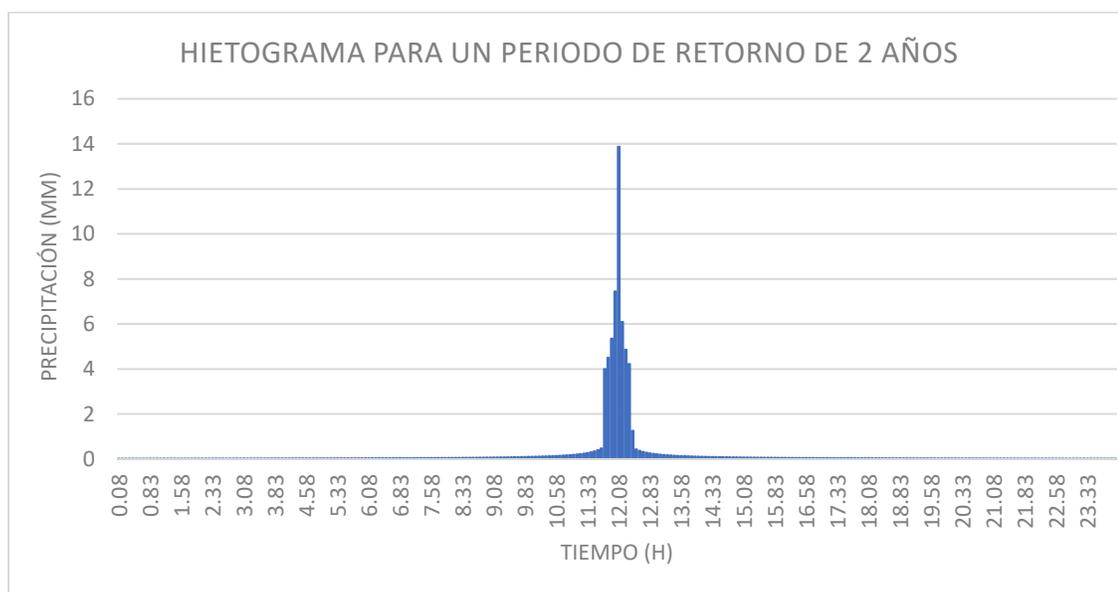
Hietograma de diseño para un periodo de retorno de 2 años

Tiempo (h)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Δ Precipitación (mm)	Hietograma (mm)
0.08	166.45	13.87	13.87	0.02
0.17	127.91	21.32	7.45	0.02
0.25	109.65	27.41	6.09	0.02
0.33	98.29	32.76	5.35	0.02
0.42	90.30	37.63	4.86	0.02
0.50	84.26	42.13	4.50	0.02
0.58	79.46	46.35	4.22	0.02
0.67	75.53	50.35	4.00	0.02
0.75	68.82	51.61	1.26	0.02
0.83	62.50	52.09	0.48	0.02
.

Tiempo (h)	Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Δ Precipitación (mm)	Hietograma (mm)
.
.

Figura 12

Representación del Hietograma para un periodo de retorno de 2 años



Modelamiento hidrológico con HEC-HMS para la obtención de hidrogramas a distintos periodos de retorno.

Luego de determinados los parámetros necesarios de la subcuenca hidrográfica del río Mindo se creó el modelo de la subcuenca mediante el uso de la plataforma hidrológica (HEC-HMS).

Siendo el aplicativo informático HEC-HMS un simulador de procesos hidrológicos de precipitación y escorrentía para un sistema de cuencas que utiliza

componentes en el modelo para simular una respuesta hidrológica de la subcuenca, estos resultados pueden ser utilizados en estudios de drenaje urbano, disponibilidad de agua, análisis de eventos externos, entre otros (USAGE, 2000). Teniendo como resultado de los procesos que realiza el software los hidrogramas de crecida para los distintos periodos de retorno.

Los modelos utilizados son los de subcuenca, modelos meteorológicos, datos de entrada y especificaciones de control, al momento de realizar la simulación, como resultado se tiene la respuesta de la subcuenca a una precipitación que fue transformada a escurrimiento, esto cuando se introduce el modelo meteorológico.

Como consecuente las especificaciones de control permiten delimitar el tiempo e intervalos en la cual se realizará la simulación, de la misma manera los elementos de los datos de entrada tablas, series de tiempo, entre otros que servirán para establecer condiciones de frontera para el modelo de la subcuenca, así como en el modelo meteorológico, para cada modelo se deberá ingresar los parámetros hidrológicos característicos de la subcuenca.

Modelo de la Subcuenca. Este permitirá la representación de la parte física de la subcuenca además de agregar y conectar elementos hidrológicos, elementos que se basan en modelos matemáticos para representar los procesos físicos de la subcuenca (Orellana, 2021).

Para iniciar la creación del modelo primero se creó un nuevo proyecto con el nombre del estudio presente, con el cual el programa pudo representar la forma física de la subcuenca (Orellana, 2021).

Generado el nuevo proyecto el programa activara distintos componentes para la caracterización de la subcuenca y su posterior modelación.

Una vez creadas las microcuencas del río Mindo se procedió a insertar parámetros característicos uno de ellos el área de la subcuenca. El programa contempla una serie de métodos los cuales analizan los hidrogramas en esta ocasión se seleccionó el método Soil Conservation Service (SCS).

En el método SCS se utilizará el número de curva ajustado para cada subcuenca, ya que el método SCS convierte la precipitación neta en escurrimiento (Vintimilla & Zhungo, 2013).

En la Tabla 13 se describen los parámetros utilizados para cada modelo de subcuenca en donde se caracteriza la subcuenca para el análisis

Tabla 13

Parámetros utilizados para el modelamiento de la subcuenca.

SUBBASIN (CUENCA)		
Área (km ²)	Área	Superficie de la cuenca
Loss Method	Método de pérdidas	SCS Curve Number: Divide la P neta de la P _{total}
Transform Method	Método de transformación	SCS unit Hydrograph: transformar la p neta en escurrimiento
Baseflow Method	Método de flujo de Base	Recesion: adiciona el caudal base al Hidrograma resultante
LOSS (PERDIDAS)		
Initial Abstraction (mm)	Abstracciones iniciales	Ia: Representa el 20% de la retención potencial máxima

Curve Number	Numero de Curva	CN
Imprevios (%)	Impermeabilidad	Rango entre (0 a 5) %: Para un valor de 5% indica ser muy impermeable (roca)
TRANSFORM (HIDROGRAMA)		
Graph Type	Tipo de Grafico	Standard: aplicable para cualquier superficie. Delmarva: Superficies planas con excesiva precipitación
Lag time (min)	Tiempo de retardo	Tf
BASE FLOW (FLUJO BASE)		
Initial Discharge (m³/s)	Descarga inicial	Caudal base
Recession Constant	Constante de Recesion	Descenso del caudal base cada día. El intervalo de valores comprende de (0.1-0.99)
Threshold Type	Umbral de escurrimiento	Ratio to peak: caudal umbral base para procesar una nueva recesión.
Ratio	Proporción	Referente al ratio to peak. Rango entre (0-1). Ej. 0.1=10% del caudal de punta

Nota. Tomado de Estudio Hidrometeorológico Y Análisis De Caudales De Crecientes En La Cuenca Hidrográfica Del Río Catarama (Vintimilla & Zhungo, 2013).

Modelos meteorológicos. Este permitirá determinar la precipitación que se requiere para el modelo de la subcuenca, utilizando los datos de intensidad de la lluvia en función de tiempo como es el caso de los hietogramas calculados.

Una vez creada la subcuenca se procede a introducir las características del modelo meteorológico con esto el modelo puede procesar la información. Un modelo meteorológico se usa para distintos modelos de subcuenca (USACE, 2000).

Existen diferentes tipos de modelos meteorológicos como se muestra en la tabla 14 para este modelo se utilizó por tipo de precipitación mediante hietograma especificado, hietogramas que fueron calculados previamente para distintos periodos de retorno.

Tabla 14

Tipos de modelos meteorológicos

MÉTODO DE PRECIPITACIÓN	DESCRIPCIÓN
Frequency Storm (Tormenta de frecuencia)	Este método se utiliza para generar eventos de precipitación donde el volumen de precipitación para diferentes duraciones de probabilidad consistente de excedencia.
Gage Weights (Estaciones por peso)	Este método emplea pesos establecidos por el usuario a las diferentes estaciones
Gridded Precipitation (Precipitación por celda)	Este método usa la precipitación por celda, como información precedente de un RADAR

Inverse Distance (Distancia Inversa)	Este método permite determinar la precipitación promedio en una subcuenca, empleando la distancia inversa al cuadrado para las estaciones establecidas por el usuario
SCS Storm (Tormenta del SCS)	Este método utiliza una distribución del tiempo el SCS al volumen de tormenta con duración de 24 horas.
Specified Hyetograph (Hietograma Especificado)	Este método permite al usuario definir el hietograma de entrada para la subcuenca
Standard Project Storm (tormenta estándar de proyecto)	Este método emplea una distribución de tiempo a una altura de precipitación dada.

Nota. Tomado de Manual para el uso de modelo hidrológico HEC-HMS, Hernández & Patiño, 2018 (Hernández & Patiño, 2018)

Especificaciones de control. Para ejecutar el análisis se debe agregar un tiempo de simulación, este puede ser cualquier tipo de fecha siendo este un campo obligatorio de lo contrario no se podrá ejecutar el modelo.

En el modelo se especificó una duración de 24h para que sea simulado, por el motivo de que los hietogramas presentan un intervalo de tiempo de 5 min en 24h.

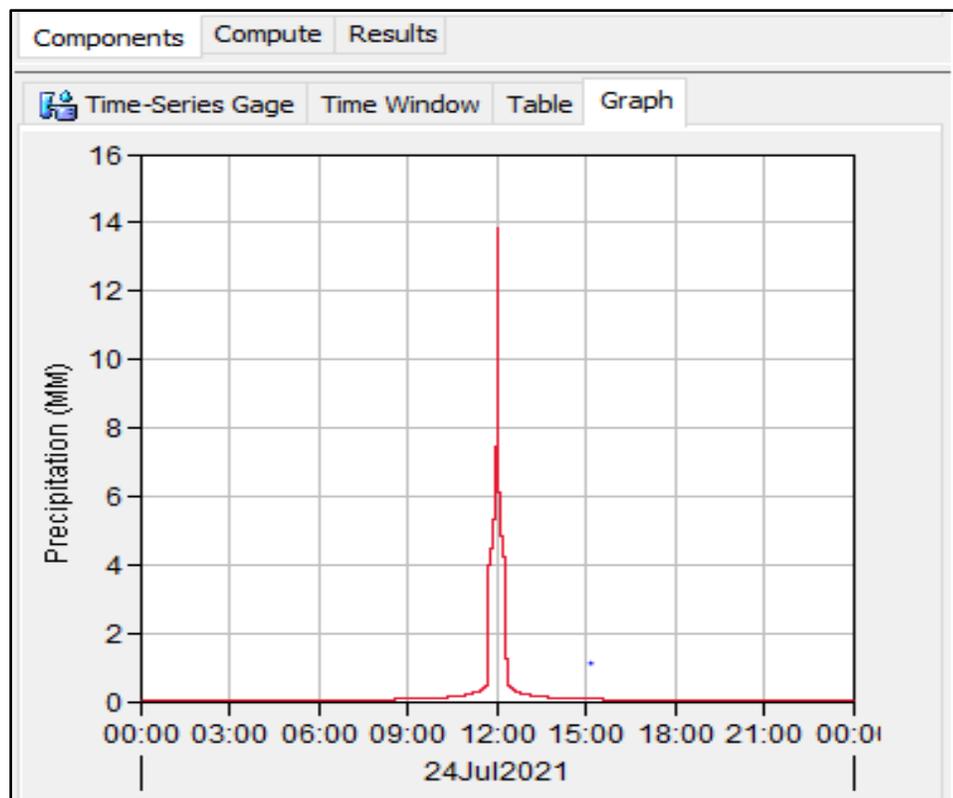
Datos de entrada. La precipitación media se determinó en función de los datos generador por el INAMHI, en los anuarios meteorológicos de la estación NANEGALITO ya que esta se encuentra cercana a el área de estudio, no se tomó en cuenta las demás estaciones debido a que de estas no existía gran parte de datos y además que los valores tenían diferencias significantes con datos de precipitación con la estación NANEGALITO por lo que la modelación podría sufrir variaciones alejándola de la realidad.

Para la representación del hietograma del modelo se crearon datos de series de tiempo, en donde se debió especificar el intervalo de tiempo, las unidades de precipitación y como se va a ingresar los valores de precipitación en este caso por hietograma de diseño.

Ya especificados los parámetros se ingresó valores de precipitación del hietograma como se muestra en la figura 13. El grafico del hietograma una vez ingresado se lo puede verificar que corresponde al generado en el momento de computar los datos de precipitación previamente ingresados.

Figura 13

Gráfico del hietograma de diseño periodo de 2 años



Nota. En el gráfico se verifica que el programa vaya a trabajar en función a hietograma de diseño generado.

Ejecución del programa. Una vez ingresado los parámetros especificados se creó la simulación del modelo generado y se procedió a analizar el modelo.

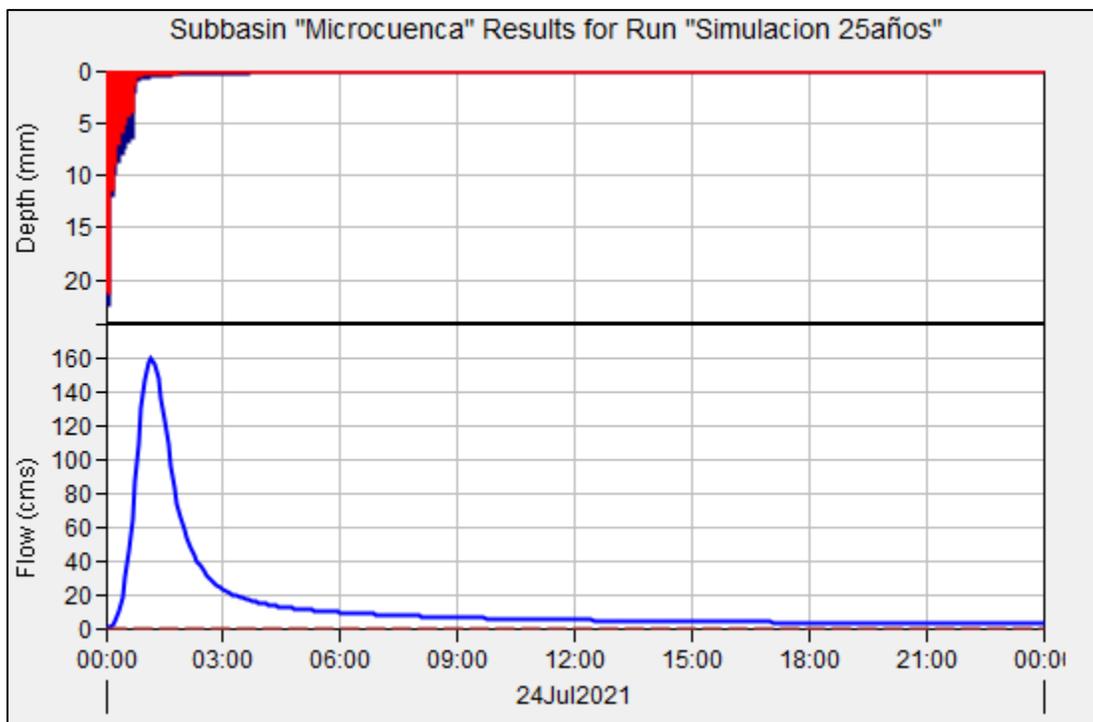
Resultados hidrogramas de diseño. Los resultados obtenidos son los hidrogramas de crecidas para los distintos periodos de retorno de la subcuenca del rio Mindo, tomando en cuenta todas las pérdidas que se dan en el trayecto del rio.

En la figura 14 se muestra uno de los hidrogramas en el cual se puede ver la máxima crecida que tiene en la salida de la subcuenca del rio Mindo en un intervalo de tiempo de 1 día de precipitaciones máximas, obtenido para la modelización en el programa HEC-HMS para un periodo de retorno de 25 años, así mismo se obtuvieron los

diferentes hidrogramas para los periodos de retorno de 2, 5 y 10 años que se encuentran en los Apéndices 3,4 y 5.

Figura 14

Hidrograma de crecida para un periodo de retorno de 25 años



Nota. El parte superior de la gráfica en color rojo se encuentra representada la máxima crecida en la entrada de la subcuenca y en la parte inferior en color azul el flujo, ambos en función del tiempo.

Elaboración del modelo de aluviones en HEC-RAS. El aplicativo HEC RAS permite elaborar un modelo bidimensional de aluviones mediante el uso de los hidrogramas previamente generados e información característica de la subcuenca, en donde su caudal varía especialmente en épocas de lluvias, para esto se debe ingresar diferentes parámetros que permitirán simular un modelo de aluviones en periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.

Se inicia creando un nuevo proyecto, tomando en cuenta que las unidades deben estar en el sistema métrico internacional. Una vez creado el proyecto, se aplica la opción de *RAS Mapper* el cual permite establecer dos cosas principales:

En primer lugar, se definió el sistema de referencia espacial del área de trabajo a modelar con la que se dará inicio a la modelización en dos dimensiones, esta tarea se logró a través de la herramienta *Set Projection for Project*.

Con esto se logró georreferenciar el modelo, utilizando archivos con extensión “.prj” (ESRI projection file) este archivo se encuentra vinculado con el modelo digital de elevaciones.

En segundo lugar, importar el modelo digital del terreno (DEM) al software HEC-RAS, en donde los formatos compatibles por el programa son: GeoTIFF (.tif0), Floating Grid Pont (.flt), ESRI grid files entre otros. Para cualquier formato elegido el archivo será comprimido, esto para optimizar el espacio de almacenamiento e incrementar la velocidad en el procesamiento.

Para esta segunda tarea se debió elegir la herramienta *New terrain* y consecuentemente elegir el archivo (.tif) que contiene el modelo digital de elevaciones (DEM)

Cabe mencionar que con estas tareas iniciales lo que se logra es que, el programa permita generar una imagen, la que se utilizara como base para establecer las condiciones de frontera de la zona 2D, en el momento de momento de ingresar los datos geométricos.

Generación de la geometría. En este apartado se generó la geometría de mallas estructuradas con su tamaño de celda en función al Modelo Digital de Elevación (DEM), esta permitió delimitar las condiciones de frontera y parámetros iniciales.

Se inició cargando la imagen de fondo que fue creada en el proceso anterior mediante la herramienta *RAS Mapper*, esto se realizó utilizando la herramienta *Background Pictures*, cargando la figura georreferenciada para este caso la que representa el DEM así evitando la generación de incongruencias.

Luego se procede a delimitar el área en dos dimensiones, esto empleando la herramienta *2D Flow Area Geometry*, herramienta que nos permitirá dibujar un polígono que va a ser aquel que delimite el área a estudiar, teniendo en cuenta que el polígono creado debe encontrarse dentro de la imagen de fondo referencial en tal caso que si esta se encuentra fuera generara un error, ya que no se tiene datos en esa parte del área.

Posterior a esto se debe asignar un valor de celda con la herramienta *2D Flow Area*, con esto se delimitará en cuantas celdas se va a dividir el área de estudio en función del tramo del río, para este estudio se definió un tamaño de celda de 10m, tomando en cuenta que entre menor es la escala de celda los resultados serán mejores, aunque el tiempo de proceso aumente. Para este punto también se deberá establecer un valor de Manning o coeficiente de rugosidad, el cual fue determinado mediante la tabla propuesta por Chow en 1959, donde establece una clasificación para canales de diferentes clases, viéndose involucrado el presente trabajo en la clase de corrientes naturales tipo montañosas, sin vegetación en el canal tomando un valor de 0.04.

Para finalizar el proceso de generación del mallado en dos dimensiones, se procedió a asignar las condiciones de borde en función del polígono del área de estudio

previamente realizado, esto mediante la herramienta *2D Area BC lines* la cual establece la entrada y salida del flujo.

Se establecieron dos entradas *cuenca arriba 1* para la entrada de flujo del río Mindo y *cuenca arriba 2* para la entrada de flujo del río Canchupi, ambas entradas se establecieron interpretando las entradas de flujo función del DEM.

Datos del flujo. Para esta fase se deberán ingresar los parámetros hidráulicos para el modelamiento en dos dimensiones, esto mediante la herramienta *Unsteady Flow Data*.

Para la condición de flujo en aguas arriba, se seleccionó la opción *Flow Hydrograph*, en este se introdujo las condiciones de borde como fueron los hidrogramas para los distintos periodos de retorno, en conjunto con el valor de la pendiente promedio del cauce principal que para este caso fue de 0.05 m/m, este valor fue calculado mediante el uso de ArcGIS el cual trabaja bajo las siguientes expresiones:

$$P_{vert} = \frac{n.e}{\sum l_{vert}} \quad (18)$$

$$P_{horiz} = \frac{n.e}{\sum l_{horiz}} \quad (19)$$

Donde:

e: equidistancia entre curvas de nivel

n: número de intersecciones

$\sum l_{vert}$: suma de las longitudes de las verticales de la cuadrícula

$\sum l_{horiz}$: suma de las longitudes de las horizontales de la cuadrícula

Siendo el cálculo de la pendiente media el promedio de las ecuaciones (15) y (16).

$$P_{media} = \frac{P_{vert} + P_{hor}}{2} \quad (20)$$

Por otra parte, para la condición de salida del flujo se elige la opción *Normal Depth*, en la cual se introduce de igual manera el valor de la pendiente de salida, esta permitirá al programa entender cómo va a comportarse el flujo al abandonar el área en la frontera de salida.

Simulación. Para ejecutar el proceso de modelación es necesario seguir criterios hidráulicos, entre estos el paso de tiempo óptimo ya que dentro de las modelaciones garantiza estabilidad y calidad de las simulaciones que se realizan.

La determinación de un adecuado paso del tiempo se da por el criterio de la Headquarters U.S. Army Corps of Engineers (USACE) que sugiere que el paso de tiempo óptimo este dado por la vigésima parte del intervalo de tiempo del crecimiento de la onda del hidrograma, siendo la expresión:

$$\Delta t \leq \frac{Tr}{20} \quad (21)$$

Donde:

Tr: tiempo de elevación del hidrograma

Δt : Paso de tiempo

Tenido como resultado de un paso de tiempo de 5 minutos debido a que el tiempo de elevación del hidrograma fue de 90 minutos, encontrándose en un rango de orden 1 a 5 minutos que según Brunner (2010), permite un manejo más gradual en los cambios del flujo (USACE, 2010)

Una vez realizado el procesamiento de datos se podrá visualizar los resultados en la herramienta Ras Mapper.

Zonas de influencia

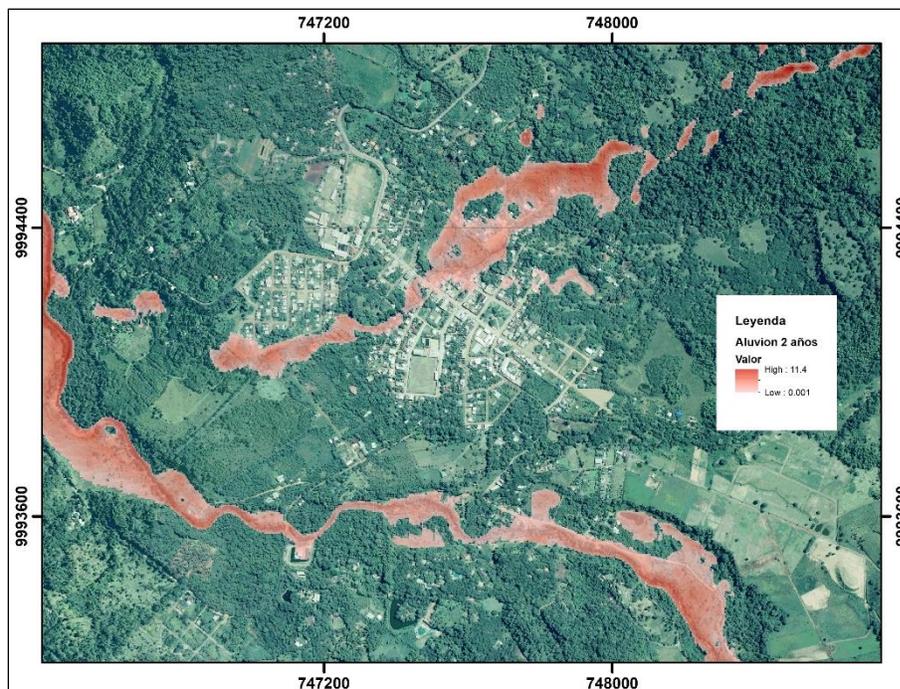
Para tener una visualización de las zonas de influencia se utilizó información catastral urbana, este proceso se lo realizó mediante la plataforma ArcGIS.

Procesamiento en el software ArcGIS. Se procede a importar los archivos para los diferentes periodos, con la herramienta *Mosaic to New raster* se procesa cada raster de acuerdo a su respectivo periodo de retorno.

Para determinar la zona de influencia se convirtió cada mosaico de ráster a polígono con la herramienta *Raster to Polygon* así teniendo una mejor visualización del área de influencia de este aluvión que permitirá posteriormente determinar la afectación económica ver figura 15.

Figura 15

Zona de afectación periodo de retorno 2 años



Análisis Costo Beneficio

En este estudio se usó la relación costo beneficio para establecer una comparación entre las pérdidas potenciales por aluviones y los costos de reasentamiento de la zona urbana de la parroquia Mindo; Randall (1987) menciona que todo proyecto que presente una relación B/C ≥ 1 es considerado aceptable. La relación costo beneficio viene dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{b_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{c_t}{(1+r)^t}} \quad (22)$$

Donde:

b_t son los beneficios del proyecto a largo plazo

c_t son los costos a largo del tiempo

t es la duración temporal

r es la tasa de reducción.

Para este estudio, los beneficios fueron los costos evitados de los posibles efectos del aluvión en cuanto a la infraestructura y comercio. Los costos indican el costo de reasentamiento de toda zona urbana de la parroquia de Mindo en donde se incluyen los costos de adquisición de tierras.

Dentro del sector turístico se incluyó pérdidas potenciales y fueron estimadas a partir de datos proporcionados por el departamento de catastros y avalúos del GAD de San Miguel de los Bancos, como reservas de hoteles, plazas en restaurantes, operaciones turísticas.

Las pérdidas de vivienda y propiedad se estimaron a partir de un enfoque debido a la falta de información catastral real en el GAD de San Miguel de los Bancos además no se consideró la población variable por motivo a que los modelos de aluvión no afectaron las zonas de crecimiento urbano. El enfoque fue estimado a partir de los porcentajes establecidos en el código de urbanismo de Galicia, España (Código de Urbanismo de Galicia, 2022) en donde se expone la relación proporcional que tienen las áreas de uso de suelo con los espacios mínimos que deben considerarse en construcciones en espacios sostenibles a organizar el suelo de una comunidad. Los espacios sobre la superficie del terreno están asociados a áreas industriales, residenciales, comerciales, verdes y comunitarias, hoteleras, de igual manera los servicios públicos básicos y comunicaciones. Se consideraron los costos de construcción de urbanizaciones en Granada, España (Colegio Oficial de Arquitectos de Granada, 2021) para estimar las pérdidas en dólares estadounidenses.

$$Cf = Incctn * cce \quad (23)$$

Donde:

Cf es el factor de corrección de los costos de construcción en (m^2)

cct son los costos de construcción en (m^2) por tipo de construcción

cce son los costos de construcción (m^2) proporcionados por el estudio ESPOLE

n es el número de lotes.

Posterior a esto, el costo de perdida por lote se calculó mediante la siguiente expresión:

$$Ctl = cct * a * (pcl + ptl)Cf \quad (24)$$

Donde:

Ctl es el total de costo por lote

cct es el costo por construcción (m^2) por tipo de construcción

a es el área del lote

pcl es el porcentaje del área construida en un lote

ptl es el porcentaje del área de terreno en un lote

Cf es el factor de corrección.

Por otra parte, los costos de reasentamiento incluido (RC) dos componentes principales, adquisición (L) de tierras y vivienda, el costo de los servicios públicos e

infraestructura para la nueva comunidad (Cn). Esta estimación que resulto más sencilla fue el precio de la tierra en el área (precio pagado en transacciones históricas) y el área de la tierra, para este proceso se utilizó herramientas SIG.

El costo de reasentamiento de la nueva comunidad (Cn) resulto un poco complicado ya que se incluyó valores para cada servicio público, edificios, espacios abiertos, escuelas, hospitales, redes de comunicación, edificios comerciales, entre otros

Debido a que no existe información sobre planificación y desarrollo de ciudades de Ecuador, se optó por utilizar directrices y regulaciones de las comunidades de Granada y Galicia para la planificación del uso y el suelo urbano. Esto debido a que estas comunidades comparten una visión similar de como mostrar la relación entre hombre-tierra con los pueblos del Ecuador. Estas normativas forman una relación de las personas con el área de edificación y estas con el espacio mínimo requerido que se debe tener en cuenta para construir un espacio sustentable. Este costo de reasentamiento viene dado por la ecuación (22) esta ecuación se la aplica tanto en la zona residencial (Tabla 21) como en el área de hoteles (Tabla 22).

$$RC = i = \ln L, Cn \quad (25)$$

CAPITULO IV

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones de aluviones para distintos periodos de retorno, al igual que la valoración económica en función de la metodología aplicada, los cuales reflejan el cumplimiento de los objetivos propuestos.

Resultados

La obtención de resultados muestra como el trabajo multidisciplinario puede transformarse en un instrumento de gran importancia en la gestión de riesgos ya que con su implementación se puede visualizar el antes y después del desarrollo de un desastre natural evitando así la exposición de la vida humana además de evaluar los costos que podría generar económicamente, por tal motivo sería de vital importancia en la toma de decisiones y en la creación de planes contingentes que nos servirán a la mitigación del riesgo.

Obtención de datos

Lo datos proporcionados por el GAD de San Miguel de los Bancos fueron procesados para obtener la información de la zona urbana de la parroquia Mindo, además se realizó la transformación de archivos. cad a .shp en el caso de lotes y construcciones, también fue digitalizada la información de la zonificación por metro cuadrado (Figura 16).

La información de uso y cobertura fue extraída en ArcGIS para delimitar la zona de estudio correspondiente a la subcuenca del río Mindo debido a que esta información abarcaba todo el cantón San Miguel de los Bancos. De la misma manera el procesamiento de los lotes, construcciones y zonificación obteniendo los siguientes resultados (Figura 17).

Figura 16

Shapefile de lotes y construcciones de la zona urbana de la parroquia rural de Mindo

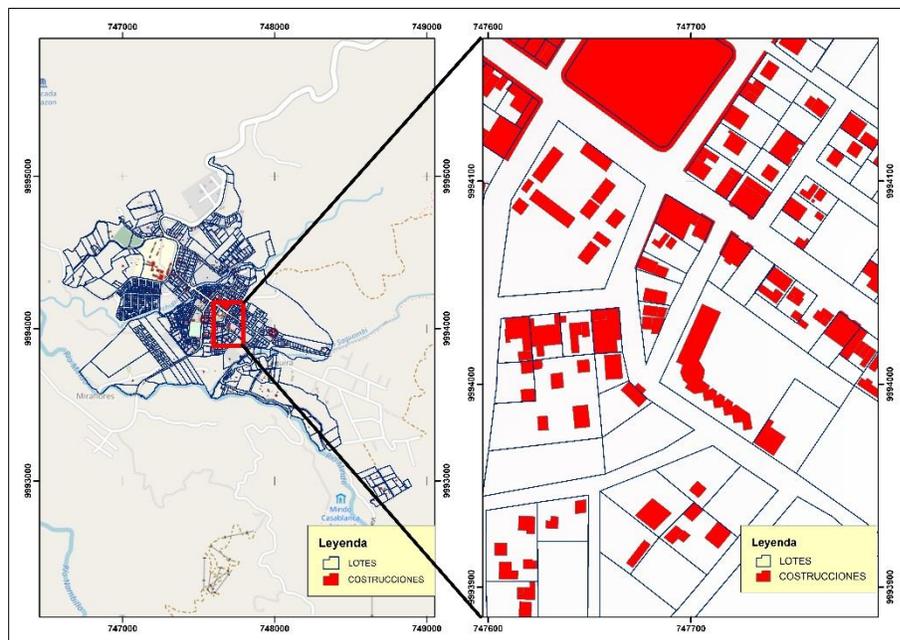
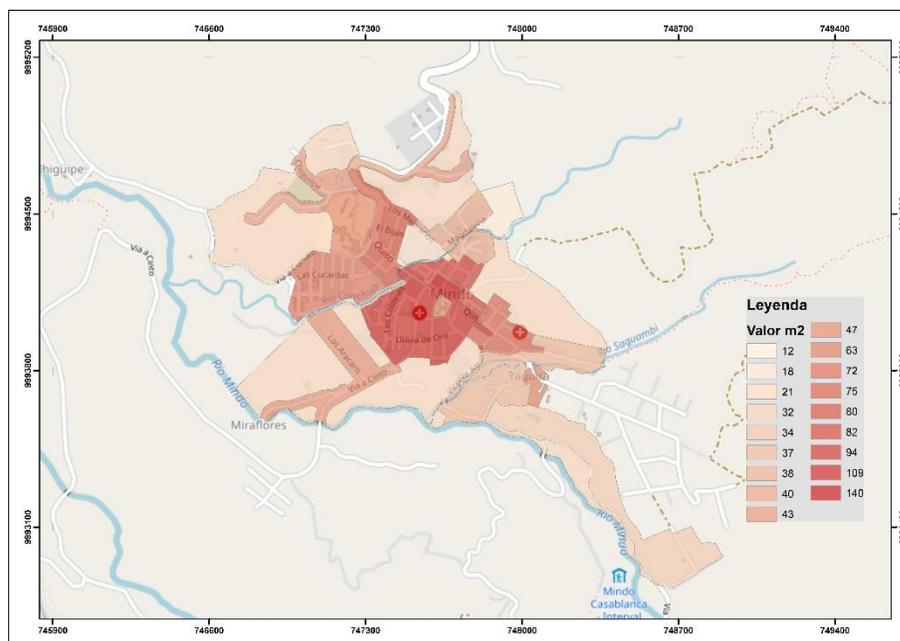


Figura 17

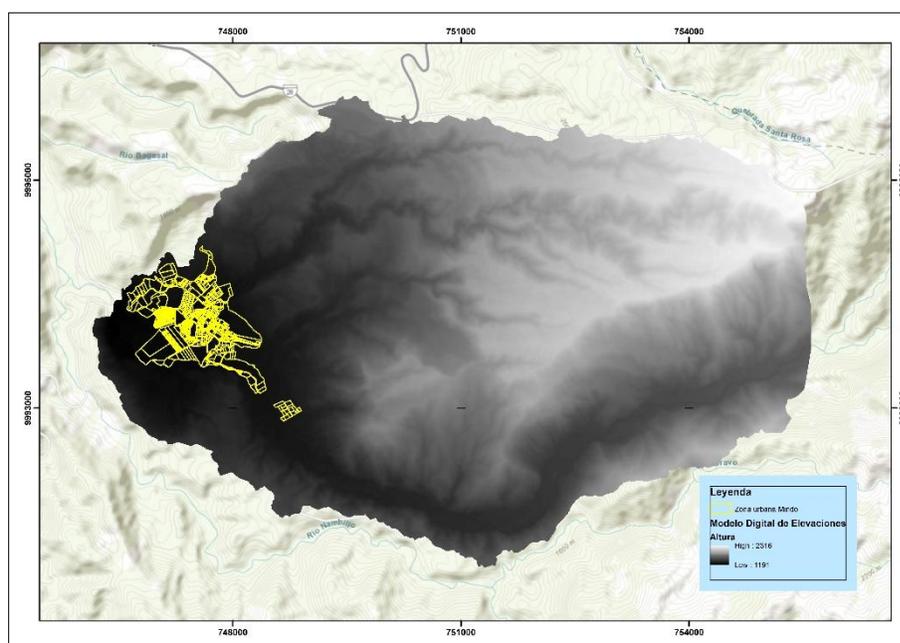
Shapefile de la zonificación de suelo de la zona urbana de la parroquia rural de Mindo



Por otra parte, la información proporcionada por SIG TIERAS fue el MDT del cantón San Miguel de los Bancos, el cual fue convertido a un modelo digital de elevaciones (DEM) el cual permitió trabajar en el modelo hidrológico (Figura 18).

Figura 18

Modelo digital de elevaciones de la subcuenca del río Mindo



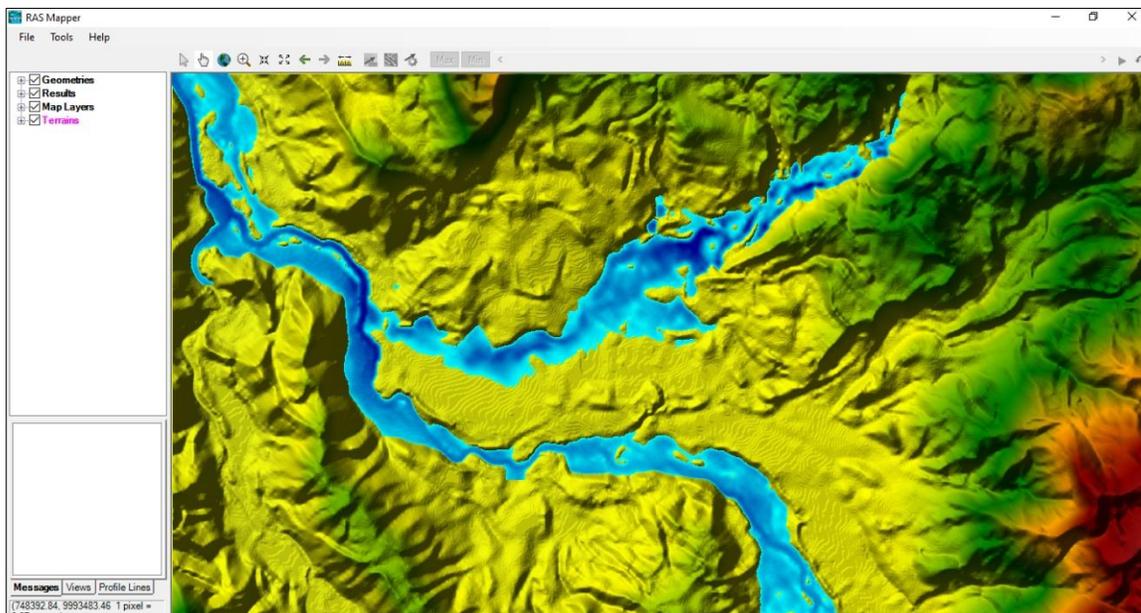
El procesamiento de la información fue parte fundamental ya que esta es la base para la elaboración del modelo de aluviones y su posterior valoración económica.

Modelamiento de datos (HEC-RAS)

En función de los shapefiles de cobertura vegetal y uso de suelo además del Modelo Digital de Elevaciones (DEM) se elaboraron los hidrogramas en el aplicativo HEC-HMS, siendo estos datos en conjunto con datos hidrológicos propio de la subcuenca los que fueron necesarios para generar el modelo de aluviones en el software HEC-RAS generando uno de los modelos ver figura 19.

Figura 19

Modelo de aluviones para un periodo de retorno de 25 años en HEC-RAS



Área de afectación.

Con los modelos obtenidos en HEC-RAS se procedió a determinar las zonas de influencia (Tabla 24), para esto se cargó la información proporcionada por el GAD de San Miguel de los Bancos como de los modelos obtenidos en la plataforma ArcGIS para realizar la respectiva determinación de la zona de influencia ante un posible aluvión para los periodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años en la parroquia de Mindo ver figuras 20, 21, 22 y 23.

Tabla 15

Área de afectación urbana para distintos periodos de retorno

Periodos de retorno (años)	Área de afectación urbana (m2)
2	213 366

5	302 814
10	344 424
25	440 608

Figura 20

Zona de influencia por aluvión para un periodo de retorno de 2 años en la zona urbana de la parroquia Mindo

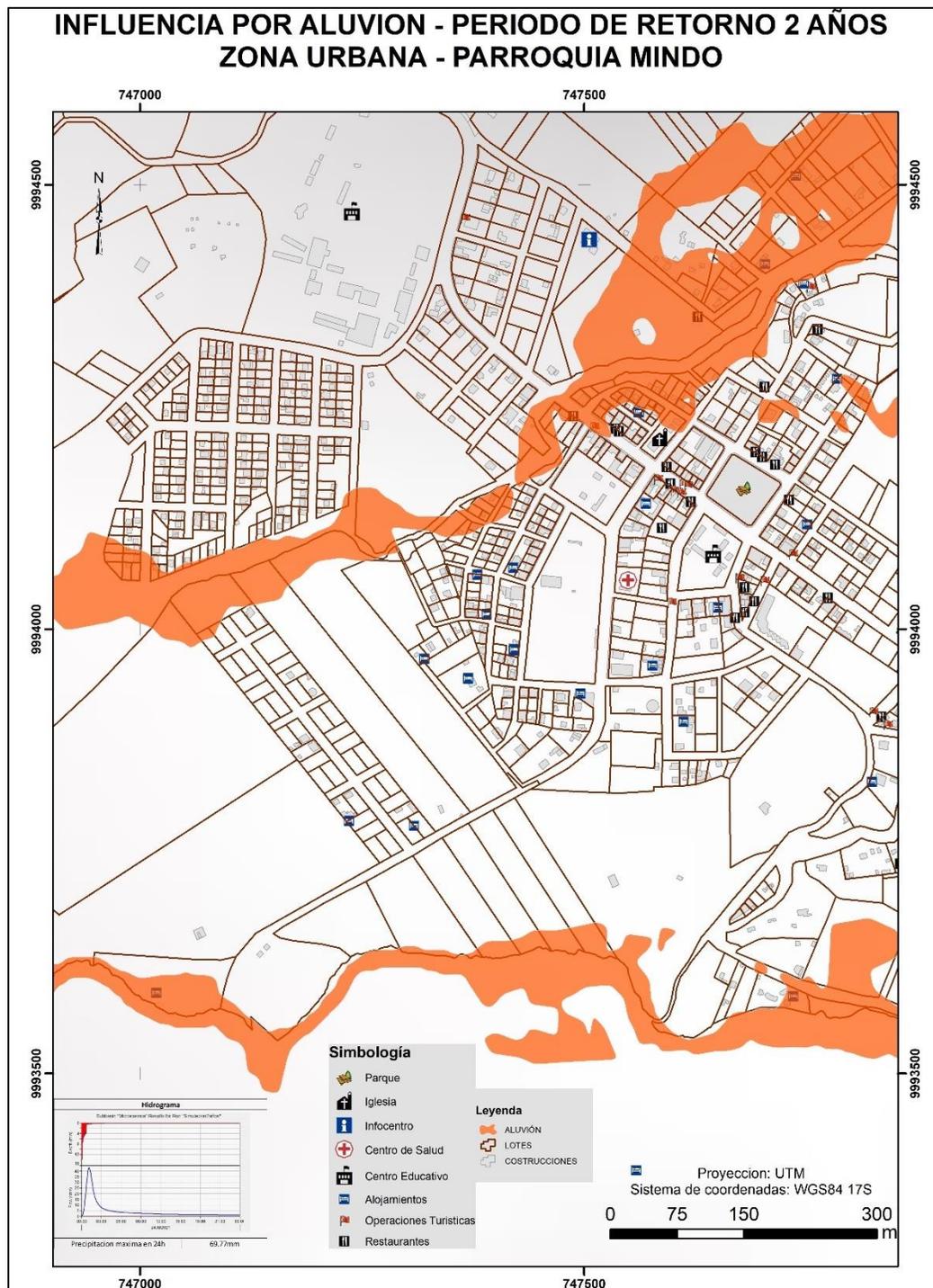


Figura 21

Zona de influencia por aluvión para un periodo de retorno de 5 años en la zona urbana de la parroquia Mindo.

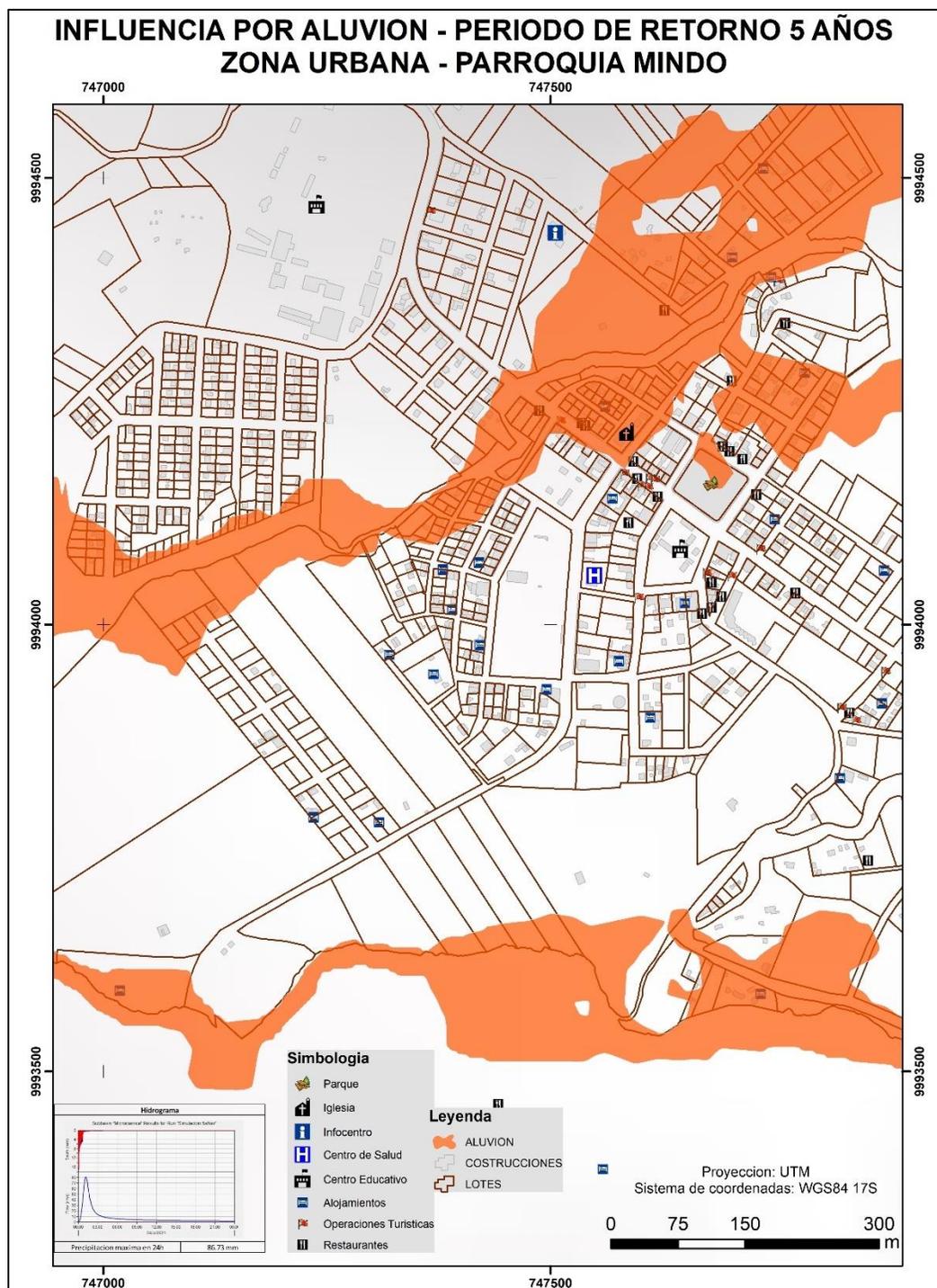


Figura 22

Zona de influencia por aluvión para un periodo de retorno de 10 años en la zona urbana de la parroquia Mindo.

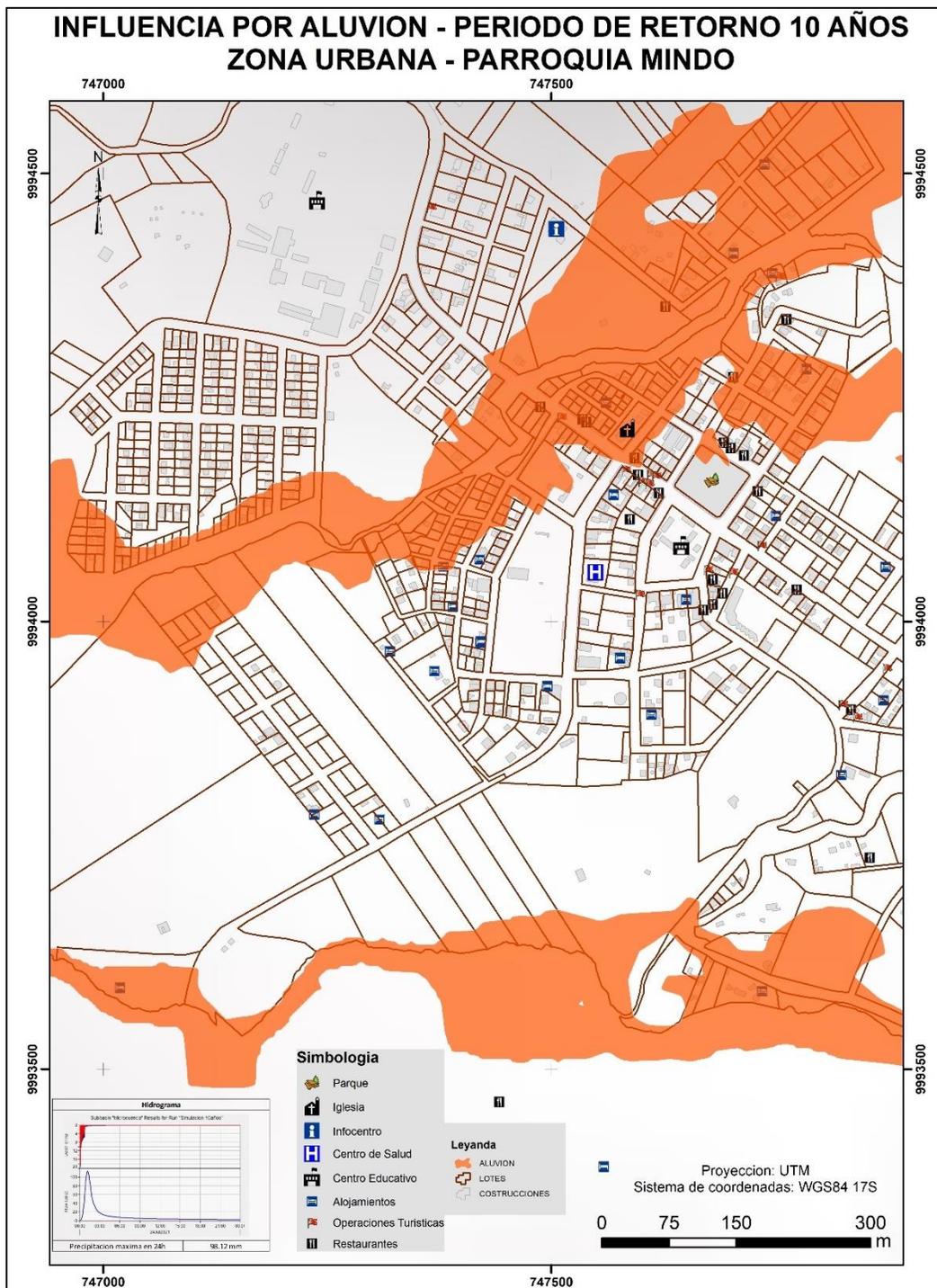
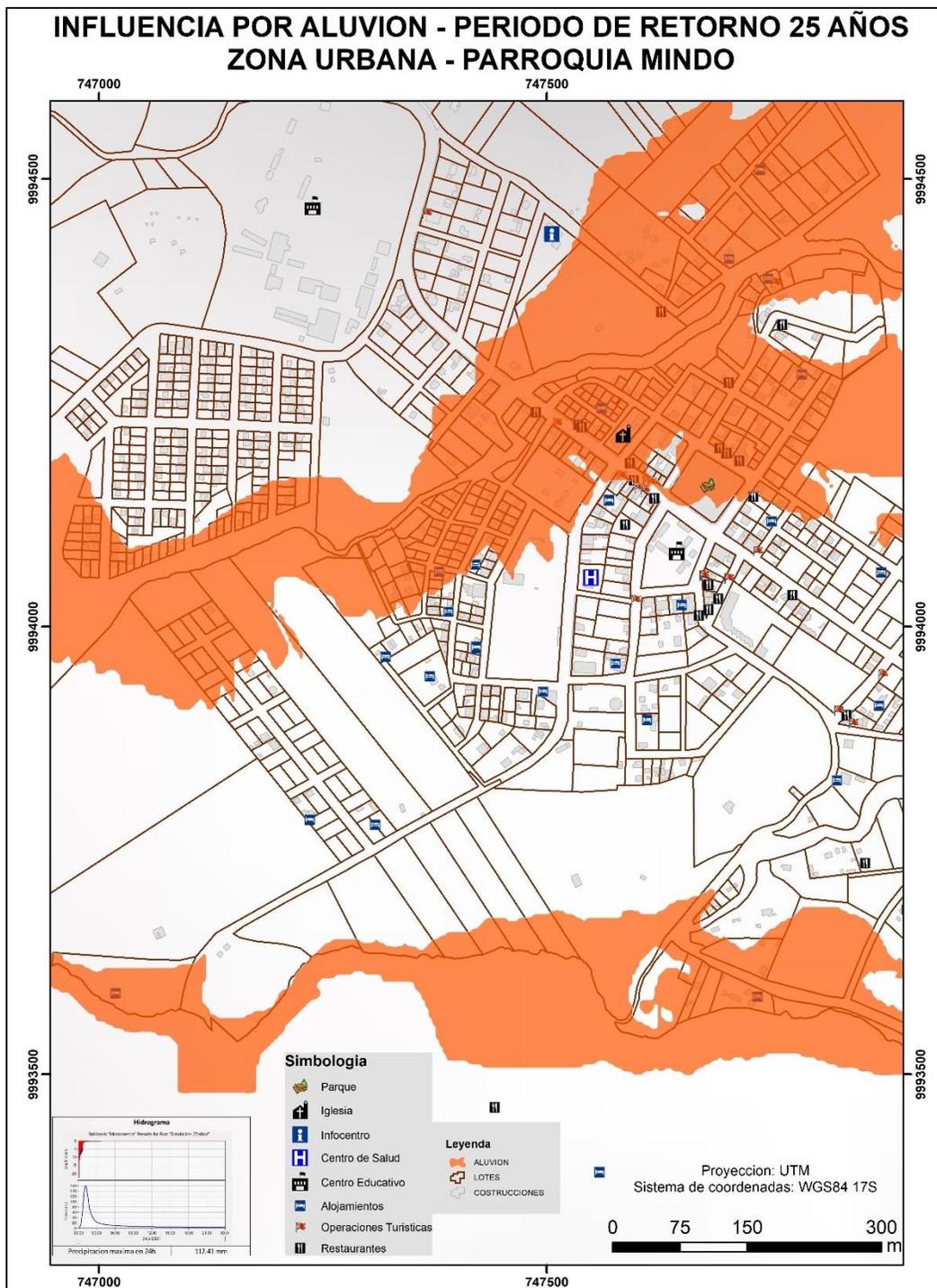


Figura 23

Zona de influencia por aluvión para un periodo de retorno de 25 años en la zona urbana de la parroquia Mindo.



El centro urbano de la parroquia de Mindo se ve seriamente vulnerable hacia la presencia de un posible aluvión debido a que gran parte de su economía viene por

medio del sector turístico, las mismas que se ubican a orillas tanto del río Mindo como del río Canchupi.

Análisis costo beneficio

En este estudio se asume que un aluvión afectaría al centro urbano de la parroquia Mindo, se calculó y evaluó cuatro escenarios diferentes para estimar las pérdidas económicas en donde se usó la relación costo beneficio para establecer una comparación entre las pérdidas potenciales por aluviones y los costos de reasentamiento de la zona urbana de la parroquia Mindo

Dentro del sector turístico se incluyó pérdidas potenciales y fueron estimadas a partir de datos proporcionados por el departamento de avalúos y catastros del GAD de San Miguel de los Bancos, como reservas de hoteles, plazas en restaurantes, operaciones turísticas (Tablas 16,17 y 18).

Tabla 16

Pérdidas económicas anuales en hospedaje para el escenario 4 (25 años).

Nombre comercial	Clasificación	Categoría	Total habitaciones	Total camas	Total plazas	Costo por noche	Plazas anuales	Costos Anuales
Jardin de los Pájaros	Hostal	1 Estrella	8	12	17	\$12	1768	\$21.216
La Tranquilidad	Hostal	1 Estrella	9	14	14	\$15	1456	\$21.840
Hostal el Bosque de Mindo	Hostal	1 Estrellas	13	33	41	\$50	4264	\$213.200
Saguamby	Hostería	4 Estrellas	6	3	18	\$79	1872	\$147.888

Los Tucanes de Mindo Real	Hostería	3 Estrellas	14	40	42	\$27	4368	\$117.936
La Bicok	Hostal	3 Estrellas	6	8	8	\$72	832	\$59.904
La Casa de Cecilia	Hostal	1 Estrella	11	26	21	\$32	2184	\$69.888
El Monte Sustainable	Hostería	3 Estrellas	6	12	18	\$150	1872	\$280.800
La Posada de Mindo	Hostal	3 Estrellas	14	30	30	\$50	3120	\$156.000
Mindo lago	Hostería	3 Estrellas	21	56	59	\$124	6136	\$760.864
Hosteria Casa de Piedra	Hostería	3 Estrellas	14	34	35	\$90	3640	\$327.600
Guest House Mindo	Casa de Huespedes	categoría Unica	4	10	10	\$27	1040	\$28.080
TOTAL PERDIDAS HOSPEDAJE								\$2.205.216

Nota. Los datos para los períodos de retorno de 2,5 y 10 años se encuentran en los Apéndices 6, 7 y 8.

Tabla 17

Pérdidas económicas anuales en alimentación para el escenario 4 (25 años).

Nombre comercial	Actividad	Total Mesas	Total Plazas	Costo promedio por plato	Plazas Anuales	Costos Anuales
Pizzeria el Tigrillo	Restaurante	11	44	\$5	4576	\$137.280
Cafe Mindo Tres Americas	Restaurante	8	32	\$5	3328	\$99.840

Misqui Quinde	Fuente de Soda	3	12	\$5	1248	\$37.440
Fuera de Babilonia	Restaurante	12	48	\$5	4992	\$149.760
El Chef de Mindo	Restaurante	12	48	\$5	4992	\$149.760
Acuario de Mindo	Restaurante	10	40	\$5	4160	\$124.800
El Sabor de la Chulita	Restaurante	6	24	\$5	2496	\$74.880
La Casa del Frances	Bar	5	20	\$5	2080	\$62.400
La Casa del Frances	Cafetería	5	20	\$5	2080	\$62.400
Mindo Cascai	Restaurante	12	48	\$5	4992	\$149.760
La Terrazas de Dana	Restaurante	4	16	\$5	1664	\$49.920
TOTAL PERDIDAS ALIMENTACION						\$1.098.240

Nota. Los datos para los períodos de retorno de 2,5 y 10 años se encuentran en los Apéndices 9, 10 y 11.

Tabla 18

Pérdidas económicas anuales en operación turística para el escenario 4 (25 años).

Razón social	Actividad	Costo por turista	Costo Anual
Tinasoria s.a.	Operador turístico	\$20	\$2,835,040

Cloudforest Tours Cia Ltda	Operador turístico	\$10	\$1,417,520
Mindo Birding Expeditions	Agencia de	\$25	\$3,543,800
Mindobirding Cia.ltda.	viajes dual		
Sabinatour Cia. Ltda.	Agencia de Viajes Dual	\$15	\$2,126,280
Oromi Operadora Roca Mirador c.i.	Operador turístico	\$10	\$1,417,520
Mindo Green Turismo Ecologico c.i.	Operador turístico	\$15	\$2,126,280
Endemictours Agencia de Viajes Cia. Ltda.	Operador turístico	\$15	\$2,126,280
Mindocloud Aventure Connection Cia. Ltda.	Operador turístico	\$20	\$2,835,040
593 Andariegos Andariegostravel Cía Ltda.	Operador turístico	\$20	\$2,835,040
Casa de Cecilia Mindo Servicios Turísticos Cia. Ltda.	Operador turístico	\$6	\$779,636
TOTAL PÉRDIDAS OPERACIÓN TURISTICA			\$22,042,436

Nota. Los datos para los períodos de retorno de 2,5 y 10 años se encuentran en los Apéndices 12, 13 y 14.

Las pérdidas potenciales de infraestructura se midieron en función de la inversión local y nacional como la carretera y el parque recreativo. La determinación de este costo se midió a partir de la rendición de cuentas del Consejo Provincial de la

Provincia de Pichicha con un costo de \$1.993.315,31 (GAD Provincial de Pichincha, 2020)

Como ya se había sobredicho las pérdidas de vivienda y propiedad se estimaron a partir de un enfoque de los porcentajes establecidos en el código de urbanismo de Galicia, España esto debido a la falta de información catastral real en el GAD de San Miguel de los Bancos (Código de Urbanismo de Galicia, 2022), además no se consideró la población variable por motivo a que los modelos de aluvión no afectaron las zonas de crecimiento urbano (Tabla 19) los datos completos se encuentran en el Apéndice 15.

Tabla 19

Perdidas de vivienda y propiedad por m2 para el escenario 4 (25 años).

Área (m2)	Tipo de Vivienda	CCT	Costo de construcción
29083,48	Vp	293,91	\$7.694.667,89
18810,66	Vma	552,73	\$10.397.302,87
66,07	Vma Chef De Mindo	552,73	\$36.521,25
326,88	Vma Pizzeria El Trigrillo	552,73	\$180.676,15
114,36	Vma Ecological Oper	605,38	\$69.231,75
58,73	Vma Oromi Operacion	605,38	\$35.552,29
70,09	Vma Choco Birding Viajes	605,38	\$42.432,26
96,92	Vma Casa De Cecilia	763,30	\$73.981,32
162,28	Vma Saguamby	763,30	\$123.866,29
139,76	Vma El Bosque De Mindo	763,30	\$106.675,40
299,85	Vma Jardin De Pajaros	605,38	\$181.521,03

125,55	Vma La Bicok	763,30	\$95.832,44
139,82	Vma Casa De Piedra	763,30	\$106.724,27
76,64	Vma Restfuera De Babilonia	552,73	\$42.360,54
54,96	Vma Mindo Birding	605,38	\$33.273,57
69,27	Vma Guest House Mindo	763,30	\$52.875,79
112,72	Vma La Casa Del Frances	763,30	\$86.039,74
TOTAL PERDIDAS INFRAESTRUCTURA			\$32.129.925,94

Posterior a esto, el costo de perdida por lote en cada escenario se calculó con la ecuación (24). Los cálculos resultantes para el peor escenario se muestran en la tabla 20, los datos completos se encuentran en el Apéndice 16.

Tabla 20

Perdidas de lotes por m2 para el escenario 4 (25 años)

Número de lotes	Área (m2)	PRECIO m2 (\$ USD)	Costo Total (\$ USD)
1	4.014,94	12	48.179,28
3	19.853,83	18	357.368,94
17	196.438,17	21	4.125.201,57
3	14.617,04	32	467.745,28
1	100,77	34	3.426,18
13	29.893,57	37	1.106.062,09
55	339.637,89	38	12.906.239,82
4	22.505,91	40	900.236,40
20	55.245,64	43	2.375.562,52

1	68.336,13	47	3.211.798,11
48	13.170,60	63	829.747,80
6	5.556,80	72	400.089,60
11	25.763,78	75	1.932.283,50
18	255.696,50	80	20.455.720,00
61	22.299,82	82	1.828.585,24
87	103.626,08	84	8.704.590,72
7	1.573,40	109	171.500,60
8	5.772,81	140	808.193,40
TOTAL PÉRDIDAS TERRENO			\$61.668.785,74

Por otra parte, para el costo de reasentamiento es de suma importancia el costo de adquisición de tierras este resultado más sencillo ya que fue el precio de la tierra en el área es decir el precio pagado en transacciones históricas y el área de la tierra (Tabla 21), los datos se encuentran en el Apéndice 17.

Tabla 21

Valor por m2 de lotes dentro de la zona urbana de Mindo

Cantidad de lotes	Área (m2)	Precio por m2 (USD)
1	2.014,15	12
207	142.666,37	15
97	315.065,66	18
253	197.409,61	20
43	336.251,47	21

19	55.644,99	32
1	100,77	34
20	132.197,47	35
25	5.935,04	40
46	66.723,72	43
60	141.487,58	45
2	70.397,14	47
50	30.538,27	52
58	16.769,89	64
9	5.492,01	80

Siendo así que el costo de reasentamiento de la nueva comunidad resulto un poco complicado ya que se incluyó valores para cada servicio público, edificios, espacios abiertos, escuelas, hospitales, redes de comunicación, edificios comerciales, entre otros.

Es así que para determinar los costos de red de suministros y servicios básicos se basó en el contrato de construcción del sistema de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas negras de la ciudad de San Miguel de Los Bancos basándose en el área urbana a reasentarse y el número de pobladores de Mindo dando un valor de \$10.268.071,96 (GAD Municipal San Miguel de los Bancos, 2015). Por otro para el cálculo del valor de la red de comunicaciones según la rendición de cuentas por parte del GAD provincial de Pichincha el presupuesto destinado es de \$8.166.545,38 (GAD Provincial de Pichincha, 2019).

La determinación del costo de la infraestructura educativa se midió a partir de la inversión nacional en la construcción de un centro educativo con un costo de \$5.519.249,30 según el (Sistema Oficial de Contratación Pública, 2017). Para

determinar el espacio público comunitario se utilizó información catastral del padrón urbano proporcionado por el GAD San Miguel de los Bancos donde se encuentra clasificada la infraestructura comunitaria como se indica en la tabla 22.

Tabla 22

Padrón urbano de áreas comunales y espacios abiertos.

Propietario	Dirección	Avalúo
		Comercial (USD)
GAD Parroquial De Mindo	Central Sucre 9 De Octubre	82.271,62
GAD San Miguel De Los Bancos (Area Comunal)	Ecuador La Providencia	75.105,60
GAD San Miguel De Los Bancos (Área De Protección)	El Progreso Las Gralarías Rio Canchupi Y Gralarías	173.041,31
GAD San Miguel De Los Bancos (Área Verde)	El Progreso Rio Canchupi El Hornero	63.033,22
GAD San Miguel De Los Bancos (Área Verde)	Mindo Alto Calle S/N Calle S/N	44.309,68

GAD San Miguel De	Virgen Del Cisne	
Los Bancos (Área Verde)	Sucre Avenida	84.283,07
	Quito Y Sixto Duran	
	Ballen	
GAD San Miguel De	El Progreso El	
Los Bancos Área De Protección	Solitario Los	112.089,91
	Yumbos Y Av Quito	
GAD San Miguel De	La Magda La	
Los Bancos Área Verde	Magdalena Vía	50.951,37
	Mindo - Quito	
GAD San Miguel De		
Los Bancos Área Verde	El Progreso S/N	41.105,73
	Balcon De Mindo	
GAD San Miguel De	Vía A Mindo	
Los Bancos Área Verde	Garden Mite	73.003,23
	Urbano Y Estero	
	Saguambi	

Fuente: GAD San Miguel de los Bancos (2021)

A causa de la inexistencia de información sobre planificación y desarrollo de ciudades de Ecuador, se optó por utilizar directrices y regulaciones de las comunidades de Granada y Galicia para la planificación del uso y el suelo urbano. Este costo de reasentamiento viene dado por la ecuación (25) esta ecuación se la aplica tanto en la zona residencial (Tabla 23) como en el área de hoteles (Tabla 24).

Tabla 23

Costo de construcción de la zona residencial para el reasentamiento de la zona urbana de Mindo.

Área (m2)	Tipo de vivienda	CCT	Costo de construcción
19120,74	Vm	620,45	\$9.275.130,92
16397,25	Vm	635,64	\$10.422.806,26
10244,95	Vm	665,91	\$6.822.243,93
173,09	Vm	679,54	\$117.620,14
2441,33	Vm	726,45	\$1.773.502,72
245,15	Vm	856,81	\$190.456,41
TOTAL ZONA RESIDENCIAL			\$30.689.530,98

Tabla 24

Costo de construcción del área de hoteles para el reasentamiento de la zona urbana de Mindo.

Área (m2)	Tipo de vivienda	CCT	Total costo de construcción
20,49	Vma Mindo	856,81	\$17.553,58
	Cascai		
46,50	Vma Casa De Cecilia	856,81	\$39.841,22

Área (m2)	Tipo de vivienda	CCT	Total costo de construcción
50,42	Vma Casa De Cecilia	856,81	\$43.202,85
75,63	Vma Saguamby	856,81	\$64.801,38
139,76	Vma El Bosque De Mindó	856,81	\$119.743,19
34,36	Vma Jardin De Pajaros	679,535	\$23.352,13
132,74	Vma Jardin De Pajaros	679,535	\$90.202,67
53,81	Vma La Bicok	856,805	\$46.102,27
71,74	Vma La Bicok	856,805	\$61.469,70
114,36	Vma Ecological Oper	679,535	\$77.712,68
139,82	Vma Casa De Piedra	856,805	\$119.798,05
34,18	Vma La Casa Delfrances	856,805	\$29.284,65

Área (m2)	Tipo de vivienda	CCT	Total costo de construcción
78,54	Vma La Casa Delfrances	856,805	\$67.295,01
76,64	Vma Restfuera De Babilonia	620,445	\$47.549,73
41,37	Vma Saguamby	856,805	\$35.442,38
45,28	Vma Saguamby	856,805	\$38.796,22
54,96	Vma Mindo Birding	679,535	\$37.349,60
69,27	Vma Guest House Mindo	856,805	\$59.353,10
132,74	Vma Jardin De Pajaros	679,535	\$90.202,67
70,09	Vma Choco Birding Viajes	679,535	\$47.630,24
20,49	Vma Mindo Cascai	856,805	\$17.553,58
46,50	Vma Casa De Cecilia	856,805	\$39.841,22

Área (m2)	Tipo de vivienda	CCT	Total costo de construcción
50,42	Vma Casa De Cecilia	856,805	\$43.202,85
75,63	Vma Saguamby	856,805	\$64.801,38
139,76	Vma El Bosque De Mindó	856,805	\$119.743,19
34,36	Vma Jardin De Pajaros	679,535	\$23.352,13
132,74	Vma Jardin De Pajaros	679,535	\$90.202,67
53,81	Vma La Bicok	856,805	\$46.102,27
71,74	Vma La Bicok	856,805	\$61.469,70
114,36	Vma Ecological Oper	679,535	\$77.712,68
139,82	Vma Casa De Piedra	856,805	\$119.798,05
34,18	Vma La Casa Delfrances	856,805	\$29.284,65

Área (m2)	Tipo de vivienda	CCT	Total costo de construcción
78,54	Vma La Casa Delfrances	856,805	\$67.295,01
76,64	Vma Restfuera De Babilonia	620,445	\$47.549,73
41,37	Vma Saguamby	856,805	\$35.442,38
45,28	Vma Saguamby	856,805	\$38.796,22
54,96	Vma Mindo Birding	679,535	\$37.349,60
69,27	Vma Guest House Mindo	856,805	\$59.353,10
132,74	Vma Jardin De Pajaros	679,535	\$90.202,67
70,09	Vma Choco Birding Viajes	679,535	\$47.630,24
TOTAL ÁREA DE HOTEL			\$6.403.942,96

Finalmente, luego de determinar las perdidas en cada escenario, se procedió a recopilar todos los cálculos tal como se observa en la tabla 25.

Tabla 25

Pérdidas económicas estimadas si ocurre un aluvión en el centro urbano de la parroquia Mindo asumiendo tiempos de retorno de 2 años (Escenario 1), 5 años (Escenario 2), 10 años (Escenario 3), 25 años (Escenario 4).

	Escenario 1 (2 años)	Escenario 2 (5 años)	Escenario 3 (10 años)	Escenario 4 (25 años)
Pérdidas de Tierras	\$34.853.507,54	\$53.130.055,48	\$60.023.086,51	\$61.668.785,74
Pérdidas de Propiedad	\$4.429.869,99	\$10.673.410,54	\$26.413.798,70	\$32.129.925,94
Infraestructura	\$1.993.315 ,31	\$1.993.315,31	\$1.993.315 ,31	\$1.993.315,31
Pérdidas Turísticas	\$8.465.132,00	\$14.416.012,00	\$20.444.268,00	\$25.345.892,00
Total Pérdidas	\$49.741.824,84	\$80.212.793,33	\$108.874.468,53	\$121.137.918,99

En todos los escenarios las pérdidas son significativas; en el primer escenario alcanza casi los 50 millones de dólares y aumenta a casi los 121 millones de dólares en el cuarto escenario. Cada escenario representa el costo económico evitado cuando se compara con el costo de reasentamiento. El análisis no tuvo en cuenta varios costos como pérdidas de mercado, comercio, compensación de consumo personal, locales como impuestos a la propiedad e impuestos gubernamentales como impuesto al valor agregado. Por tanto, estas estimaciones podrían ser mucho más elevadas.

El análisis muestra que las pérdidas de tierras y pérdidas turísticas son los valores más importantes para cada escenario, que combinadas alcanzan un promedio

de 70 millones de dólares de todos los escenarios, lo que representa el 58% del costo total.

El análisis actual no considero los costos de recuperación y reedificación. En este tipo de desastre natural las experiencias de otras ciudades del mundo pueden mostrar que se necesitarían varias semanas para satisfacer necesidades básicas como agua, infraestructura y los negocios. Luego en una fase diferente de este estudio, estos costos también deben evaluarse.

En cuanto al costo de reasentamiento, la adquisición de tierras alcanzo casi los 34 millones de dólares este valor se basa en el área de extensión de la tierra de 1603216,03 m² multiplicado por 21\$ que es el precio promedio en las transacciones de tierras locales.

El costo de reasentamiento para un nuevo centro urbano parroquial alcanzo los 96 millones de dólares. Este valor incluye costo residencial, espacios abiertos y públicos, un parque recreativo, red de comunicación, edificios comerciales, áreas hoteleras, iglesia, centro de salud, otros servicios sociales y públicos, así como espacios comunitarios abiertos. El sumario de los costos de reasentamiento detallado en la tabla 26 y proporciona un costo total para el reasentamiento de aproximadamente \$95 624 974,24.

Tabla 26

Costos de construcción

Concepto	Costos basados en áreas estimadas
Red de suministros y servicios básicos	\$10.268.071,96
Zona residencial	\$30.689.530,98

Espacios abiertos de parques y áreas	\$752.719,80
Infraestructura educativa	\$5.519.249,30
Red de comunicaciones	\$8.166.545,38
Área de hotel	\$6.403.942,96
Espacio público comunitario	\$157.377,21
Adquisición de tierras	\$33.667.536,65
COSTO TOTAL DE REASENTAMIENTO	\$95.624.974,24

Se selecciono este primer enfoque para evaluar si el reasentamiento es factible porque proporciona más detalle sobre los diferentes costos involucrados en la reconstrucción de la parroquia. Sin embargo, como en el caso de costo evitado, el reasentamiento es un proceso que llevaría varios meses, incluso años. Limitamos nuestro análisis a construir un nuevo centro urbano, también significa contactar a los beneficiarios, discutir alternativas, socializar para lograr consensos en la población. Todos estos costos de transacción deben considerarse y aumentarían el costo de reasentamiento.

El costo estimado de reasentamiento se comparará con el costo evitado previamente establecido para establecer la relación costo evitado-costo de reasentamiento (Tabla 27).

Tabla 27

Relación costo evitado/reasentamiento

Costos evitados diferentes escenarios				Costo reasentamiento
1	2	3	4	
				\$95.624.974,2

Costos	\$49.741.824,8	\$80.212.793,3	\$108.874.468,5	\$121.137.918,9
Relacion B/C	0,52	0,84	1,14	1,27

Como se indica la en la tabla 27 en el escenario 1 (2 años) y en el escenario 2 (5 años) no es factible realizar un reasentamiento, ya que económicamente es mucho más costoso que realizar trabajos de prevención y mitigación, muy por el contrario, en el escenario 3 (10 años) y en el escenario 4 (25 años) la relación indica que si es factible un proyecto de reasentamiento desde una perspectiva económica. Por lo tanto, la relación implica que estos dos escenarios tienen un valor más alto que cualquier costo de reasentamiento, lo que significa que en términos de vivienda e infraestructura y reubicación empresarial del centro urbano de la parroquia Mindo deben ser consideradas por las autoridades y los formuladores de políticas.

Análisis y discusión de resultados

A continuación, en base al análisis geoespacial y económico de la zona de estudio se presenta bases para una propuesta de estrategias de tratamiento de riesgo a fin de reducir pérdidas socioeconómicas.

Los procesos dinámicos que actúan en las geoformas donde la población se ha establecido en la zona de estudio, los cuales son el resultado de las características geológicas, geomorfológicas y climáticas. Estos procesos constituyen el factor preventivo principal en la detección de catástrofes naturales como el aluvión.

El centro urbano de Mindo confluye en una zona de transición entre las geoformas terraza media y coluvión antiguo evidenciado en el material heterogéneo identificado.

Las características geológicas en las cercanías al río Canchupi en donde se identificaron depósitos aluviales y coluvio aluviales y los barrios más susceptibles son: El Progreso, Los Ceibos, Las Bugambillas y Virgen del Cisne, en donde se han producido aluviones recurrentes con afectaciones a infraestructura.

Los suelos que predominan en el sector a nivel superficial son de textura franco arenosas teniendo un drenaje interno bueno sin embargo los suelos identificados en el coluvión antiguo poseen escasa o nula diferenciación de horizontes.

La cantidad y tamaño de los poros de estos materiales facilita la infiltración del agua, sin embargo, bajo exposición permanente existe sobresaturación, la fuerza del agente erosivo provoca el desprendimiento y acarreo de material desde las zonas altas acumulándose en zonas con cotas más bajas en donde se producen aluviones.

La precipitación promedio anual es de 3946,60 mm, en las geoformas inspeccionadas se evidencia el depósito de material transportado cuando existe incremento de caudal del río y supera la capacidad de carga al reducir bruscamente su velocidad en consecuencia a la disminución de la pendiente topográfica, originándose desbordamientos y depósitos de materiales que corresponden a arena, limos, arcilla y grandes cantos redondeados. También se observó que existe un paleo cauce que el río recupera durante su periodo de crecida afectando a las infraestructuras dispuestas a escasos metros.

Estrategias de mitigación. En función de los datos presentados y la información recopilada se propone las siguientes estrategias de mitigación:

- En sectores claves como los puentes ubicados en los ríos Canchupi y Mindo debido a la acumulación de material en el cauce del río es necesario un proceso de desazolve planificado.

- Como la parroquia no dispone de un adecuado manejo de las aguas superficiales se debería realizar lo antes posible un mejoramiento del sistema de alcantarillado en las zonas próximas a los ríos.
- Implementar acciones estructurales o no estructurales que garanticen la estabilidad del sitio actuando bajo el Art. 140 del COOTAD que indica “Los gobiernos autónomo descentralizados municipales/ distritos metropolitanos adoptaran obligatoriamente normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos en sus territorios como propósitos de proteger a las personas , colectividades y la naturaleza, en sus procesos de ordenamiento territorial” estas pueden ser obras de retención y control de sedimentos o conducción de flujos así como proyectos de reasentamiento.
- A la secretaria del agua (SENAGUA) en base al Art. 12 de la ley del agua, recuperación, protección y conservación de fuentes. Art. 14 cambio de uso del suelo; realice una inspección técnica para determinar la franja de protección hídrica.
- Al GAD municipal de san Miguel de los Bancos implementar las acciones ineludibles para asegurar la vida de las personas y salvaguardar los recursos públicos actuar bajo las consideraciones emitidas en el Art. 11 de la ley de ordenamiento territorial uso y gestión del suelo, literal 3, que manifiesta, “Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos identificarán los riesgos naturales y antrópicos del ámbito local” además en el Art. 18 suelo urbano de protección “ corresponde al municipio la clasificación del suelo urbano (restringida la ocupación) debido a los factores de riesgos para los asentamientos humanos”.

- Se debe considerar que este informe es preliminar y una base técnica para la construcción de un criterio profundo y para mayor especificidad es indispensable que se incluya un monitoreo permanente del sector debido a que las condiciones dinámicas naturales son cambiantes, por parte del GAD San Miguel de los Bancos.
- Se recomienda realizar un trabajo en conjunto entre el GAD de Mindo y el de San Miguel de los Bancos para elaborar un plan de contingencia en caso de suceder un desastre natural como un aluvión en el área afectada según la información obtenida en el presente trabajo y este plan debe ser conocido por toda la población propensa a amenazas.

CAPITULO V

En este capítulo se interpretan los resultados exponiendo colusiones y recomendaciones en base a diversos criterios teóricos y la metodología planteada.

Conclusiones

La creación de las bases de datos para la elaboración de los escenarios de aluvión en el centro urbano de la parroquia Mindo se consiguió gracias a la información geográfica que fue adquirida en el GAD San miguel de los Bancos, SIG Tierras e INAMHI para poder generar tanto los modelamientos como la valoración económica.

Las intensidades máximas de precipitación en 24 horas calculadas fueron de 69,77mm (Figura 20) hasta 112,41mm (Figura 23), precipitaciones que en diferentes escenarios causan daños a nivel local donde los barrios afectados fueron: Virgen del Cisne, las Bugambillas, el Progreso y Los Ceibos en el cual el cuarto escenario para un periodo de retorno de 25 años abarca un área de mayor afectación por aluvión llegando a los 440.608,13 m² (Tabla 15) en la zona urbana de la parroquia Mindo.

De acuerdo al análisis costo beneficio de los cuatro escenarios, en los dos primeros escenarios es factible realizar obras de mitigación ya que el costo por perdidas llega a la cantidad de \$80.212.793,33 (Tabla 16) siendo este menor al costo de reasentamiento, mientras que en los otros dos escenarios el área de afectación es mayor, donde por el contrario las pérdidas son mayores al costo por reasentamiento por tanto es factible realizar el proyecto de reasentamiento por un costo de \$95.624.974,24 (Tabla 17) en zonas periféricas sin afectación por aluvión. El análisis actual no considero las pérdidas de ganancia debido a que no se tenía la información de la edad en que ocurrió la muerte tampoco la diferenciación entre géneros además de las pérdidas de mercado, compensación de consumo personal, impuestos y descuentos de la vida laboral.

La simulación de desastres naturales como el aluvión junto con el procesamiento apropiado de información geográfica forman un instrumento interactivo para la adecuada toma de decisiones a favor de la gestión de riesgos, ya que en Ecuador existe población que se acentúa o trabaja en zonas vulnerables.

Se concluye que el presente trabajo de investigación podría ser utilizado como base técnica para la elaboración de un plan de mitigación por parte del GAD San Miguel de los Bancos ya que presenta un alto nivel de vulnerabilidad ante un posible aluvión por el tipo de construcciones en distintos periodos de retorno; la modelación de este fenómeno ayudara a las autoridades correspondientes a la toma de decisiones de manera que mejoren la asignación de recursos a emergencias.

Recomendaciones

Se recomienda al consejo provincial de Pichincha en el marco de sus competencias articular con el GAD municipal de San Miguel de los Bancos implementar acciones estructurales o no estructurales que garanticen la estabilidad del sitio actuando bajo el Art. 140 del COOTAD estas pueden ser obras de retención y control de sedimentos o conducción de flujos, así como proyectos de reasentamiento para la identificación de obras de mitigación y su respectiva ejecución.

Aplicar la metodología del presente estudio en proyectos futuros de simulación por aluviones utilizando realidad mixta y así avanzar en la visualización de información geográfica.

Es necesario fortalecer el control para las nuevas construcciones sobre todo en la franja de protección hídrica y así evitar que sobrepasen los límites urbanos en zonas de riesgo.

Se deben crear alarmas comunitarias en los barrios identificados como los más vulnerables activándose frente a un alto nivel de precipitación.

En sectores claves como los puentes ubicados en los ríos Canchupi y Mindo debido a la acumulación de material en el cauce del río es necesario un proceso de desazolve planificado.

El GAD municipal de San Miguel de los Bancos debe implementar las acciones necesarias que garanticen la vida de las personas y salvaguardar los recursos públicos actuando bajo el Art. 11 de la LOTUGS literal 3, además en el Art. 18 de suelo urbano de protección debido a los factores de riesgos para los asentamientos humanos.

Es de suma urgencia la actualización de la política pública en gestión de riesgos con enfoque al cambio climático para dar cumplimiento al objetivo 11 de ciudades y comunidades sostenibles dentro de las ODS.

Se recomienda estimar las pérdidas de ganancia utilizando el enfoque de capital humano además en una fase diferente de este estudio se debería considerar los costos de recuperación y reconstrucción, ya que en este tipo de desastres naturales las experiencias de otras ciudades pueden mostrar que se necesitarían varias semanas para solventar las necesidades básicas como alimentos y agua, infraestructura y los negocios; para que con esto el modelo pueda asemejarse aún más a la realidad.

El GAD municipal de San Miguel de los Bancos debería proponer un plan masivo de aseguramiento de viviendas tales como la construcción de aceras que dispongan un sistema de recolección de aguas superficiales y así tener un mayor control para mitigar el desborde de los ríos.

Bibliografía

- Almeida, M. (27 de Octubre de 2010). Instructivos de procesamiento de información hidrometeorológica. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2527>
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). *GENERACIÓN DEL MAPA TEMÁTICO DE CURVA NÚMERO (CN)*. Retrieved 20 de Enero de 2022, from <https://www.udocz.com/apuntes/55918/generacion-del-mapa-tematico-de-curva-numero-cn-ana-apoyame-con-un-me-gusta-gracias>
- Ayala, L. (13 de Marzo de 2018). *Explorock*. Retrieved 08 de Febrero de 2022, from <https://www.explorock.com/litologia-y-granulometria-de-los-depositos-sedimentarios/>
- Banco Mundial. (2021). *Reporte anual 2021*. Washington DC: GBM. Retrieved 12 de 02 de 2022, from <https://www.bancomundial.org/es/about/annual-report#anchor-annual>
- Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica Aplicada*. GITS.
<https://www.upct.es/~minaeees/hidrologia.pdf>
- Bravo, C., & García, R. (2017). Alternativas para estabilizar la Quebrada Cantuta II con fines de mitigación de huaycos en la Universidad Enrique Guzman y Valle. *Dialnet*, 78(2), 183-190. <https://doi.org/> <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v78i2.1055>
- Brunner, G. (2010). *User's Manual – River Analysis System*. Retrieved 20 de Noviembre de 2021, from chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.hec.usace.army.mil%2Fsoftware%2Fhec-ras%2Fdocumentation%2FHEC-RAS%25205.0%2520Reference%2520Manual.pdf&clen=8671674&chunk=true
- Campos, D. (2010). Manejo de planicies de inundación. En D. Campos, *Introducción a*

la Hidrología urbana (págs. 147-156). San Luis Potosi, México.

https://www.academia.edu/15233413/Introducci%C3%B3n_a_la_hidrolog%C3%ADa_urbana

Carpio, A. (2018). Generación del modelo de áreas de inundación del río Catarama mediante el uso de los softwares HEC-RAS y ARC-GIS. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/32242>

Carvajal, G., Ramos, A., Segovia, X., & Arteaga, D. (2016). *Amenazas en el Ecuador*. UNDRR. <https://pdfslide.net/documents/z-amenazas-en-el-ecuador-z3-inundaciones-z31-cnicapdf-segun-el-centro.html>

Cedeño, J., & Donoso, M. (2010). *Atlas pluviométrico del Ecuador*. UNESCO.

Cedillo, I., & Guerrero, T. (2010). Sistema administrativo para el PROMAS (programa para el manejo del agua y suelo). Cuenca, Ecuador: PROMAS. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/6255>

CENEPRED. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales*. Lima: CENEPRED. https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf

Cervantes, C. (2012). Generación de mapas de riesgo de inundación mediante modelación en 2D. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México. https://repositorio.unam.mx/contenidos/generacion-de-mapas-de-riesgo-de-inundacion-mediante-modelacion-en-2d-78139?c=48JLkp&d=false&q=*&i=22&v=0&t=search_0&as=0

Chow, V. T. (1993). *Hidrología Aplicada*. Bogota: Editorial Mc GRAW HILL. Retrieved 03 de Febrero de 2022, from <https://books.google.com.ec/books?id=O-3AOgAACAAJ&dq=Hidrolog%C3%ADa+Aplicada+Chow,+Ven+Te+hydrology+group+libro+Editorial+Mc+GRAW+HILL+1994&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiwyZq>

UsvD1AhXWRjABHRRReCHMQ6AF6BAgCEAE

- Chow, V. T. (1994). Flujo en canales abiertos y su clasificación. En V. T. Chow, *Hidráulica de canales abiertos* (págs. 3-14). McGRAW-HILL. <https://doi.org/958-600-228-4>
- Código de Urbanismo de Galicia. (01 de Enero de 2022). *Código de Urbanismo de Galicia*. Retrieved 10 de Enero de 2022, from https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/abrir_pdf.php?fich=072_Codigo_de_Urbanismo_de_Galicia.pdf
- Colegio Oficial de Arquitectos de Granada. (2021). *Costes de referencia de la construcción*. Retrieved 10 de Enero de 2022, from http://www.coagranada.org/vis_plan/visado/costesdereferencia2021.pdf
- Comunidad Andina. (2009). *Guía técnica para la interpretación y aplicación del análisis de amenazas y riesgos*. PULL CREATIVO S.R.L.
- Coronel, V., & Buñay, J. (2018). Gestión de los seguros ante desastres naturales en el Ecuador. *SciELO*, 10(4), 158-169. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000400199
- Cunge, J. (1969). AU SUJET DUNE METHODE DE CALCUL DE PROPAGATION DE CRUES (METHODE MUSKINGUM). *Hydraulic Research*, 7(2). <http://ponce.sdsu.edu/cunge230view.html>
- Demoraes, F., & D'ercole, R. (2001). *Cartografía de las amenazas de origen natural por cantón en el Ecuador*. Quito: OXFAM. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-03/010065702.pdf
- Dufilho, A., Horne, F., Navedo, R., & Polla, G. (Mayo de 2001). Diseño de obras de

control de aluviones basada en simulación de procesos hidrológicos torrenciales en cuencas de la Patagonia. *Scielo*.

<https://doi.org/https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/bHH44nvRdSsHxjxMtxYK9ZL/?lang=es#>

Dutta, D., Herath, S., & Musiake, K. (2003). A mathematical model for flood loss estimation. *Journal of Hydrology*, 277(1), 24-49.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00084-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00084-2)

European Commission. (07 de 01 de 2008). *European Commission*.

https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/evaluations-guidance-documents/2008/guide-to-cost-benefit-analysis-of-investment-projects

Farrow, S., & Viscusi, K. (2011). Towards Principles and Standards for the Benefit-Cost Analysis of Safety. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 5(2), 1-23.

<https://doi.org/10.2202/2152-2812.1033>

Fattorelli, S., & Fernandez, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico*. Estudio Fernandez-Dorca.

<https://doi.org/978-987-05-2738-2>

FLACSO. (2008). *Desastres Naturales*.

<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=16381>

FUNEPSA. (2011). *ESTUDIO Y ANÁLISIS DE AMENAZAS, VULNERABILIDADES E IDENTIFICACION DE RIESGOS Y POSIBLES MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA*". Gobierno de Pichincha.

GAD Municipal San Miguel de los Bancos. (2015). *Construcción del sistema de alcantarillado sanitario y plantas de tratamiento de aguas negras de la ciudad de San Miguel de Los Bancos*.

<https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=vTtDeWm3sloLKIOSjBnukqPMpmsg>

mxmuhClpqqdiqW_fo

- GAD Municipal San Miguel de los Bancos. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial 2015-2025*. Retrieved 1 de Diciembre de 2021, from sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/PDOT%20San%20Miguel%20de%20Los%20Bancos%20%202015.pdf
- GAD Parroquial Mindo. (Enero de 2020). *PDOyT Mindo*. <https://mindo.gob.ec/pichincha/>
- GAD Provincial de Pichincha. (2019). *Rendición de cuentas 2019*. Quito: GAD Provincial de Pichincha. <https://www.pichincha.gob.ec/transparencia/transparencia-2019>
- GAD Provincial de Pichincha. (2020). *Rendición de cuentas 2020*. Quito: GAD Provincial de Pichincha. <https://www.pichincha.gob.ec/transparencia/transparencia-2020>
- Gobierno de la Provincia de Pichincha. (2011). *Informe Técnico Final estudio y análisis de amenazas, vulnerabilidades e identificación de riesgos y posibles medidas de prevención y mitigación en la provincia de Pichincha*. SNGR. http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/Informe%20Final%20Apoyo%20al%20sistema%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20riesgo%20natural%20en%20la%20provincia%20de%20Pichincha.pdf
- Gruber, U., & Bartelt, P. (2007). Snow avalanche hazard modelling of large areas using shallow water numerical methods and GIS. *ScienceDirect*, 22(10), 1472-1481. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.01.001>
- Hernández, P., & Patiño, C. (2018). Manual para el uso de modelo hidrológico HEC-HMS. *ReserchGate*, 1-39. Retrieved 15 de Enero de 2022, from https://www.researchgate.net/publication/342259487_MANUAL_PARA_EL_USO_DE_MODELO_HIDROLOGICO_HEC-HMS_HYDROLOGIC_MODELING_SYSTEM_HEC-HMS_Aplicaciones_del_Modelo_en_Simulacion_Hidrologica_a_la_Cuenca_del_

Rio_Conchos#pf3

Hudson, N. (1993). *Field Measurement of Soil Erosion and Runoff*. Roma: FAO.

Retrieved 6 de Enero de 2022, from

<https://books.google.com.ec/books?id=rS1fiFU3rOwC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>

INAIGEM. (2020). *Evaluación del riesgo por aluvión en la ciudad de Huaraz, distritos de Huaraz e Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Áncash*.

Retrieved 10 de Enero de 2022, from chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fsigrid.cenepred.gob.pe%2Fsigridv3%2Fstorage%2Fbiblioteca%2F%2F11763_evaluacion-del-riesgo-por-aluvion-en-la-ciudad-de-huaraz-distritos-de-huaraz-e-independencia-provincia-

INAMHI. (2017). *Anuario Meteorologico*. Retrieved 15 de Noviembre de 2021, from

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.inamhi.gob.ec%2Fdocum_institucion%2Fanuarios%2Fmeteorologicos%2FAm_2013.pdf&clen=3095049&chunk=true

INAMHI. (2019). *DETERMINACIÓN DE ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN*. Retrieved 12 de Enero de 2022, from

https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf

INEGI. (2010). *INEGI*.

<https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>

- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Core Writing Team.
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- Jiménez, A., Pérez, J., & Carrillo, J. (2015). Integración de las Tecnologías Geoespaciales como herramientas docentes de Ciencias de la Tierra para Educación Secundaria. *Enseñanzas de las ciencias de la tierra*, 22(3), 239-250.
https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/39130/Jimenez-Gutierrez_et_al_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maldonado, J., & Rueda, T. (Agosto de 2007). *Proyecto de creación de una hostería ecológica en la parroquia de Mindo como aporte al fomento del turismo de la zona*. <https://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/62/1/CD-IAEN-0075.pdf>
- Maurtua, M., & Zelada, C. (2016). Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 91-99.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18259/acs.201602>
- Miller, R., & Small, C. (2003). Cities from space: potential applications of remote sensing in urban environmental research and policy. *Environmental Science & Policy* 6, 129-137. [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(03\)00002-9](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(03)00002-9)
- Muñoz, A., Recalde, C., Cadena, J., Nuñez, A., & Díaz, J. (2010). *Análisis Estadístico con Fclimdex para Ecuador*. INAMHI. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/07/Informe_ClimDex-_2010.pdf
- Orellana, R. (Enero de 2021). Modelamiento hidrológico e hidráulico para el Análisis de inundaciones en la ciudad de Piura utilizando HEC-HMS y HEC-RAS. Lima, Peru: Universidad Católica del Perú.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/18304/ORELLANA_CABELLO_RODRIGO_MODELAMIENTO_HIDROLOGICO_HIDRAULICO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Organización de los Estados Americanos. (1991). *Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños*. Washintong D.C: OEA.
<https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea57s/oea57s.pdf>
- Ortega, B. (2012). Análisis Coste-Beneficio. *Dialnet*, 2(5), 147-149.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5583839>
- Pauker, M. (Abril de 2014). Sistema integral de gestión del riesgo web de origen natural en la provincia de Pichincha. Quito, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8643>
- PNUMA. (2003). *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*.
<https://www.unep.org/es/regiones/america-latina-y-el-caribe>
- Ramos, C. (2010). *ESTUDIO DE MÁXIMAS AVENIDAS EN LAS CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO CUENCAS DE LA COSTA NORTE*. Autoridad Nacional del Agua.
<https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/797/ANA0000603.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rus, G. d. (2010). *Introduction to Cost-Benefit. Looking for Reasonable Shortcuts*. Edward Elgar Publishing Limited. [https://doi.org/ISBN 978 1 84844 852 0](https://doi.org/ISBN%20978%201%2084844%20852%200)
- SENAMHI. (21 de 03 de 2019). *SENAMHI*.
<https://web2.senamhi.gob.pe/?p=aprendiendo>
- Serrano, S., Reisancho, A., Lizano, R., Borbon, M., & Stewart, A. (2016). Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. Caso de estudio: Machala. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 24(2), 53-68. <https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.05>
- Sistema Oficial de Contratación Pública. (11 de Mayo de 2017). *Construcción de la unidad educativa estandarizada del milenio tipología mayor el Fortín ubicada en*

la parroquia Tarqui cantón guayaquil provincia de guayas.

<https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/informacionProcesoContratacion2.cpe?idSoliCompra=CNa8kNVbUz91BE2zpn92sEoXQJAluwL-O5Xa3n-flWI#>

SNGRE. (25 de Marzo de 2013). *54 personas son albergadas luego de inundación en Mindo.* <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/54-personas-son-albergadas-luego-de-inundacion-en-mindo/>

SNGRE. (25 de Marzo de 2013). *Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.* <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/54-personas-son-albergadas-luego-de-inundacion-en-mindo/>

SNGRE. (2019). *Análisis de amenaza por inundación en las riveras del río Canchupi de la parroquia Mindo del Cantón San Miguel de los Bancos.* SNGRE. [file:///C:/Users/Home/Downloads/INFORME%20SNGR%20MINDO%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Home/Downloads/INFORME%20SNGR%20MINDO%20(1).pdf)

SNGRE. (2019). *Informe N°. SNGRE-IASR-09-0002.* SGR.

SNGRE. (09 de Marzo de 2021). *El SNGRE participa en la reforestación a orillas del Ríos Canchupi en Mindo.* <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/el-sngre-participa-en-la-reforestacion-a-orillas-del-rio-canchupi-en-mindo/>

SNGRE. (09 de Marzo de 2021). *Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias.* <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/el-sngre-participa-en-la-reforestacion-a-orillas-del-rio-canchupi-en-mindo/>

SNGRE. (22 de Enero de 2022). *Informe Nro. 016 Época Lluviosa a nivel Nacional del 01 de enero al 22 de febrero de 2022.* Retrieved 1 de Marzo de 2022, from https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2022/02/Informe-016-Epoca-Lluviosa_01enero-22022022-1.pdf

Tejada, C. (2012). Diagnóstico y estrategia de comunicación para la prevención de

emergencias y desastres en la universidad central del Ecuador. Piloto en la FACSO. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/935/1/T-UCE-0009-37.pdf>

Toribio, G. (8 de Octubre de 2019). *Creación de un Modelo Digital de Elevación (DEM) a partir de curvas de nivel en ArcGIS*. <http://cursosgis.com/creacion-de-un-modelo-digital-de-elevacion-dem-a-partir-de-curvas-de-nivel-en-arcgis/>

Toulkeridis, T. (2015). *Gestión de Riesgos en el Ecuador*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/10167>

US Army Corps of Engineers. (Febrero de 2016). *Hydrologic Engineering Center*. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>

US Army Corps of Engineers. (2016). *Hydrologic Modeling System*. https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.2.pdf

USACE. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*. Retrieved 05 de Noviembre de 2021, from [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_\(CPD-74B\).pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf)

USACE. (2010). *River Analysis System: Performing an Unsteady Flow Analysis*. USACE. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>

USACE. (2000). *HEC-HMS User's Manual*. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest>

Vargas, G., Ortlieb, L., & Rutllant, J. (2000). Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos. *Revista Geológica de Chile*, 27(2), 157-176.

<https://doi.org/10.4067/S0716-02082000000200002>

Vide, J. M. (2006). Nociones de morfología fluvial. En J. M. Vide, *Ingeniería de ríos* (págs. 26-27). ALFAOMEGA.

https://books.google.com.ec/books?id=DIDodO5iHEYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_vpt_read#v=onepage&q&f=false

Villegas, R., & Gallo, C. (2018). *Mapas: herramientas contra desastres naturales*.

INECOL. <https://inecol.mx/inecol/index.php/es/17-ciencia-hoy/1052-mapas-herramientas-contradesastres-naturales>

Vintimilla, A., & Zhungo, J. (2013). *Estudio Hidrometeorológico Y Análisis De Caudales De Crecientes En La Cuenca Hidrográfica Del Río Catarama [Tesis de Ingeniería, Universidad de Cuenca]*. Repositorio Institucional. Retrieved 21 de Diciembre de 2021, from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4541>

Zerbe, R., Blake, T., Garland, N., & Tyler, S. (2010). *Toward Principles and Standards for Benefit–Cost Analysis*. <https://evans.uw.edu/wp-content/uploads/files//public/Final-Principles-and%20Standards-Report.pdf>

Apéndices