



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO

CARRERA DE INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN RIESGOS DE

DESASTRES

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

“ANÁLISIS DE LA AMENAZA DE ALUVIONES Y SUS AFECTACIONES EN EL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR EL ARENAL DE LA CIUDAD DE GUARANDA, EN EL PERIODO SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2024”

AUTORES:

BAYAS GUAQUIPANA MARGOTH LILIANA

GARCÍA VERGARA EDISON ARIEL

DIRECTOR:

ING. LUIS HERNÁN VILLACÍS TACO, Mgtr.

Guaranda – Ecuador

2025

Tema Del Proyecto De Investigación

Análisis de la amenaza de aluviones y sus afectaciones en el sistema de agua potable en el sector El Arenal de la ciudad de Guaranda, en el periodo septiembre – diciembre 2024.

Agradecimiento

Con la satisfacción de haber llegado a estas instancias, dejo constancia de mis sinceros agradecimientos a todas las personas que han sido parte fundamental en este camino.

A mis padres, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por ser mi inspiración y mi mayor motivación.

A mis hermanas, por estar siempre a mi lado, por su confianza y brindarme palabras de aliento en los momentos más difíciles.

A mi compañero de tesis, por su dedicación, compromiso y la paciencia que ha tenido en los momentos más complicados a lo largo de todo este proceso, hemos logrado completar nuestro trabajo de titulación con éxito.

Finalmente expreso mis más sinceros agradecimientos a los docentes; Ing. Luis Villacís, Ing. Numa Gaibor e Ing. María Vallejo, por sus conocimientos y aporte al trabajo de investigación.

Margoth Liliana Bayas Guaquipana

A mis familiares y aquellas personas que me brindaron soporte y compañía en momentos difíciles de mi vida.

A mi compañera de tesis por sus incansables esfuerzos para culminar exitosamente nuestro documento.

A los docentes que nos brindaron sus conocimientos y tiempo para realizar la tesis, los ingenieros; Luis Villacís, Numa Gaibor y María Vallejo.

Al Ing. Nikolay Vistín, jefe del área técnica de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda “EP-EMAPAG”, por brindarnos información clave para el desarrollo de nuestra tesis.

Edison Ariel García Vergara

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a mis queridos padres, quienes han sido mi mayor inspiración y fortaleza a lo largo de este camino. Su esfuerzo y sacrificio han sido fundamentales en cada paso que he dado. Gracias por creer en mí, por impulsarme siempre a seguir adelante y superar cualquier adversidad, y por enseñarme que las metas se construyen con dedicación, paciencia y valentía.

A mis hermanas, por ser mi refugio, mi compañía, por cada palabra de aliento. Gracias por su paciencia, por las risas compartidas y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más difíciles.

Margoth Liliana Bayas Guaquipana

El presente trabajo de investigación va dedicado a mis padres, por el apoyo incondicional, confianza y el deseo de superación constante depositado en mí, mis esfuerzos y objetivos, mismo que, espero les enorgullezca.

Edison Ariel García Vergara



El suscrito Ingeniero Luis Villacís Taco, en calidad de **TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**, docente de la Universidad Estatal de Bolívar.

CERTIFICA

Que la Srta. **BAYAS GUAQUIPANA MARGOTH LILIANA**, portadora de la cédula **0250101870** y el Sr. **GARCÍA VERGARA EDISON ARIEL**, portador de la cédula **0250041449**, estudiantes de la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD Y DEL SER HUMANO, culminados en la **Carrera de Ingeniería en Riesgo de Desastre**, modalidad Proyecto de Investigación, una vez revisado el documento *“Análisis De La Amenaza De Aluviones Y Sus Afectaciones En El Sistema De Agua Potable En El Sector El Arenal De La Ciudad De Guaranda, En El Periodo Septiembre – Diciembre 2024”*, pueden proceder a realizar el proceso del empaste de su proyecto de investigación.

Guaranda, 14 de abril del 2025.

Atentamente,

Ing. Luis Hernán Villacís Taco, Mgtr.

Tutor de Proyecto de Investigación.

DERECHOS DE AUTOR

Nosotros **Bayas Guaquipana Margoth Liliana** y **García Vergara Edison Ariel** portadores de la Cédula de Identidad No **0250101870** y **0250041449** en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales del Trabajo de Titulación: **“ANÁLISIS DE LA AMENAZA DE ALUVIONES Y SUS AFECTACIONES EN EL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR EL ARENAL DE LA CIUDAD DE GUARANDA, EN EL PERIODO SEPTIEMBRE – DICIEMBRE 2024”**, modalidad Proyecto de Investigación, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedemos a favor de la Universidad Estatal de Bolívar, una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservamos a mi/nuestro favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo/autorizamos a la Universidad Estatal de Bolívar, para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Digital, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El (los) autor (es) declara (n) que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.



Bayas Guaquipana Margoth Liliana
C. I. 0250101870



García Vergara Edison Ariel
C. I. 0250041449

**CERTIFICADO DE SEGUIMIENTO AL PROCESO
INVESTIGATIVO, EMITIDO POR EL TUTOR.**

Guaranda, 31 de enero de 2025.

El suscrito Ingeniero Luis Villacis Taco MsC., Director del Proyecto de Investigación de Pre Grado de la carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres de la Universidad Estatal de Bolívar, en calidad de Docente – Tutor.

CERTIFICA:

Que el proyecto de investigación titulado: “ANÁLISIS DE LA AMENAZA DE ALUVIONES Y SUS AFECTACIONES EN EL SISTEMA DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR EL ARENAL DE LA CIUDAD DE GUARANDA, DURANTE EL PERIODO 2024.”; realizado por los señores: **Margoth Liliana Bayas Guaquipana y Edison Ariel García Vergara** ha sido debidamente revisado e incorporado las observaciones realizadas durante las asesorías; en tal virtud, autorizo su presentación para la aprobación respectiva de acuerdo al reglamento de la Universidad.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a verdad.



ING. LUIS VILLACIS TACO.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE PRE GRADO

Índice De Contenido

Tema Del Proyecto De Investigación	II
Agradecimiento.....	III
Dedicatoria.....	V
Resumen	XX
Abstract	XXI
Introducción.....	XXII
Capítulo I. Formulación General Del Proyecto.	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Formulación del Problema.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Idea a Defender	6
1.6. Variables.....	6
1.6.1. Operacionalización de Variables.	7
1.7. Limitaciones.....	9
Capítulo II. Marco Teórico.....	10
2.1. Marco Referencial.....	10
2.2. Antecedentes de la Investigación.....	11

2.3. Bases teóricas.....	16
2.3.1. Aluviones	16
2.3.2. Tipos de Aluviones	17
2.3.3. Causas	17
2.3.4. Factores Desencadenantes.....	18
2.3.5. Afectaciones por Aluviones en Sistema de Agua Potable	19
2.3.5.1. Mecánicos y Estructurales	19
2.3.5.1.1. Deformaciones y rupturas.	19
2.3.5.1.2. Colapso de soporte o anclajes.	19
2.3.5.2. Contaminación en el Sistema de Agua Potable.....	19
2.3.5.2.1. Ingreso de Sedimentos y Partículas Sólidas.	19
2.3.5.3. Impacto Ambiental	19
2.3.5.3.1. Alterando del Equilibrio Hidrológico	19
2.3.5.4. Socioeconómicos.....	20
2.3.5.4.1. Interrupción Prolongada del Servicio.	20
2.3.6. Parámetros Generales de la Cuenca Hidrográfica	20
2.3.6.1. Área (A).	20
2.3.6.2. Perímetro (P).	21
2.3.6.3. Factor de Forma (Kf).	21
2.3.6.4. Pendiente media de la cuenca.	22

2.3.6.5. Curva hipsométrica.....	22
2.3.6.6. Parámetro de la Red Hídrica.	23
2.3.6.6.1. Densidad de drenaje.....	23
2.3.6.6.2. Orden de la Red Hídrica.....	24
2.3.6.6.3. Tiempo de Concentración.	24
2.3.7. Sistema de Agua Potable.....	25
2.3.7.1. Tanque de Captación.....	25
2.3.7.2. Línea de Conducción.	25
2.3.7.2. Tanque de Distribución.....	25
2.3.7.2. Red de Distribución.....	25
2.3.8. Vida Útil de Tuberías en el Sistema de Agua Potable.....	25
2.3.8.1. Tubería de Hierro Fundido.....	25
2.3.8.2. Tubería PVC.....	26
2.3.9. Tipos de Fuente de Abastecimiento.....	26
2.3.10. Fuente de Agua Subterránea.....	26
2.3.11. Medidas de Reducción Ante la Exposición de la Infraestructura.....	26
2.3.11.1. Tanques de Captación.	26
2.3.11.2. Tubería de Conducción y Distribución de Agua.	27
2.4. Marco Legal.....	28
2.5. Marco Conceptual.....	32

Capítulo III. Metodología.....	34
3.1. Tipo de Investigación.....	34
3.2. Enfoque de la Investigación.....	35
3.3. Métodos de Investigación.....	36
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos.....	36
3.5. Técnicas de Análisis y Procesamiento de Información.....	38
Capítulo IV. Resultados	59
4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados.....	59
4.1.2. Resultado Objetivo 1.....	59
4.1.3. Resultado Objetivo 2.....	101
4.1.3. Resultado Objetivo 3.....	112
Conclusiones.....	116
Recomendaciones	118
Bibliografía.....	120
Anexos.....	127
Registro Fotográficos.....	133

Índice De Tablas

Tabla 1 Variable Independiente.....	7
Tabla 2 Variable Dependiente	8
Tabla 3 Clasificación de áreas.....	20
Tabla 4 Clasificación de la forma de la cuenca hidrográfica.....	21
Tabla 5 Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente	22
Tabla 6 Factores de densidad de drenaje de las cuencas según Strahler/Horton	24
Tabla 7 Procesamiento para la delimitación de la microcuenca y obtención de los parámetros morfométrico	39
Tabla 8 Datos de precipitación máximas de 24 horas entre los años 2001 – 2023	41
Tabla 9 Números de curva para usos de suelo (agrícola, suburbana y urbana)	45
Tabla 10 Grupos hidrológicos de suelos.....	46
Tabla 11 Grupo hidrológico de suelo Quebrada Chaupiyacu	48
Tabla 12 Curvas y tiempo de concentración.....	49
Tabla 13 Ecuación IDF para la estación meteorológica San Simón	50
Tabla 14 Cálculo de división de longitud real del tramo y la longitud en línea recta	52
Tabla 15 Valores medios de meandros asignados	52
Tabla 16 Coeficiente de rugosidad de Manning obtenida	53
Tabla 17 Valores K.....	53
Tabla 18 Red Hídrica de la Microcuenca Quinoa Corral	65
Tabla 19 Coordenadas UTM, represamientos Quebrada Chaupiyacu	68
Tabla 20 Datos de precipitación máxima de 24 horas (mm)	76
Tabla 21 Prueba de Bondad de Ajsute Kolmogrov - Smirnov.....	79

Tabla 22 Prueba Smirnov - Kolgomorov.....	81
Tabla 23 Precipitaciones diarias máximas probables, para periodos de retorno.....	83
Tabla 24 Modelo de Dick Peschke.....	84
Tabla 25 Intensidad de precipitación para los periodos de retorno	86
Tabla 26 Hietograma de precipitación, periodo de retorno	89
Tabla 27 Intensidad y duración de precipitaciones registradas el 29 de abril 2024.....	91
Tabla 28 Categorización simplificada de la amenaza con el producto de la velocidad de profundidad.....	102
Tabla 29 Precipitación 04 de octubre 2024, (Evento Granizada)	108
Tabla 30 Medidas de reducción estructurales	113
Tabla 31 Medidas de reducción no estructurales	114

Índice De Figuras

Figura 1	Clasificación de la curva hipsométrica.....	23
Figura 2	Variable del Método de SCS.....	44
Figura 3	Esquema de Modelación en HEC - HMS.....	54
Figura 4	Modelación de la microcuenca Quinua Corral en HEC – HMS.....	55
Figura 5	Representación de caudales	55
Figura 6	Hidrograma y profundidad del caudal líquido en la Quebrada Chaupiyacu	56
Figura 7	Histograma de altitudes de la microcuenca	63
Figura 8	Perfil 1	69
Figura 9	Perfil 2	70
Figura 10	Perfil 3	71
Figura 11	Perfil 4	72
Figura 12	Perfil 5	73
Figura 13	Perfil 6	74
Figura 14	Perfil 7	75
Figura 15	Intensidad de precipitaciones de 29 de abril 2024	93
Figura 16	Modelamiento del primer tramo	94
Figura 17	Modelamiento segundo tramo	95
Figura 18	Modelamiento tercer tramo.....	96
Figura 19	Intensidad de precipitaciones, periodo de retorno 50 años.....	97
Figura 20	Modelamiento del primer tramo, periodo de retorno 50 años	98
Figura 21	Modelamiento del tramo medio, periodo de retorno 50 años.....	99
Figura 22	Modelamiento tercer tramo, periodo de retorno 50 años	100

Figura 23 Modelo de erosión con DEM SIG Tierras, Método USLE	105
Figura 24 Modelo de erosión con DEM 29 de septiembre del 2024	106
Figura 25 Modelo de erosión con DEM de 06 de diciembre del 2024	106
Figura 26 Zonas de erosión sector Arrayan Pamba	110
Figura 27 Línea de conducción, sector Arrayan Pamba.....	111
Figura 28 Columna de soporte de la línea de conducción.....	111

Índice De Ilustración

Ilustración 1 Mapa de ubicación Sistema del Agua Potable	10
Ilustración 2 Delimitación de la microcuenca.....	60
Ilustración 3 Mapa de pendiente	61
Ilustración 4 Mapa de la red hídrica de la microcuenca Quinoa Corral	65
Ilustración 5 Mapa de uso de suelo	67
Ilustración 6 Mapa de Amenaza de Tubería Expuesta del Sistema de Agua Potable de la EMAPA-G, Sector Arrayan Pamba.....	103
Ilustración 7 Mapa de Amenaza de Tubería del Sistema de Agua Potable, Sector Pangua.....	104

Índice De Gráfico

Gráfico 1 Curva Hipsométrica	62
Gráfico 2 Tendencia de los datos de precipitación.....	78
Gráfico 3 Distribución estadístico de Log Pearson III.....	83
Gráfico 4 Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia).....	88
Gráfico 5 Hietograma de precipitación de diseño, periodo de retorno 50 años	91
Gráfico 7 Hietograma con datos de precipitación 4 de octubre 2024	109

Índice De Anexos

Anexo 1 Cronograma (Gantt).....	127
Anexo 2 Presupuesto ejecutado.....	129
Anexo 3 Equipos utilizados.....	130
Anexo 4 Solicitud de información dirigida al técnico de EMAPAG.....	131
Anexo 5 Salida campo 2 de mayo 2024.....	133
Anexo 6 Salida de campo 29 de septiembre del 2024, Quebrada Chaupiyacu.....	134
Anexo 7 Salida de campo 18 de octubre del 2024, Quebrada Chaupiyacu	135
Anexo 8 Salida de campo 06 de diciembre de 2024, sector Arrayan Pamba.....	136

Resumen

El trabajo de investigación denominado análisis de la amenaza de aluvión y sus afectaciones en el sistema de agua potable en el sector El Arenal de la ciudad de Guaranda, provincia Bolívar, su objetivo fue la identificación del nivel de exposición de la línea de conducción. Para la identificación los factores condicionantes como litología, geomorfología, topografía y cobertura vegetal, así como la determinación de las precipitaciones como el factor detonante, se empleó los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se recopiló datos de precipitación, posteriormente, se procesaron y validaron mediante la metodología de Outlier. Los datos obtenidos de la plataforma Power Data Access View de la NASA de los años 2001 hasta el año 2023, los cuales fueron integrados en un modelo hidrodinámico mediante el software Iber, para la simulación de flujos de agua, detritos y lodos. Entre los resultados encontrados a través del modelamiento hidrodinámico se obtuvo calado y velocidades máximas de la Quebrada Chaupiyacu, con los cuales se evaluó la amenaza para un período de 50 años, el nivel de exposición fue muy alta y extrema en los sectores de Pangua y Arrayan Pamba. Con los resultados encontrados esta investigación propone medidas de reducción del riesgo para disminuir la exposición de la infraestructura, considerando el estado del cauce y los factores que influyen en los sectores evaluados.

Palabras claves: aluvión, erosión, intensidad de precipitaciones, modelamiento hidráulico.

Abstract

The research work called analysis of the alluvial hazard and its effects on the drinking water system in the El Arenal sector of the city of Guaranda, Bolivar province, its objective was to identify the level of exposure of the pipeline. Geographic Information Systems (GIS) were used to identify conditioning factors such as lithology, geomorphology, topography and vegetation cover, as well as to determine precipitation as the triggering factor. Precipitation data for the year was collected, then processed and validated using the Outlier methodology. The data obtained from NASA's Power Data Access View platform from 2001 to 2023 were integrated into a hydrodynamic model using Iber software for the simulation of water, debris and sludge flows. Among the results found through the hydrodynamic modeling, the maximum depth and velocities of the Chaupiyacu Creek were obtained, with which the threat was evaluated for a period of 50 years, the level of exposure was very high and extreme in the sectors of Pangua and Arrayan Pamba. With the results found, this research proposes risk reduction measures to reduce the exposure of the infrastructure, considering the state of the riverbed and the factors that influence the evaluated sectors.

Key words: alluvium, erosion, rainfall intensity, hydraulic modeling.

Introducción

Los aluviones son eventos hidrometeorológicos, compuestos por flujos de barro de agua que arrastran el material suelto por laderas, quebradas o cauces, pueden recorrer varios kilómetros desde el punto de origen, mismo que se materializan en zonas montañosas del Ecuador.(Bermeo Álvarez et al., 2022)

En la ciudad de Guaranda, en el sector El Arenal, los aluviones generan un riesgo constante por su ubicación geográfica, la escasa cobertura vegetal desestabiliza el suelo y el cambio climático, afectando al sistema de agua potable, ya que puede ocasionar daños significativos en las líneas de conducción y tanques de captación.

En el sector El Arenal se ha registrado aluviones en los años recientes, afectando parcial o total en el sistema de agua potable. Este evento refleja la necesidad de analizar la amenaza de aluviones para identificar la zona de mayor afectación y poder desarrollar estrategias de mitigación adecuadas para reducir el impacto en el sistema de agua potable.

En el capítulo I. se plantea el problema de investigación, con el fin de llevar a cabo el análisis correspondiente y plantear los objetivos que nos permite alcanzar una solución. En el capítulo II. se incorporaron bases teóricas que fundamentan esta investigación, abarcando antecedentes de estudios previos, base teóricas y legales. En el capítulo III. se establece la metodología para la investigación, definiendo el tipo de investigación, enfoques y métodos correspondientes, además se especifica las técnicas e instrumentos de recopilación de datos y técnicas de análisis y procesamiento de información. En el capítulo IV. se presentan los resultados obtenidos a partir de la información recopilada a través de diferentes técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

Capítulo I. Formulación General Del Proyecto.

1.1. Planteamiento del Problema

La imponente de los nevados alrededor del mundo es incuestionable, ya que reside en ellos una amplia cantidad de recurso hídrico que ha sido indispensable y aprovechada por los seres humanos para su supervivencia, no obstante, también representa una de las fuerzas más destructivas existentes en el planeta, no solo por sus características erupciones, también por los riesgos potenciales que vienen con la actividad volcánica, siendo el caso de aluviones y movimientos de masa parte de las amenazas generadas por los colosos.

Ecuador se encuentra ubicado en el cinturón de fuego, por lo tanto, la geomorfología del país hace que la preocupación por las amenazas asociadas a volcanes sean grandes fuentes de estudio y preocupación, ya que, funcionan como factores detonantes de cambios en el paisaje natural y medios de vida y subsistencia de la ciudadanía.

Amenaza de aluvión ocurre cuando una corriente rápida y violenta de mezcla de gran cantidad de agua, sedimentos y otros materiales es arrastrada por la fuerza de las lluvias intensas afectando áreas de grandes extensiones. El incremento en la ocurrencia de estos eventos es agravado por el cambio climático, deforestación y una carencia de preparación y respuesta.

El sistema de agua potable es el medio esencial con el cual las actividades diarias, ya sean, de carácter económico o común, pueden llevarse a cabo sin interrupciones, al verse afectada su infraestructura, compromete a los ciudadanos y limita su estilo de vida, siendo el caso de varios negocios, atención en instituciones públicas y privadas, sin dejar de lado el malestar común que causa la ausencia de agua potable, para la preparación de alimentos e higiene, por tanto, es imprescindible.

La provincia Bolívar es afectada especialmente por fenómenos relacionados con precipitaciones, los aluviones no son fenómenos ajenos dentro del cantón Guaranda, los cuales han generado daños notables en el sistema de agua potable de la ciudad, puesto que los daños en tramos de las líneas de conducción han repercutido directamente en el desempeño diario y las actividades económicas de los ciudadanos, como el repentino corte de agua que sufrió el 29 de abril al 04 de mayo del 2024.

Teniendo en consideración que, el modelamiento de lahares y aluviones no ha sido un tema predominante de la ciudad de Guaranda o inclusive en la provincia, es importante contar con documentos que incluyan el uso de estos modelamientos, ya que otorga una visión más integral de este tipo cuando su incidencia afectada directamente a uno de los principales medios de vida.

En el sector El Arenal Quebrada Chaupiyacu, ha sido afectada por el evento de aluvión que amenazó directamente el sistema de agua potable en los sectores de Pangua y Arrayan Pamba, por tanto, se procedió a plantear como trabajo de investigación, por la falta de información sobre la exposición de la línea de conducción en los sectores ya mencionados anteriormente, donde se realizará el levantamiento de información para identificar las causas que provoca el aluvión, mediante el modelamiento hidráulico determinar el nivel de exposición de la línea de conducción y posterior proponer medidas de reducción ante la amenaza de aluvión.

1.2. Formulación del Problema

¿Cómo afecta la amenaza de aluviones en el sector El Arenal de Guaranda al sistema de agua potable de ciudad?

1.3. Justificación

El proyecto de investigación se desarrolla en respuesta a los aluviones en el páramo de la ciudad de Guaranda, sector El Arenal, que representa una amenaza significativa para la infraestructura del sistema de agua potable de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EMAPA-G), la seguridad de los habitantes y sus medios. Estos eventos, caracterizados por el desplazamiento rápido de grandes cantidades de tierra, sedimentos y agua, han sido subestimados en instrumentos de reducción de riesgos, como el Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial Cantonal (PDOT), lo que ha llevado a una falta de representación en estudios detallados de la amenaza para minimizar los daños que se podría generar.

El objetivo principal de este estudio es ampliar la perspectiva sobre la amenaza de aluviones en los sectores de Pangua y Arrayan Pamba, utilizando herramientas de modelamiento en software como Iber para obtener una representación dinámica de estos eventos, acompañada de datos como calado y velocidad del flujo, este enfoque permitirá una comprensión más profunda de la dinámica de los aluviones y su interacción con el entorno.

Con base en esta necesidad se ha desarrollado el estudio denominado “Análisis de la amenaza de aluviones y sus afectaciones en el sistema de agua potable en el sector El Arenal de la ciudad de Guaranda, durante el periodo 2024”. Con el propósito de conocer el nivel de exposición de la línea de conducción frente a esta amenaza. Contribuyendo directamente a la toma de decisiones acertadas para precautelar la seguridad de los habitantes y garantiza la continuidad de los servicios básicos, como el abastecimiento de agua potable.

El estudio también beneficiará indirectamente a instituciones educativas y profesionales a promover la implementación de metodologías para la identificación de zonas vulnerables a

amenazas hidrológicas relacionadas con aluviones. Además, los resultados obtenidos podrán ser utilizados como referentes para replicar la metodología en zonas con problemáticas similares, guiando así acciones de mitigación de riesgos en otras áreas vulnerables a este tipo de eventos.

Esta investigación es de gran importancia para comprender y abordar de manera efectiva la amenaza de aluviones en el sector El Arenal de la ciudad de Guaranda, contribuyendo a la seguridad y el bienestar de sus habitantes y así como al desarrollo de estrategias de gestión de riesgos a nivel local.

El trabajo de investigación ha demostrado gran viabilidad en cada uno de los objetivos realizados, ya que, los resultados demuestran que la recopilación de información de plataformas satelitales como Power Data Acces View de la NASA puede ser utilizada para el modelamiento de flujos en sectores donde escasea la información, así mismo, el modelamiento concuerda con el evento materializado y las medidas de reducción se adecúan a la realidad de los sectores afectados, es decir, las sumas de dinero a invertir no son exorbitantes, así como, propician la participación ciudadana en conjunto con la empresa de agua potable, acentuando el nivel de confianza que se deposita en la institución.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Analizar la amenaza de aluviones y sus afectaciones en el sistema de agua potable en el sector El Arenal de la ciudad de Guaranda, durante el periodo 2024.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la amenaza por flujo de aluviones en la zona de influencia del sistema de agua potable de la EMAPA-G, sector Chaupiyacu – Las Cochas.
- Establecer el nivel de exposición del sistema de agua potable de la EMAPA-G.
- Elaborar propuesta de medidas de reducción ante la exposición de la infraestructura del sistema de agua potable por amenaza de aluviones.

1.5. Idea a Defender

El modelamiento de la amenaza de aluviones permitirá identificar las afectaciones en el sistema de agua potable.

Con base al modelamiento hidráulico y de erosión se comprobó la relación existente entre eventos hidrometeorológicos intensos y las afectaciones registradas en el sistema de conducción de agua potable ubicado en el sector Arrayan Pamba, si bien los aluviones son eventos poco comunes en sectores de Páramo y el Arenal, no son improbables, puesto que, las afectaciones registradas dentro del informe proporcionado por la EMAPA-G, manifiestan características similares a las que se encontraron en los puntos de represamientos dentro de la quebrada, así como desprendimientos de secciones erosionadas identificadas en Arraya Pamba, por lo cual, la creación de estos modelos y resultados representan con fidelidad la naturaleza y el impacto que tiene dentro de la zona de estudio y las áreas expuestas. Por tanto, la amenaza de aluviones en calidad de variable independiente ha influido de forma directa en las afectaciones en el sistema de agua potable, misma que es considerada la variable dependiente del trabajo de investigación, esta incidencia ha permitido obtener resultados concluyentes con relación al factor detonante existente en ambas variables, siendo los fenómenos hidrometeorológicos como lluvias intensas y granizo los que aumentan tanto, la probabilidad de materialización de aluviones, como, afectaciones por erosión y arrastre de sedimentos en el sistema de agua potable.

1.6. Variables

Variable independiente: Amenaza de aluvión.

Variable dependiente: Afectaciones en el sistema de agua potable.

1.6.1. Operacionalización de Variables.

Tabla 1

Variable Independiente

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala	Instrumento
Independiente	Amenaza de aluvión Es un movimiento de masa en que los detritos (tierra suelta), la roca y la materia orgánica se combinan a veces con agua para formar una pasta que fluye ladera abajo de manera rápida.(Highland & Bobrowsky, 2008)	Precipitación continuas o intensas	Índice de precipitación	mm	Sensor satelital
		Pendiente	Angulo de inclinación	m/s	Modelo digital de elevación
		Velocidad del agua	Velocidad del flujo	m	Modelamiento
		Calado	Registros históricos	m	IBER
		Frecuencia	(número de veces suscitado el evento)	n.º	Informes de

Tabla 2*Variable Dependiente*

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Escala	Instrumento	
Dependiente	Afectaciones en el sistema de agua potable	Alteraciones generadas en el paisaje e infraestructura a partir de la materialización de la amenaza de aluviones sobre el sistema de agua potable de la ciudad.	Daños en la infraestructura	Cantidad y tipo de daños en estructura de sistema agua potable	m	Informes de EMAPAG
		Impacto en el servicio básico	Tiempo transcurrido posterior a la interrupción del suministro de agua potable	Días		

1.7. Limitaciones

- Escasa información de antecedentes sobre los eventos que han ocasionado daños en el sistema de agua potable.

- Cartografía desactualizada de los componentes del sistema de agua potable.
- Dificultad de acceso a zonas críticas de exposición.
- Interrupción del servicio de energía eléctrica en periodos prolongados de tiempo.
- Las computadoras sobrepasan sus capacidades en el empleo del software requeridos.

Capítulo II. Marco Teórico

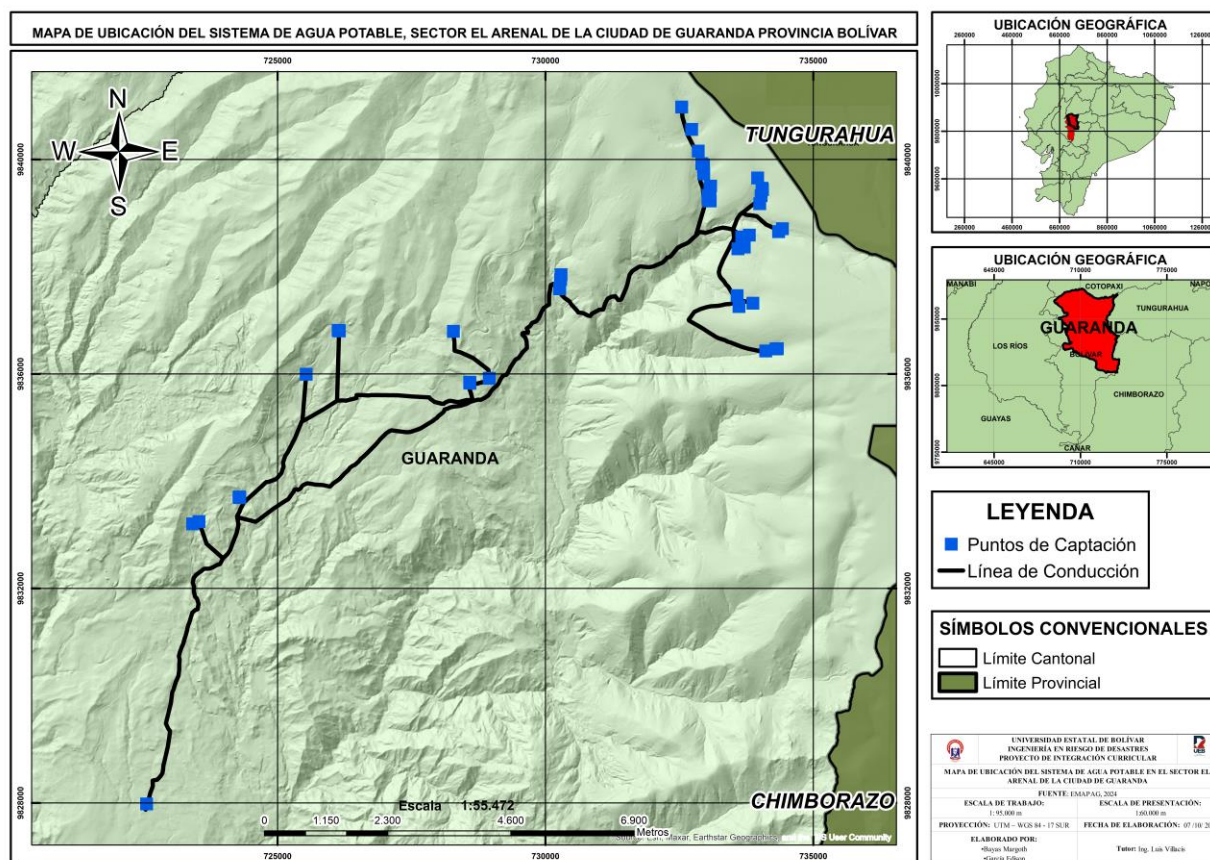
2.1. Marco Referencial

El Arenal se encuentra localizado aproximadamente a 38 kilómetros al Norte de la ciudad de Guaranda, vía Ambato – Guaranda/E491, “en las estribaciones del Chimborazo en una franja de 15 km de largo por 4 a 6 metros de ancho”.(Moncayo Lema & Nuñez Peñaloza, 2023)

El sistema de agua potable se encuentra distribuido a lo largo de la franja ya mencionada.

Ilustración 1

Mapa de ubicación Sistema del Agua Potable



Nota. Georeferenciación del sistema de agua potable, sector El Arenal de la ciudad de Guaranda.

Fuente: EP – Empresa Municipal de Agua potable y Alcantarillado de Guaranda (EP-EMAPAG).

2.2. Antecedentes de la Investigación

Se ha tomado en cuenta investigaciones relevantes, útiles para el desarrollo del proyecto:

- El denominado “Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: aplicación en la Quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana”, que tiene como autores a: Sergio Andrés Sepúlveda Valenzuela, quien realizó el presente tema de investigación en la Universidad de Chile, desarrolló una metodología para evaluar el peligro de detritos. El objetivo principal fue identificar los factores condicionantes, estimar la susceptibilidad de cuatro etapas; definición del área de estudio, selección de los sectores más críticos, salida a campo para identificar los datos que se pueden utilizar para el procesamiento de información. La metodología permitió identificar los sectores más susceptibles a estos eventos, incluyendo mapas de peligros que permitió conocer el alcance de estos posibles flujos que sirven como herramientas fundamentales para la planificación y mitigación. (Sepúlveda Valenzuela, 1998)

Este trabajo de investigación aporta a la presente investigación una metodología que se puede evaluar la amenaza de aluviones, generando mapas que permitan localizar la zona de afectación donde el sistema de agua potable podría verse afectado. Además, ofrece herramientas para analizar como el flujo de aluvión puede destruir, dañar la infraestructura del sistema de agua potable.

- “Metodología para evaluación de riesgos por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia”, que tiene como autores: Amanda Sepúlveda B., Jaime Patiño Franco y Carlos E. Rodríguez Pineda, quienes realizaron el trabajo de investigación, utilizando un enfoque integrando combinando sistemas de información geográfica, con modelación matemática en el software FLO-2D y el análisis de vulnerabilidad física.

Teniendo como objetivo identificar las áreas susceptibles, determinar amenazas con base en los umbrales de intensas lluvias y evaluar riesgos considerando la vulnerabilidad de las edificaciones que pueden estar expuestas. La metodología utilizada es la combinación de las herramientas de análisis geoespacial y modelación matemática para evaluar el riesgo por flujos de detritos. Los resultados obtenidos muestran que el 35.2% del casco urbano del área de estudio está en una zona de amenaza media, principalmente en las cercanías a la quebrada, mientras que el 64,8% se encuentra en zona de amenaza baja. (Sepúlveda B et al., 2016)

- El trabajo de investigación denominado “Evaluación hidrológico e hidráulico con el modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población ribereña al río Qochop, provincia Calca – región Cusco”, que tiene como autores a: Muyami Naisha Sequieros Cuba y Susan Lucero Farfán Encalada, quienes realizaron el presente de trabajo de investigación en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, menciona en la investigación que mediante el modelamiento Iber se determinó el nivel de riesgo de inundación en la población, esto incluye establecer tres niveles de peligro y vulnerabilidad. Se realizó mediante tres etapas principales, pre – campo que consistió en la revisión de estudios previos y recopilación de información de datos hidrológicos y topográficos. Campo inspección in situ para levantar información y el procesamiento de datos mediante software como Easyfit, Hidroesta, Hec- HMS e Iber. Permitiendo modelar escenarios de inundación con periodos de retorno de 50, 100 y 500 años. El estudio identificó que el nivel de riesgos a inundación es considerablemente alto para 100 y 500 años, siendo para 50 años el nivel de riesgo medio. La vulnerabilidad fue alta debido a la predominancia de viviendas de adobe en mal estado. (Sequeiros Cuba & Farfan Encalada, 2019)

- “Metodología para la evaluación de riesgo por flujos de lodo y avalancha en Colombia”, tiene como autores: Jorge Eduardo Uparela Olivera, realizó el presente tema de maestría en la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Desarrolla la investigación con la metodología que permite evaluar la amenaza y vulnerabilidad ante los flujos de lodo y avalanchas. Para obtener el análisis de la amenaza se realizó la combinación de información mediante el sistema de información geográfica, considerando factores como litología, geomorfología, cobertura vegetal y otros aspectos claves. Al momento de modelar el escenario se trabajó en diferentes softwares, para centrarse en identificar la exposición de las infraestructuras y a capacidad de soportar los efectos de los flujos de lodo. El resultado que se obtuvo es la clasificación de la zona en diferentes niveles de riesgos, lo que facilita la priorización de acciones de mitigación. (Uparela Olivera, 2017)

- El estudio denominado “Análisis de vulnerabilidad físico funcional del sistema de agua potable de Guaraczapas ante deslizamientos de tierra representa para los componentes críticos del sistema de agua potable, enfocando en tres componentes principales; áreas de captación, planta de tratamiento y líneas de conducción, indicando también diferentes niveles de vulnerabilidad, esto permitiendo realizar un plan de contingencia específico para mejorar la resiliencia del sistema ante futuros movimientos de masa.(Quinchiguango, 2018)

Busca determinar el nivel de exposición de la infraestructura del sistema de agua potable, para poder proponer medidas de reducción de riesgos para garantizar la seguridad y continuidad del servicio del agua potable en la zona afectada.

- El artículo “Vulnerabilidad física y exposición ante la amenaza de movimientos en masa del Sistema de Agua Potable Culebrillas de la ciudad de Cuenca”, analizó la vulnerabilidad y la exposición del sistema de agua potable utilizando metodología cualitativa, recopilando datos

a través de entrevistas con técnicos. La infraestructura de captación y conducción se encuentra en áreas de alta exposición a amenazas de movimientos de masa. Los resultados muestran que la mayoría de los componentes del sistema tienen un nivel de vulnerabilidad bajo, excepto la red de distribución que presenta una vulnerabilidad media.(Vintimilla et al., 2021)

El estudio es relevante para comprender como los aluviones pueden afectar a las infraestructuras del sistema de agua potable y que estrategias pueden ser implementadas como medidas de reducción.

- El artículo titulado “Estudio de la afectación social causada por aluvión en la Quebrada el Tejado en la Comuna, sector La Gasca, de la ciudad de Quito”, tuvo como objetivo determinar las causas del aluvión, el impacto social en la población afectada y medidas preventivas futuras. Se investigó el contexto histórico de aluviones en la zona y se realizaron encuestas para evaluar las condiciones sociales y la vulnerabilidad de los habitantes. Las causas identificadas incluyen la actividad humana, el volumen de lluvia y la geografía local. Se propone medidas para reducir el impacto de aluviones y mejorar la gestión de riesgos.(Espinoza Ortiz, 2023)

La investigación mencionada anteriormente se relaciona con el análisis de la amenaza de aluviones y sus efectos en el sistema de agua potable en el sector El Arenal de la ciudad de Guaranda, ya que aborda estudios sobre la gestión de riesgos y medidas de mitigación de desastres naturales similares. Esta investigación es relevante para entender como los aluviones pueden impactar en las infraestructuras y permitirá identificar las estrategias que pueden ser implementados para minimizar los impactos en la línea de conducción.

- Este estudio denominado “Cartografía detallada de lahares primarios de volcán Cotopaxi mediante imágenes de espectro visible e infrarrojo cercano obtenidas por una nave

aérea no tripulada (DRONE)”, presenta la aplicación del modelo numérico bidimensional Iber para simular flujos de lahares primarios del río Santa Clara en la población de Sangolquí, cantón Rumiñahui, provincia Pichincha. El modelo se calibra y valida con datos históricos de inundaciones y se realiza para simular diferentes escenarios de lahares. Los resultados muestran que modelo Iber es una herramienta útil para realizar simulación de flujo de lahares y evaluar su impacto en las zonas aledañas a los volcanes.(Cruz Carrillo, 2020)

La metodología propuesta de la utilización del modelamiento Iber para el análisis y mapeo depósitos de lahares utilizando tecnología de drones y análisis espectral, permitirá determinar niveles de amenaza y exposición de infraestructura de sistema de agua potable.

- El informe de la Determinación de Necesidad del Cantón Cumandá

“Rehabilitación de captaciones de agua y sus redes de abastecimiento; trabajos de cambio de tuberías de mayor diámetro del alcantarillado sanitario en la calle Malecón en el sector Plaza de Toros”, realiza las emergencias que presentan los sistemas de captación y distribución de agua a parroquias rurales, siendo las zonas de captaciones afectadas las que se encuentran ubicadas en el Río Blanco y Mallaguan, los cuales se encuentran expuestas especialmente a fenómenos de origen natural como inundaciones y deslizamientos, como se menciona en el informe el colapso de la tubería de conducción en la captación del Río Blanco es un ejemplo de los desafíos adicionales que enfrenta durante la temporada de lluvias intensas.(Berrones Parra, 2024)

El registro de los daños y afectaciones ocasionadas a dos tramos de la tubería de distribución de agua permitirá plantear los desafíos con los que cuenta la ciudad de Guaranda mismo que afectará el suministro de agua potable segura y confiable dentro de la ciudad.

- En base al informe técnico Ejecución del Plan de Contingencia EP- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, 2024 emitido por el director técnico,

en el cual se indica las principales amenazas que afectan la funcionalidad, operación y estabilidad de los componentes de los sistemas de agua potable y alcantarillado, basándose en datos históricos. El 29 de abril del 2024, el aluvión ocurrido en el kilómetro 72 de la vía Guaranda – Ambato, en el sector Los Pinos en la quebrada Chaupiyacu, localizándose varios deslizamientos que provocaron la ruptura la tubería en los sectores Pangua, Quindigua, Lozan y tanque dominado El Arenal, generando el abastecimiento de agua potable en un 60%, teniendo una duración de 3 días sin el servicio.(EP-EMAPAG, 2024)

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Aluviones

Son corrientes rápidas de agua que mezclan tierra, rocas y otros materiales que se mueven a través de quebradas o ríos. Estas corrientes ocurren cuando se presentan intensas precipitaciones o deshielos repentinos que provocan la acumulación del agua en el suelo produciendo saturación del suelo, dando lugar a un río de lodo que puede extenderse varios kilómetros desde su lugar de inicio. Los aluviones pueden ser catastróficos, destruir todo lo que encuentre, representando un riesgo significativo para las personas e infraestructuras expuestas.(Chacon, s. f.)

Un fenómeno que implica un desprendimiento repentino de tierra combinado con agua se produce a través de flujos rápido que es capaz de llevar consigo rocas y diversos elementos a medida que avanza el recorrido por quebrada o río. Este tipo de fenómeno tiene lugar cuando el agua se acumula de manera rápido en el suelo, ya sea por lluvias torrenciales o deshielos, transformando el terreno en un caudal de lodo. Estas corrientes se desplazan velozmente a través del cauce, arrastrando con todo lo que encuentran a su paso sin previo aviso. Puede recorrer por

varios kilómetros desde su origen, incrementando considerablemente al arrastrar árboles, piedras y otros elementos en su recorrido.(Ruiz Rabanal, 2011)

2.3.2. Tipos de Aluviones

- Aluviones fluviales: son fenómenos que provocan un incremento en el flujo de ríos, quebrada y arroyos, lo que lleva a la inundación de las zonas cercanas y el arrastre de sedimentos y otros materiales a lo largo del recorrido.
- Aluviones pluviales: son fenómenos de inundación y transporte de sedimentos ocasionados directamente por precipitaciones fuertes y rápidas que producen volúmenes significativos de escorrentía superficial.

2.3.3. Causas

Los aluviones no volcánicos pueden ser ocasionados por eventos hidrometeorológicos, se menciona dos formas de ocurrencia:

Aluviones por deslizamientos: ocurre cuando la lluvia penetra rápidamente en un terreno relativamente estable: al saturarse, la presión interna aumenta y reduce su asistencia, provocando el colapso del material. Para que este colapso se convierta en un flujo, es necesario que el área afectada esté cerca de una red de drenaje. Este fenómeno es más frecuente en áreas afectadas por incendios, actividades forestales y actividad volcánica entre otras actividades que disminuyen la vegetación. La pérdida de vegetación reduce la evapotranspiración y cohesión del suelo, aumentando su humedad e inestabilidad.(Torres Valdés, 2024, p. 8)

- Aluviones por movilización de depósitos: ocurren cuando la escorrentía de lluvias o inundaciones arrastra materiales hacia los canales, convirtiéndose en la fuente de sedimentos de aluvión.(Torres Valdés, 2024, p. 8)

Aluviones volcánicos se dividen en dos tipos principales:

- **Primario:** son flujos de lodo y escombros volcánicos que se originan directamente por la fusión de nieve o hielo durante una erupción volcánica. Esta mezcla de agua, ceniza volcánica y material rocoso desciende por las laderas del volcán a gran velocidad, arrastrando todo a su paso y representando una seria amenaza para las áreas circundante.(Torres Valdés, 2024, p. 42)
- **Secundario:** son flujos de lodo y sedimentos que se generan posteriormente a una erupción volcánica primaria, usualmente debido a eventos climáticos como lluvias intensas o deshielo que movilizan los depósitos volcánico acumulados. Estos lahares secundarios pueden ser igualmente destructivos y representan un riesgo continuo para las comunidades cercanas a zonas volcánicas.(Torres Valdés, 2024, p. 43)

2.3.4. Factores Desencadenantes

- **Sismos:** pueden producir derrumbes y bloqueos en cauces, formando represas temporales. Cuando estas represas colapsen, liberan grandes volúmenes de agua y sedimentos dando lugar a aluviones repentinos y destructivos.(Muoz, 2023, p. 14)
- **Precipitación:** puede contribuir a la erosión del suelo, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas, facilitando la movilización de sedimentos y generando aluviones.
- **Saturación del suelo:** cuando el suelo alcanza su capacidad máxima de retención de agua, pierde su estabilidad, esto puede ocurrir debido a lluvias torrenciales, dependiendo de la cantidad de agua y el tipo de suelo, estos deslizamientos pueden transformarse en aluviones de escombros o lodo, especialmente si afectan cauces de agua.

2.3.5. Afectaciones por Aluviones en Sistema de Agua Potable

2.3.5.1. Mecánicos y Estructurales

2.3.5.1.1. Deformaciones y rupturas. Comprenden desplazamientos de tramos de tubería expuesto por el impacto directo de los flujos, mismos que cuentan con considerables cantidades de energía cinética, los cuales golpean directamente las tuberías, provocando fisuras o desprendimientos totales, es común observar estos fenómenos cuando las tuberías son segmentadas, mismas que comprenden la continuidad del funcionamiento del sistema de agua potable.

2.3.5.1.2. Colapso de soporte o anclajes. De forma general, los soportes y anclajes se hacen a partir de cemento y varillas de acero, siguiendo los mismos principios de cimentación empleados en construcción de edificios y viviendas. Los procesos erosivos en eventos de tipo flujo son notorios, apreciables a simple vista y de alto impacto en infraestructuras ubicadas en el cauce del río o sus cercanías, debilitando los anclajes o en casos extremos derribándolos.

2.3.5.2. Contaminación en el Sistema de Agua Potable

2.3.5.2.1. Ingreso de Sedimentos y Partículas Sólidas. Fomenta la calidad del agua y la percepción que tiene la población general de la misma, por intrusiones de lodos, arcillas y material orgánica al sistema de agua potable, formando biofilm en las paredes de las tuberías, lo cual fomenta la aparición de bacterias, incrementando considerablemente enfermedades gastrointestinales.

2.3.5.3. Impacto Ambiental

2.3.5.3.1. Alterando del Equilibrio Hidrológico. Cuando se descargan grandes volúmenes de agua de forma instantánea se generan alteraciones en la dinámica fluvial y de escorrentía, así mismo, la rotura de segmentos de tuberías propicia fugas que comprometen la

integridad estructural de los anclajes y la estabilidad de taludes, alterando los canales de drenaje y cambiando el rumbo natural del cauce.

2.3.5.4. Socioeconómicos

2.3.5.4.1. Interrupción Prolongada del Servicio. Perder segmentos de tuberías representa una interrupción del servicio de agua potable, de forma proporcional al daño sufrido y la facilidad de acceso al lugar en donde se requieren reparaciones, claro está, los costos pueden ser elevados con relación a los segmentos afectados y los materiales de los que estén constituidos las tuberías, variado significativamente si son de PVC o de hierro. Por tanto, la interrupción de flujos puede tener duraciones de horas o días, considerando la magnitud del evento, afectando significativamente la salubridad de las personas, sus estilos de vida y las actividades económicas que se lleva a diario, teniendo gran impacto en sectores productivos.

2.3.6. Parámetros Generales de la Cuenca Hidrográfica

2.3.6.1. Área (A). Es la característica más importante, que se encuentra definida por la red hídrica, mantienen una relación directa entre magnitud del área y de los caudales por las precipitaciones, expresado en kilómetro cuadrado (km²). (Sevilla, s. f.)

Tabla 3

Clasificación de áreas

Nombre	Área (km ²)
Unidad	<5
Sector	5 – 20
Microcuenca	20 – 100
Subcuenca	100 – 300
Cuenca	>300

Nota. Fuente: (Zhicay Lombaida, 2020, p. 21)

2.3.6.2. Perímetro (P). Medida del espacio de la cuenca. Esta longitud permite entender la configuración de la cuenca en relación a la superficie.

2.3.6.3. Factor de Forma (Kf). Es fundamental debido a su influencia en el tiempo que tarda en concentrarse el agua, lo que permite comprender la rapidez con la que el río y sus tributarios reaccionan ante la presencia de intensas precipitaciones.

Ecuación 1 *Factor de forma, Horton*

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

Tabla 4

Clasificación de la forma de la cuenca hidrográfica

Rangos de Valores	Forma de la cuenca
< 0,22	Muy Alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente Alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente alargada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,12	Muy ensanchada
>1,20	Redondeando el desagüe

Nota. Fuente: (Renner, s. f.)

2.3.6.4. Pendiente media de la cuenca. Cambio en el ángulo de inclinación dentro de una cuenca es esencial para comprender como se mueven las capas del suelo. En áreas elevadas, la inclinación pronunciada provoca más dificultades relacionadas con la erosión, mientras que en las zonas planas son más comunes los inconvenientes de drenaje y acumulación del drenaje.

Tabla 5

Clasificación de las cuencas de acuerdo con la pendiente

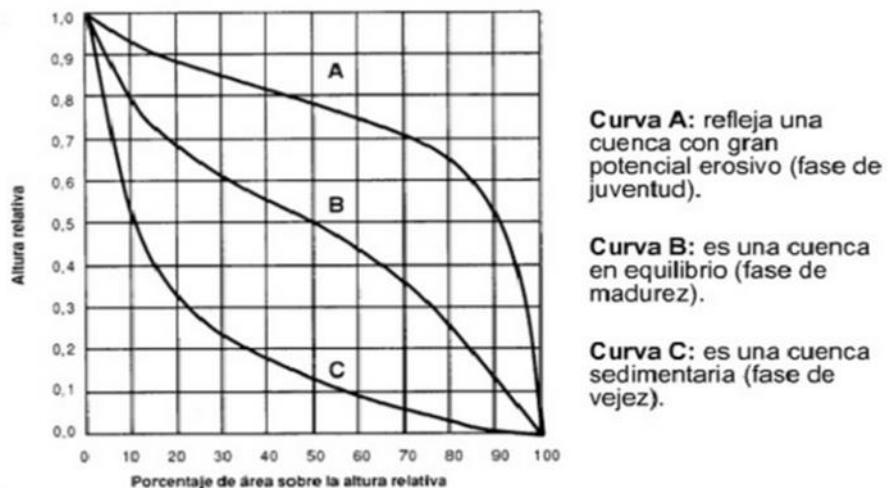
Pendiente Media	Tipo de relieve
0 – 3	Plano
3 – 7	Suave
7 – 12	Medianamente Accidentado
12 – 20	Accidentado
20 – 35	Fuertemente accidentado
35 – 50	Muy fuertemente accidentado
50 – 75	Escarpado
>75	Muy Escarpado

Nota. Fuente: (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, s.f, p. 10)

2.3.6.5. Curva hipsométrica. Se trata de una gráfica que muestra la proporción del espacio de la cuenca o la zona de la cuenca kilómetro cuadrados que se encuentra por encima de un nivel específico.(Zhicay Lombaida, 2020, p. 21)

Figura 1

Clasificación de la curva hipsométrica



Nota. Fuente: (Rojas, 2015)

2.3.6.6. Parámetro de la Red Hídrica. Se determina las longitudes completas de la red hídrica, así como la longitud del río principal.

2.3.6.6.1. Densidad de drenaje. Es la dinámica de la cuenca, es la relación entre la longitud de los ríos y área total. (Araque Arellano et al., 2019, p. 28)

$$D_d = \frac{L}{A}$$

Donde:

L: Longitud de la red hídrica (km)

A: Área de la cuenca (km²)

Tabla 6

Factores de densidad de drenaje de las cuencas según Strahler/Horton

Densidad de drenaje (km/km ²)	Categoría	Interpretación Ambiental
<1	Baja	Baja la escorrentía y aumenta la infiltración
1 – 2	Moderada	Tendencia media de escorrentía
2 – 3	Alta	Alta tendencia a fluir las inundaciones
>3	Muy Alta	Alta tendencia a la escorrentía y erosión

Nota. Fuente: (Zhicay Lombaida, 2020)

2.3.6.6.2. Orden de la Red Hidrica. El número de ríos en cada orden refleja el nivel de ramificación de los ríos en la cuenca.(Araque Arellano et al., 2019, p. 22)

2.3.6.6.3. Tiempo de Concentración. Período que tarda una gota de agua que recorre por la superficie desde la ubicación más lejana de la cuenca hasta el punto de salida.(Rojo, s.f, p. 7)

$$Tc = 0,30 \left(\frac{L}{S^{0.35}} \right)^{0,76}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (horas)

L: Longitud del cauce principal (km)

S: Pendiente total del cauce principal en porcentaje (%)

2.3.7. Sistema de Agua Potable

Es el conjunto de tuberías utilizadas por el EMAPAG, que se encargan de captar el agua, para transportar al tanque de tratamiento, desde allí hasta los tanques de almacenamiento para su distribución, a través de las redes de tuberías a la población.

Se considera como elementos principales de un sistema de abastecimiento de agua a los siguientes; tanque de captación, línea de conducción, tanque de distribución y red de distribución.

2.3.7.1. Tanque de Captación. Es una construcción robusta de hormigón y acero, encargada de recolectar el agua de su fuente natural, protegiendo de la contaminación. En su parte superior, una pequeña compuerta permite inspeccionar el interior en busca de obstrucciones o reboses, facilitando la limpieza. Un orificio lateral en la parte superior del tanque sirve como válvula de escape, liberando el agua cuando el tanque alcanza la capacidad.

2.3.7.2. Línea de Conducción. Enlace vital entre la captación y el tanque de distribución, esta tubería, generalmente de PVC, transporta el agua de manera.

2.3.7.2. Tanque de Distribución. Esta imponente estructura de hormigón, funciona como un almacén de agua, distribuyendo a través de ramales hacia diferentes sectores. Posee orificios calibrados para suministrar la cantidad exacta de agua que cada área requiere.

2.3.7.2. Red de Distribución. Es el conducto que transporta el agua desde el tanque de suministro hacia las diversas ramas.

2.3.8. Vida Útil de Tuberías en el Sistema de Agua Potable

2.3.8.1. Tubería de Hierro Fundido. Se fabrican en dos tipos de materiales: hierro gris o fundición dúctil. Su vida útil puede oscilar entre 100 a 200 años, dependiendo del mantenimiento adecuado. (Arroyo, s. f.)

2.3.8.2. Tubería PVC. Se considera que la durabilidad es un aspecto crucial para los sistemas de tuberías subterráneas, los cuales pueden tener una vida útil entre 50 y 100 años, dependiendo del mantenimiento adecuado.(Nolan, 2019)

2.3.9. Tipos de Fuente de Abastecimiento

- Fuente de agua superficial sin regulación: son aquellas fuentes donde el caudal de escorrentía del río es mayor que el caudal de consumo máximo diario durante un periodo.
- Fuente superficiales con regulación: son fuentes en las que el caudal de escorrentía del río en ciertas épocas del año no es suficiente para satisfacer la demanda, por lo que es necesario represar el agua para compensar el déficit.

2.3.10. Fuente de Agua Subterránea

Forman parte del ciclo hidrológico y se mantienen en movimientos a través de las capas geológicas por percolación, las cuales pueden contenerlas y permite su circulación estas fuentes de agua subterránea, comúnmente conocidas como acuíferos, se caracterizan por su porosidad, permeabilidad, trasmisibilidad, producción específica y coeficiente de almacenamiento. Ejemplo de estas fuentes incluyen ríos subterráneos, acuíferos, pozos y galerías filtrantes, entre otros.

2.3.11. Medidas de Reducción Ante la Exposición de la Infraestructura

2.3.11.1. Tanques de Captación.

- Diseñar obras de protección a las estructuras de captación de la fuente de abastecimiento de agua, tales como zampeados, gaviones y muro terraplenes, etc.
- Reemplazo de cubiertas simples, por tapas con sistema de escotilla y cubierta de concreto que excluya el ingreso de personal no autorizado.

- Localizar una fuente alterna para el abastecimiento en emergencia, de acuerdo con la demanda mínima de agua que se defina para consumo humano durante la emergencia o restauración de los sistemas.

- Establecer diseños que permita la protección de las fuentes y obras de captación, al menos contra los efectos de cenizas, lava y arenas.(Navarro Hudiel, 2008, p. 46)

2.3.11.2. Tubería de Conducción y Distribución de Agua.

- Incluir el diseño de sistemas, válvulas de limpieza en los puntos bajos de la red de distribución, para ser utilizadas en la limpieza y desinfección en la misma después de pasado el desastre.

- Evitar el diseño de sistema de agua potable en zonas sísmicas, el uso de tubería de asbesto cemento, concreto reforzado o cualquier otro material de poca flexibilidad.(Navarro Hudiel, 2008, p. 47)

2.4. Marco Legal

La base legal del presente trabajo se cita como fundamentos legales.

Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre, menciona 4 principios rectores en cuanto a gestión de riesgos dentro del territorio nacional, provincial, cantonal, mismo que se en lista:

Prioridad 1: comprender el riesgo de desastres.

Prioridad 2: fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo.

Prioridad 3: invertir en la reducción de riesgo de desastres para la resiliencia.

Prioridad 4: aumentar la preparación para casos de desastres a fin de dar una respuesta eficaz y para reconstruir mejor en ámbitos de la recuperación, rehabilitación y reconstrucción. (Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, 2015, p. 14)

Constitución de la República del Ecuador en el Artículo 318 menciona que:

El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, constituyendo un elemento vital para la existencia de los seres humanos. Prohibiendo toda forma de privatización del agua. (*Constitución de la República del Ecuador*, 2008, p. 160)

Artículo 389 establece:

El Estado protegerá a las personas, colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de los desastres, la recuperación y el mejoramiento de las condiciones sociales, económicos y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad. El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgos está compuesto por unidades de riesgos de todas las instituciones públicas y privadas en

los ámbitos local, regional y nacional. (*Constitución de la República del Ecuador*, 2008, p. 190)

El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras.

1. Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten el territorio ecuatoriano.
2. Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
3. Asegurar, que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
4. Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos campos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.
5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir a mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales afectos negativos derivados a desastres o emergencias en el territorio nacional.
7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo.

(*Constitución de la República del Ecuador*, 2008, p. 190)

Artículo 390 establece que:

Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán apoyo necesario con respecto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos sus responsabilidades. (*Constitución de la República del Ecuador*, 2008, p. 191)

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y Aprovechamiento del Agua en el artículo 1 indica que:

La naturaleza jurídica. Los recursos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley.

El agua es el patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria. (*Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua*, 2014, p. 3)

De acuerdo con el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), en el artículo 132 señala que:

Ejercicio de la competencia de gestión de cuencas hidrográficas. La gestión del ordenamiento de cuencas hidrográficas que de acuerdo a la Constitución corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Regionales, comprende la ejecución de políticas, normativa regional, la planificación hídrica con participación de la ciudadanía, especialmente a las juntas de agua potable y de regantes, así como la ejecución

subsidiaria y recurrente con los otros Gobiernos Autónomos descentralizados, de programas y proyectos, en coordinación con la autoridad única del agua en su circunscripción territorial, de conformidad con la planificación, regulación técnicas y control que esta autoridad establezca.

El gobierno Autónomo Descentralizado Regional propiciará la recreación y liderará, una vez constituidos, los consejos de cuenca hidrográfica, en los cuales garantizará la participación de las autoridades de los diferentes niveles de gobierno y de organizaciones comunitarias involucradas en la gestión de uso de los recursos hídricos. (*Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*, 2010, p. 56)

Artículo 137 estipula que:

Ejercicio de las competencias de prestación de servicios públicos. Las competencias de prestación de servicios públicos de agua potable, en todas sus fases, la ejecutarán los gobiernos autónomos descentralizados municipales con sus respectivas normativas y dando cumplimiento a las regulaciones y políticas nacionales establecidas por las autoridades correspondientes. Los servicios que se presenten en las parroquias rurales se deberán coordinar con los gobiernos autónomos descentralizados de estas jurisdicciones territoriales y las organizaciones comunitarias del agua existentes en el catón. (*Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*, 2010, p. 59)

Ordenanza de Creación de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (EP-EMAPAG) en el artículo 3.2. menciona que las atribuciones son:

b) Operar, mantener, controlar, supervisar el sistema de producción, en lo referente a la captación, reserva de agua ruda, el tratamiento y la conducción de agua tratada.

c) Organizar, planificar, supervisar y controlar la ejecución del sistema de distribución, en lo referente al almacenamiento, a las redes de distribución y procesos de tratamiento.(Ruiz Dávila & León, 2014)

2.5. Marco Conceptual

Iber: “Modelo matemático bidimensional que incorpora un módulo hidráulico para representar los flujos en ríos, canales y cauces naturales, facilitando el cálculo de crecidas y anegaciones, así como la identificación de áreas susceptibles a inundaciones”(Feito, 2021a).

Modelamiento hidráulico bidimensional: “Calcula los resultados hidráulicos en ubicaciones dentro de una malla que cubre toda la extensión geográfica de un río y una llanura de inundación”(Feito, 2021b).

Remoción de masa: “Son factores geomorfológicos, prevalentes en la región sierra, que puede conducir a desastres, la aparición y características son definidas por la combinación de diversos factores climáticos, geológicos, topográficos y actividades humanas” (Mergili et al., 2015).

Saturación del suelo: Cantidad máxima de agua en el suelo, cuando todos los espacios porosos están llenos de agua, causando la inestabilidad del suelo, provocando deslizamientos, aluviones, socavamiento.

Mitigación: “Reducir o minimizar las consecuencias dañinas de un evento peligroso”(Naciones Unidas, 2009, p. 21).

Preparación: “Conocimiento y capacidad desarrolladas por gobiernos, profesionales, organizaciones de respuesta y recuperación, comunidades y personas para responder y recuperarse efectivamente de las consecuencias de los eventos o posibles circunstancias que se relacionan con una amenaza”(Naciones Unidas, 2009, p. 24).

Prevención: Es un conjunto de medidas y acciones destinadas a evitar o reducir las probabilidades de la materialización del evento peligroso que puede causar daños y destrucción. Enfocándose en identificar y evaluar los riesgos a los que pueden estar expuesta la población, para la implementación de las medidas.(Naciones Unidas, 2009, p. 25)

Evaluación de riesgo: “Metodología cualitativo o cuantitativo para determinar el alcance de la amenaza, mediante el análisis de las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad de la población”(Secretaria de Gestión de Riesgos, 2019, p. 9).

Susceptibilidad: “Nivel de vulnerabilidad interna de una persona, objeto o sistema para afrontar una amenaza y tener un impacto debido a la materialización de un evento peligroso”(Secretaria de Gestión de Riesgos, 2019, p. 14).

Capítulo III. Metodología

3.1. Tipo de Investigación

Descriptivo

Es de carácter no experimental, ya que no manipula las variables, limitando a observar y detallar las características importantes. Es decir, solo busca únicamente medir o recopilar información de manera independiente o conjunta sobre las variables de estudio (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 92).

En este sentido, otro autor destaca que, comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente. (Monroy Mejía & Nava Sanchezllanes, 2018, p. 103)

Permitió detallar las características de la zona de estudio. Además, facilitó la identificación de los factores que influyeron en la materialización de la amenaza de aluvión como la erosión, vegetación, sedimentación y las zonas de afectación del sistema de agua potable.

Documental

La recopilación y el análisis de información se realizaron a través de la revisión de informes, metodologías y otras fuentes relacionadas con las variables de estudio, lo que permitió sustentar la importancia de definir y analizar cada una de las variables según el tipo de investigación. Este tipo de investigación fue fundamental para analizar investigaciones previas, técnicas de recopilación datos y comprender mejor los factores que inciden en la materialización de aluvión y afectación en el sistema de agua potable.

Investigación de Campo

Tuvo como propósito fundamental la comprensión y el análisis cualitativo al realizar el levantamiento de información de las áreas vulnerables frente a la amenaza. Además, facilitó la recolección de información in situ, lo que permitió obtener información más precisa y mejoró la comprensión sobre el nivel de exposición de la infraestructura del sistema de agua potable. Resultando crucial para sustentar las variables a analizar, permitiendo definir de manera adecuada las medidas de reducción.

3.2. Enfoque de la Investigación

Mixto

Los métodos mixtos, recogen información o datos de naturaleza cuantitativa y cualitativa, empleando mecanismos técnicos, para lo cual prevalece la pluralidad metodológica, sin poner de manifiesto un conflicto epistemológico entre el enfoque cuantitativo y cualitativo, si no que más bien, valora la importancia de ambas perspectivas para difundir, integrar y completar información, fuentes y técnicas con el propósito de realizar un análisis integrando el problema. (Gregorio Rojas, 2023, p. 137)

El empleo del enfoque cualitativo como cuantitativo permitió tener una visión completa sobre el nivel de exposición por amenaza de aluvión en el sistema de agua potable. El enfoque cuantitativo consistió en el modelamiento bidimensional con el software Iber para obtener datos de calado y velocidad, con el fin de representar de la amenaza por aluviones. Esto se llevó a cabo mediante el tratamiento de datos atípicos de precipitación, obtenidos por hora. Enfoque cualitativo consistió en el levantamiento de información sobre las veces de las ocurrencias del evento, permitiendo identificar los factores que influyen en la materialización de la amenaza.

Con base a la información obtenida, se elaboraron propuestas de medidas de reducción ante la exposición de la infraestructura del sistema de agua potable.

3.3. Métodos de Investigación

Analítico

El propósito de la investigación es analizar el evento y comprender en termino de aspectos menos evidente. Analizar significa desintegrar o descomponer una totalidad en sus partes para estudiar en forma intensa cada uno de sus elementos y las relaciones entre sí, para comprender la naturaleza del evento.(Hurtado, citado por Gregorio Rojas, 2023, p. 146)

A través de este método, se logró identificar las causas y consecuencias, lo que permitió comprender por qué ocurre el evento. También facilitó el análisis de los factores como el tipo de suelo, la intensidad de precipitaciones y la intervención de la actividad humana en la zona de estudio, proporcionando explicaciones más detalladas del problema. Además, permitió analizar las medidas de reducción que se podrían proponer.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recopilación de Datos

Para alcanzar los objetivos planteados, se utilizaron diversas técnicas como software y metodologías, que facilitaron la recopilación y procesamiento de datos para el desarrollo del trabajo de investigación.

Observación: mediante esta técnica se realizaron visitas in situ, para obtener información real y verificar la precisión de los datos obtenidos a través del DEM, lo que permitió identificar los sectores y tramos de afectación en la línea de conducción.

Estudio documental: permite la recopilación de información de fuentes secundarias como repositorios de instituciones educativas, revistas académicas, libros, entre otros. Se llevo a cabo

mediante la búsqueda de palabras claves relacionados con el tema de amenaza de aluviones, lo que facilitó la obtención de información fundamental para el desarrollo de la investigación.

Se realizó la salida in situ para identificar zonas críticas del área de estudio y tener una visión integral de la naturaleza de la zona de estudio.

En primer lugar, se realizó la salida de campo en la que se utilizó un dron para obtener ortofotos, permitiendo un análisis más detallado de la zona de estudio. Durante esta actividad, se identificaron los represamientos en la parte alta de la Quebrada Chauiyacu, para lo cual se utilizó el software AutoCAD para la representación de los 7 perfiles. Además, se descargó el Modelo Digital de Elevación (DEM) desde la plataforma SIG Tierras, con el fin de delimitar la microcuenca y obtener los parámetros morfométricos correspondientes. A partir de ello, se generaron shapes de forma de la microcuenca, que luego fueron importadas al software de Iber. Posteriormente, se realizó la búsqueda de información de precipitación por horas desde 2001 hasta 2023 de la plataforma Power Data Access View de la NASA. Tras obtener los datos de precipitación mensual, se aplicó el método de descarte de valores atípicos de Outlier. Finalmente se realizó el modelamiento con los datos de precipitación tratados, obteniendo como resultado el modelamiento de calado y velocidad.

En segundo lugar, se llevó a cabo la georeferenciación de las líneas de conducción y tanques de captación proporcionado por la EMAPA-G, lo que permitió confirmar la ubicación precisa de los daños. Para conocer el nivel de exposición, se realizó la multiplicación de los ráster de velocidad por calado. Asimismo, se efectuó la salida de campo a los sectores de Pangua y Arrayan Pamba para verificar los elementos expuestos de las líneas de conducción del sistema de agua potable EMAPA-G. Posteriormente, se realizó un vuelo con dron para obtener el DEM.

Con los Modelos Digitales de Elevación obtenidos en cada salida, se pudo identificar zonas de erosión mediante el modelamiento de erosión en SAGA, donde se toma en cuenta la capa Ls.

Finalmente, la salida de campo a los sectores de Pangua y Arrayan Pamba permitió identificar que medidas podrían ser viables para la implementación en la zona de estudio.

3.5. Técnicas de Análisis y Procesamiento de Información

Para el primer objetivo específico, se utilizó el modelo matemático bidimensional con el módulo hidrodinámico especializado, lo que se convirtió en una herramienta esencial para evaluar el riesgo de aluviones en el sector El Arenal del sistema de agua potable. Al incorporar una representación detallada de los flujos generados, así como la capacidad de simular inundaciones, el modelo permitió una mejor comprensión de los posibles escenarios de afectación en el sistema de agua potable del sector El Arenal. Esto, a su vez, facilitó la toma de decisiones informadas y la implementación de las medidas de gestión de riesgos efectivas.

Se realizó los análisis morfométricos mediante el software ArcMap, utilizando el DEM obtenido de la plataforma SIG Tierras.

Delimitación de la microcuenca

Se efectuó a través del software ArcMap incorporando el Modelo Digital de Elevaciones (DEM), mediante el cual se obtuvo la delimitación siguiendo el procedimiento:

Tabla 7

Procesamiento para la delimitación de la microcuenca y obtención de los parámetros morfométrico

Herramientas	Entrada	Archivo de salida	Descripción
DEM	DEM descargado	DEM	Ráster
Fill	DEM	Relleno de pixeles vacíos	Corrige el DEM
Flow Direction	Fill DEM	Dirección de Flujo	Calcula la dirección de flujo
Flow Accumulation	Dirección de Flujo	Acumulación de flujo	Calcula el flujo acumulado
Create feature, shapefile, point	Punto de desfogue		Designar el punto de desfogue, interpolación de shape
Westershed	Flow Direction + punto		Permite la delimitación de la microcuenca
Interpolate shape	Fill DEM Fill DEM Flow Direction	Interpolación	Recortar la microcuenca para
Extract by Mask	Flow Accumulation	Cuenca Interpolada	calcular los datos de los parámetros morfométricos
Map Algebra: Ráster Calculator	Log10 Con	Acumulación de flujo	Red Hídrica
Stream link	Red hídrica	Red hídrica segmentado	Continuidad de la red hídrica

Stream order	Red hídrica	Orden de la red hídrica	Orden de la red hídrica de la microcuenca
Stream to feature	Permite visualizar el orden de la red hídrica en el layer		

Nota. Realizado por Bayas M. y García E. 2024

Característica morfométrica de la microcuenca.

Parámetro General: Para calcular el área, perímetro, cota máxima, cota mínima, cota mínima se realizó de forma directa en el software ArcMap.

Table										
Microcuenca Quinoacorral										
FID	Shape *	Id	gridcode	Area_km2	Perime_km	Cotas_max	Cotas_min	Centroi_X	Centroi_Y	Centroi_Z
0	Polygon ZM	1	0	32,463	36,801	4363	2848	730000	9800000	3619,025

Red Hídrica: Número de orden de la red hídrica que se obtuvo a través de la metodología de Strahler en ArcMap.

El factor de forma, se obtuvo aplicando la ecuación de Horton.

Metodología para validación de datos de precipitación.

Análisis de datos dudosos (Outlier)

Los valores atípicos son datos que se desvían notablemente de las demás tendencias de datos. Es importante identificar y manejar la desviación de los datos, ya que pueden afectar significativamente los resultados. (Jose Jose, s. f.)

Datos de precipitación máxima

Para identificar y tratar los datos atípicos de precipitación, se obtuvieron datos donde la plataforma Power Data Access View de la NASA por horas desde 1 enero del 2001 hasta 31 de diciembre del 2023. Posteriormente se realizó el cálculo de los valores máximos de precipitación mensualmente. Se determinó valores que se desvían significativamente de la distribución de los

demás datos, a través del análisis de datos atípicos, en la siguiente tabla se observa los datos obtenidos.

Tabla 8

Datos de precipitación máximas de 24 horas entre los años 2001 – 2023

Años	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
2001	1,75	1,45	1,07	0,93	1,41	2,46	0,94	0,84	1,49	0,87	0,81	1,17
2002	0,73	2,34	2,34	1,7	1,96	2,46	1,61	1	1,16	1,14	1,33	1,39
2003	1,66	1,91	1,84	1,65	1,56	1,13	2,08	0,66	1,81	1,18	1,5	2,04
2004	1,44	0,96	1,88	1,72	3,01	1,07	1,69	2,07	1,17	1,13	1,73	1,72
2005	0,34	1,09	1,65	3,04	0,77	0,56	0,19	0,33	0,62	1,01	2,34	0,71
2006	1,02	3,47	1,41	1,26	1,82	2,11	0,91	1,03	0,35	0,51	0,21	0,83
2007	2,43	0,41	1,21	0,55	1,29	3,63	0,99	1,78	0,75	2,03	2,39	1,05
2008	1,57	2,71	3,14	3,2	2,16	2,96	1,16	2,37	3,33	2,07	0,64	0,95
2009	1,71	2,49	1,35	2,92	0,25	0,25	0,88	1,78	0,77	2,61	0,91	1,61
2010	1,32	2,36	1,61	3,14	1,32	1,23	0,85	0,4	1,31	1,19	1,12	1,57
2011	2,43	2,9	1,05	3,14	1,04	1,01	1,59	1,89	1,84	1,82	2,61	2,23
2012	2,07	2,05	1,72	1,62	2,58	1,6	0,95	2,38	1,28	1,78	1,56	0,8
2013	1,16	2,07	2,62	2,02	2,71	2,86	1,3	1,28	1,29	1,7	1,85	1,79
2014	1,93	1,62	1,63	0,65	1,7	1,88	0,63	0,86	1,41	2,76	0,98	2,3
2015	1,54	1,6	1,77	1,22	1,22	1,55	1,4	1,77	1,4	1,3	2,1	1,24
2016	0,51	1,39	1,76	2,85	1,57	1,75	2,38	0,94	1,88	1,24	1,89	0,95
2017	2,93	3,05	3,49	1,51	2,21	4,83	2,77	2,05	3,32	1,07	3,11	2,9

2018	2,56	5,36	1,27	2,72	2,22	13,91	2,37	1,54	1,27	1,42	1,74	0,96
2019	1,19	1,24	1,24	1,84	2,01	1,48	2,13	1,83	1,51	1,48	1,9	1,76
2020	1,43	1,76	1,32	3,81	1,4	1,38	1,85	1,06	1	2,64	0,08	1,71
2021	4,12	1,34	2,21	2,98	2,45	3,48	0,67	1,02	2,33	2,09	1,97	3,43
2022	2,06	1,52	5,04	3,83	1,37	2,45	2	1,15	1,59	4,28	2,98	1,35
2023	2,06	1,61	2,28	3,11	2,57	1,47	1,7	1,15	1,58	1,58	2,79	4,57

Nota. La tabla muestra los resultados de valores máximos de precipitaciones mensuales, obteniendo un valor atípico de 13,91 en el mes de junio 2018. Realizado por: Bayas M. y García E. 2014

Prueba de Bondad de ajuste Kolmogorov – Smirnov

Se utiliza la prueba de bondad de ajuste para comprobar si se puede considerar que los datos obtenidos de la muestra provienen de una distribución o modelo de probabilidad, permitiendo verificar que tipos de distribución se ajusta mejor a los datos que se obtuvo, por lo tanto, que pruebas podemos llevar a cabo el contraste estadístico. (Romero Saldaña, 2016)

Mediante la prueba de bondad aplicado a los valores máximos de precipitación obtenidos, se evidencia que la distribución de los datos sigue un patrón normal.

Este procedimiento se lleva a cabo utilizando la prueba de Kolmogorov – Smirnov. La observación resultante indica que el modelo de Log Pearson III se ajusta mejor a los datos y presenta menos dispersión de datos.

Software Hydrognomon

Para calcular los periodos de retorno en el software hydrognomon, se debe ingresar los datos de precipitaciones anual máxima. Después de cargar los datos, se emplea distribuciones comunes como Normal, Log Normal, Pearson III, Log Pearson III, para seleccionar el tipo de

análisis que mejor se ajuste a los datos de precipitación. Al determinar el tipo de análisis adecuado, se procede a realizar la prueba de Kolmogorov, el método más utilizado para analizar eventos hidrológicos.

El análisis del periodo de retorno a través de pruebas de comparación entre diversas distribuciones, observando que la distribución de Log Pearson III se ajusta a los datos de precipitación máxima para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años.

Curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia)

Es una herramienta que permite analizar el comportamiento de la intensidad, duración y frecuencia de la precipitación. La intensidad se relaciona con la cantidad de precipitación, mientras que, la duración se refiere a la intensidad de la lluvia en función al tiempo de duración. Por otro lado, la frecuencia se refiere a la probabilidad de presencia de lluvia con una intensidad y duración sin interrupciones.

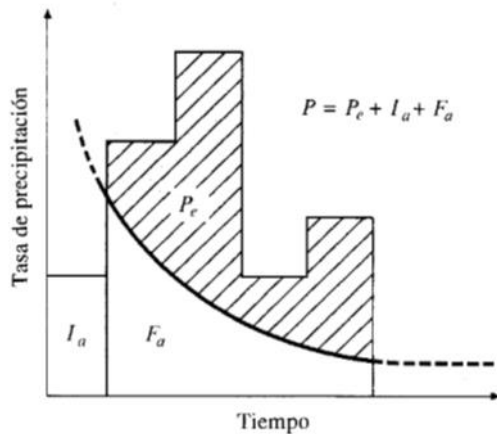
HEC-HMS

Método de abstracciones del Soil Conservation Service (SCS)

El SCS desarrolló una metodología para calcular cuanta lluvia cae. En una lluvia, la cantidad de agua que ocurre en la superficie siempre será igual o menor que la cantidad de lluvia total. También, una vez que comienza el agua a correr, la cantidad de agua adicional retenida en la microcuenca será igual o menor a la capacidad máxima de retención S . Hay una cantidad de lluvia que cae antes de que se forme un charco y no habrá agua corriendo. Por lo tanto, la escorrentía potencial es igual a $P - I_a$.

Figura 2

Variable del Método de SCS



Nota. Las siglas que se muestran en la figura se definen de la siguiente manera I_a : Abstracción inicial, P_a : Exceso de precipitación, F_a : Abstracción continua, P : Precipitación total.

Fuente:(Chow et al., 1994, p. 151)

La hipótesis del método es que la relación entre cantidades reales y cantidades potenciales es la misma, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P_e - I_a}$$

Principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando las 2 ecuaciones anteriores, despejando P_e se tiene que:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Esta es la ecuación fundamental para calcular la lámina de acceso de precipitación o escorrentía directa de una lluvia, utilizando en método SCS. A través de diversos ensayos experimentales, los investigadores llegaron a las siguientes ecuaciones:

$$l_a = 0.2S$$

Entonces:

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

Donde:

$$S = \frac{1,000}{CN} - 10(\text{pulg})$$

CN (número de curva) es un valor sin dimensiones que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y cuerpos de agua $CN = 100$, en cuanto a superficies naturales, $CN < 100$. Los valores dependen del tipo de suelo y cobertura vegetal. En la Tabla 9 se representa los valores atípicos.

Tabla 9

Números de curva para usos de suelo (agrícola, suburbana y urbana)

Descripción de uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamientos	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
	Condiciones pobres	68	79	86	89
Pastizales	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78

Bosques	Troncos delgados, cubiertas	45	66	77	83
	pobre, sin hierbas, cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, amos del golf, cementerios, etc.	Óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o más	39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeable Residencial		81	88	91	93
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carreteras					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
Grava		76	85	89	91
Tierra		72	82	87	89

Nota. Fuente:(Chow et al., 1994, p. 154)

Tabla 10

Grupos hidrológicos de suelos

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
-----------------------------------	--	-----------------	---------

			Arenosa
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración >76 mm/h	Arenosa – limosa Franca
B	Moderada	Capacidades de infiltración 76 – 13 mm/h	Franco – arcilla – arenosa Franco – limosa Franco – arcillosa
C	Lenta	Capacidades de infiltración 36 – 13 mm/h	Franco – arcillo – limosa Arcillo – arenosa
D	Muy lenta	Capacidades de infiltración <13 mm/h	Arcillosa

Nota. Fuente: (Figuerola, s. f.)

Software HEC – HMS

Es un software que simula como fluye el agua de las lluvias a través de una microcuenca dividida en secciones de subcuencas, que están asociadas a los cauces de la red hídrica, permite simular el hidrograma de escorrentía que se produce en un punto específico de la red de drenaje después de un evento de la lluvia. (López et al., 2012)

El programa ofrece una interfaz donde se introducen datos para modelar los componentes hidrológicos. Se puede obtener información en forma de gráficos o tablas a nivel global o individual, dependiendo del análisis de la zona de estudio. No importa el tamaño, se puede analizar desde tramos individuales hasta cuencas completas.

Para determinar el caudal en la microcuenca Quinoa Corral y la Quebrada Chaupiyacu se utilizó el programa HEC – HMS, puesto que, además de su aceptación por la comunidad científica, proporciona variedad de beneficios, como obtención de hidrogramas automáticos, caudales para tiempos de retorno requeridos, entre otros.

Los parámetros que se introdujeron en el programa fueron los siguientes:

Subcuencas e intercuencas: se calculó el área individual de cada sector, el método de los números de curva del SCS y el método de transformación se definió el hidrograma unitario del SCS, para obtener los resultados para la Quebrada Chaupiyacu:

Tabla 11

Grupo hidrológico de suelo Quebrada Chaupiyacu

Quebrada	1	Chaupiyacu	
Grupo hidrológico de suelo	Tipo B		
Uso de suelo	Curva Numero (II)	Área km o %	Ponderación
Cultivo (sin tratamiento de conservación)	81	20	1620
Pastizal páramo (mal estado)	79	70	5530
Bosque (cobertura pobre)	66	10	660
CN (II)	Promedio		78.1
CN (III)	$CN (III) = \frac{23 CN (II)}{10+0,13 CN (II)}$		96.1

Nota. El número de curva que representa el CN (III) con su respectiva ecuación, es empelada para casos extremos, siendo utilizada especialmente para suelos altamente erosivos.

Posterior al número de curva encontrado, se calcula las características individuales de cada subcuenca, para hallar el valor promedio de las pendientes y así poder encontrar el tiempo de concentración para cada zona.

Tabla 12*Curvas y tiempo de concentración*

Subcuencas	Longitud del canal		SI	COEF	exp n1	exp n2	tc mins	tc horas
	L M	L ft						
1. Yaractuz	8239	27031,9	0,529	0,0078	0,77	-0,385	25,77	0,43
2. Yanarrumi	3898	12787,2	0,602	0,0078	0,77	-0,385	13,77	0,23
3. Quiriquingue	5690	18667,1	0,357	0,0078	0,77	-0,385	22,54	0,38
4. Huantug	2201	7221,7	0,458	0,0078	0,77	-0,385	9,86	0,16
5. Tusapamba	4596	15077,5	0,362	0,0078	0,77	-0,385	19,03	0,32
6. Tejar	3834	12579,0	0,332	0,0078	0,77	-0,385	17,10	0,29
Q_Chaupiyacu	3461	11354,9	0,452	0,0078	0,77	-0,385	14,04	0,23
Q_Trenzas	3331	10926,9	0,344	0,0078	0,77	-0,385	15,15	0,25

Una vez obtenido los tiempos de retorno, se calculan los tiempos de retardo, es decir el tiempo que toma a los milímetros de precipitación viajar desde el punto más alejado de la quebrada, hasta su salida, dicho de otra forma, es considerado como el intervalo del tiempo existente entre el momento en el que se produce el caudal máximo y el pico de la tormenta.

	Tc Minutos	Lag=0.6*tc
1. Yaractuz	25,77	15,46
2. Yanarrumi	13,77	8,26
3. Quiriquingue	22,54	13,53
4. Huantug	9,86	5,91
5. Tusapamba	19,03	11,42
6. Tejar	17,10	10,26
Q_Chaupiyacu	14,04	8,43
Q_Trenzas	15,15	9,09

Lag Máximo

15,46

Con el tiempo de concentración podemos crear un modelo de tormenta en base al máximo obtenido, en este caso 25,77. Esto nos lleva a crear un modelo con una duración de treinta minutos a una hora, ideal para fenómenos como el aluvión, por tanto, se designan intervalos de tiempo con separación de cinco minutos para media hora de duración, utilizando datos de estaciones pluviométricas y las ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas que nos ofrecen, tomando a la estación de San Simón por su proximidad a la ciudad de Guaranda encontramos lo siguiente:

Tabla 13*Ecuación IDF para la estación meteorológica San Simón*

Estación		Intervalos	Ecuaciones	R	R ²
Código	Nombre	de tiempo (minutos)			
M0030	San Simón	5<30	$i = 174.8695 * T^{0.1457} * t^{-0.459}$	0.9851	0.9704
		30<120	$i = 589.2026 * T^{0.1703} * t^{-0.8441}$	0.9978	0.9957
		120<1440	$i = 695.4409 * T^{0.1622} * t^{-0.885}$	0.9981	0.9963

Nota. La ecuación Intensidad - Duración -Frecuencia (IDF) de la estación meteorológica San Simón, permite calcular la intensidad máxima. Fuente:(Guachamín et al., 2019)

Tomando en cuenta la primera ecuación y el tiempo de concentración obtenido, se realiza la división de los componentes de la ecuación y calculamos por separado y se calcula.

Teniendo en cuenta cinco componentes, se inicia con el primero que es la duración en minutos del tiempo total de nuestro modelo de tormenta, seguido de la intensidad en mm/h obtenidos anteriormente, mismo que, al ser multiplicado por los minutos nos otorga la profundidad acumulada y el incremento, finalizando con el componente seis, en donde los datos máximos en mm de las precipitaciones son ordenadas, de modo que, los valores máximos sean ubicados en el medio, representando así que, en fenómenos de lluvias torrenciales, los valores máximos estarán en el medio de la tormenta. Como último recurso, se emplea el método del bloque alterno para generar una tabla final de periodos de retorno.

Precipitaciones			
Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años
2,39	2,64	3,02	3,34
3,15	3,47	3,97	4,39
8,80	9,74	11,13	12,31
4,00	4,43	5,06	5,60
2,68	2,97	3,40	3,76
2,18	2,41	2,76	3,05

Para obtener información sobre los datos de precipitación, se utilizaron los valores obtenidos tras el diseño para periodos de retorno de 5, 15 y 50 años. Se seleccionó este último debido a la similitud existente entre los datos de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) para los periodos de retorno de 25 y 50 años.

En el modelo meteorológico, se seleccionan los pluviómetros correspondientes a cada período de retorno, ingresando en los datos de precipitación.

El valor de rugosidad (n) o K para Muskingum se obtuvo para asignación individual y exclusivo de los tramos, comenzando con el cálculo de rugosidad de Manning.

Tabla 14*Cálculo de división de longitud real del tramo y la longitud en línea recta*

long_real	linea_recta	resul	
463,096597	369,925668	1,25186392	Inicial Tramo
2019,10843	1653,69677	1,22096654	Tramo 1
1725,76645	1178,40061	1,46449894	Tramo 2
1353,47682	1193,50309	1,13403713	Tramo 4
2596,91434	2358,90473	1,10089835	Tramo 3
1139,28878	1193,50309	0,95457548	Tramo 4
737,789568	554,323618	1,33097264	Tramo 5
1102,2952	1360,97134	0,80993271	Tramo 6
521,533967	1360,97134	0,38320717	Tramo 7

Tabla 15*Valores medios de meandros asignados*

Base					Meandros	
n0	n1	n2	n3	n4	n5	
0,040	0,020	0,010	0,030	0,011	1,150	
0,040	0,010	0,010	0,030	0,011	1,150	
0,040	0,010	0,010	0,030	0,011	1,150	
0,024	0,010	0,015	0,020	0,010	1,150	
0,025	0,020	0,015	0,020	0,015	1,150	
0,025	0,010	0,015	0,020	0,010	1,150	
0,025	0,010	0,015	0,015	0,030	1,000	
0,024	0,010	0,015	0,015	0,030	1,000	

Para finalizar este proceso, es necesario, sumar los valores desde la base, hasta N4, para multiplicar por N5:

Tabla 16*Coefficiente de rugosidad de Manning obtenida*

Coef
Rugos
Manning
(n)
0,1277
0,1162
0,1162
0,0909
0,1093
0,0920
0,0950
0,0940
0,0000

Después de encontrar el valor de la rugosidad (n), lo reemplazamos en la ecuación de Cowan, para calcular la velocidad sobre segundos. Para finalizar, dividimos la distancia entre la velocidad para obtener K y lo convertimos en horas, ya que HEC – HMS trabaja con dichas unidades.

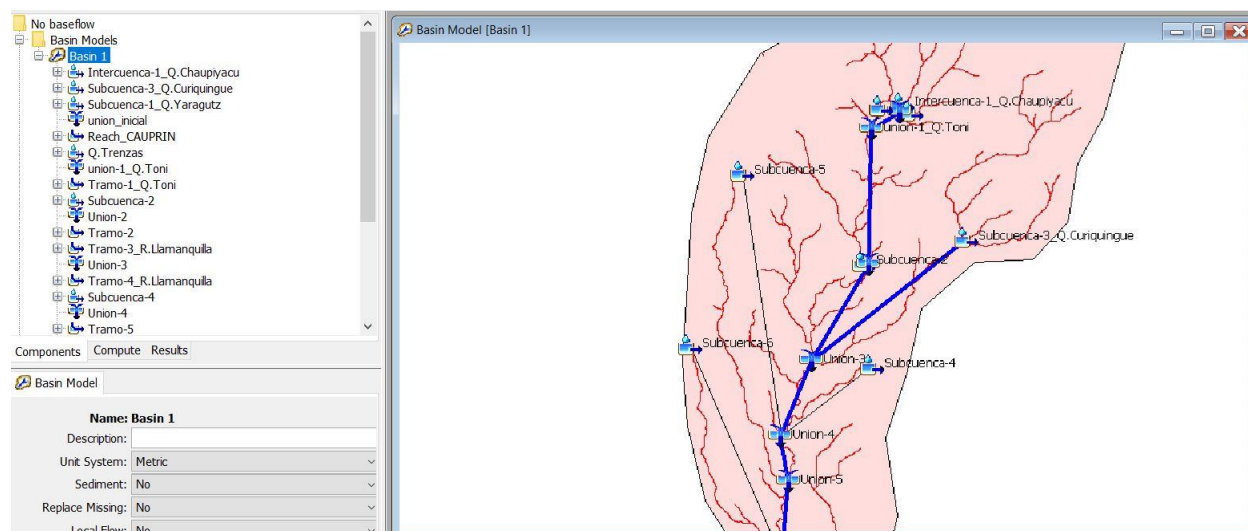
Tabla 17*Valores K*

t=k	t=k	Distancia	Velocidad	K	
hrs	Seg	M	m/s		
0,054657565	196,767232	463,10	2,35	0,055	Tramo Inicial
0,158403026	570,250894	2019,11	3,54	0,158	Tramo 1
0,133120359	479,233292	1725,77	3,60	0,133	Tramo 2

0,165183089	594,65912	2596,91	4,37	0,165	Tramo 3
0,135886197	489,190311	1353,48	2,77	0,136	Tramo 4
0,048927388	176,138598	737,79	4,19	0,049	Tramo 5
0,074683076	268,859073	1102,30	4,10	0,075	Tramo 6
0,04225019	152,100684	521,53	3,43	0,042	Tramo7

Figura 3

Esquema de Modelación en HEC - HMS



Nota. Presenta el esquema obtenido de la microcuenca Quinoa Corral y la Quebrada Chaupiyacu, para la modelación en HEC – HMS.

Figura 4

Modelación de la microcuenca Quinoa Corral en HEC – HMS

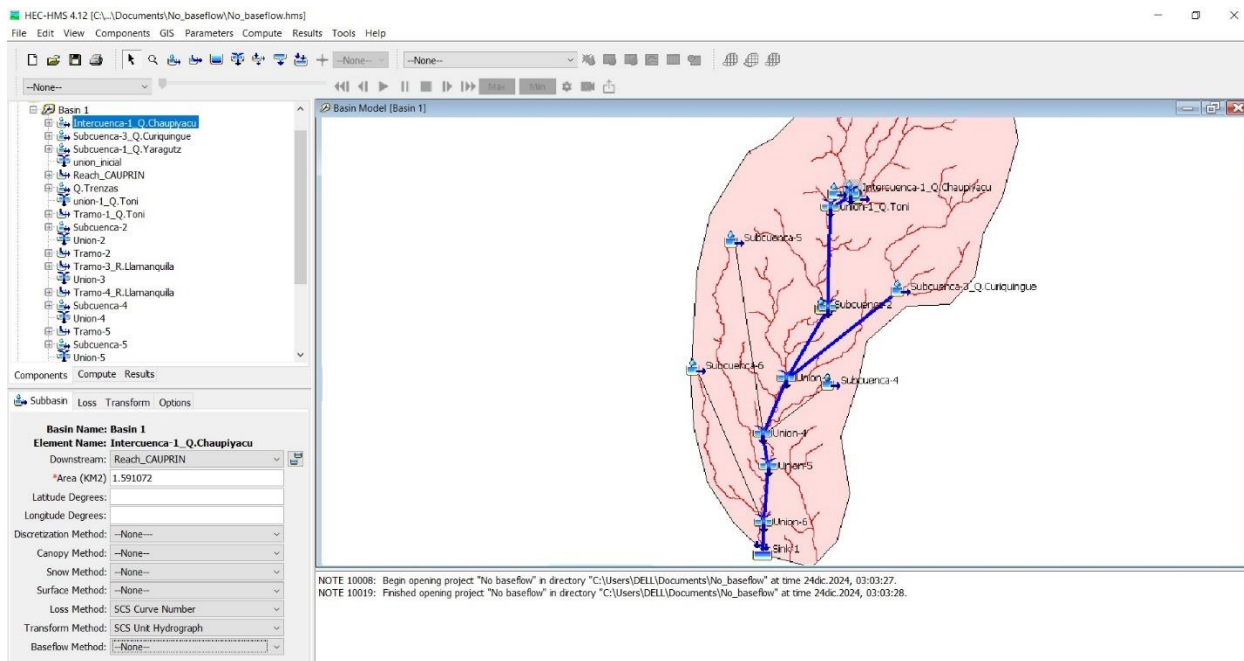
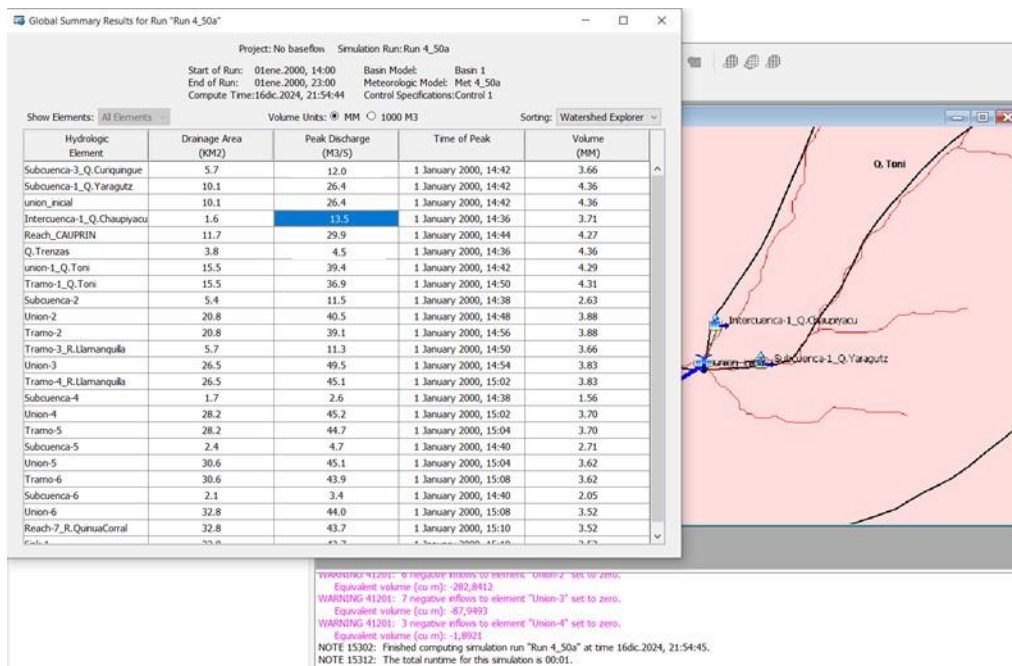


Figura 5

Representación de caudales



Nota. Representación de caudales líquidos dentro de la microcuenca Quinoa Corral y quebrada Chaupiyacu, para el periodo de retorno de 5° años, elaborado en HEC – HMS.

Figura 6

Hidrograma y profundidad del caudal líquido en la Quebrada Chaupiyacu



Nota: El hidrograma y profundidad del caudal en la quebrada Chaupiyacu, para el periodo de retorno de 50 años, elaborado en HEC – HMS.

Modelo Hidráulico Iber

“Es un modelo bidimensional para modelar el flujo de ríos, canales y cauces naturales que permiten la combinación de módulos hidrodinámicos, de turbulencia y sedimentos” (Cueva Portal et al., 2021).

Se inicia con la selección del Modelo Digital de Elevaciones con la que se va a trabajar y el cual guiará el flujo generado por la aplicación, así mismo se crea un polígono con formato shape, el cual, se realiza dibujando de forma manual la cuenca y el suelo aledaño, una vez generado se importan estos dos archivos en formato ASCII, una vez dentro del software, se designa rugosidades adecuadas a la zona de estudio y se crea una malla no estructura, otorgando

valores más pequeños al cauce de la quebrada y valores más altos al suelo cercano, para una mejor delimitación. Finalmente, se otorga valores de tiempo en los datos del problema para definir la duración del evento y que se genere la animación del flujo.

Para el segundo objetivo específico se exportó el modelo obtenido en Iber a software ArcMap que permitirán extraer específicamente los tramos o sectores afectados por el aluvión modelado, para realizar una clasificación del resultado de multiplicar el calado por la velocidad.

El modelo del Iber fue comparado con los modelos de erosión generados en SAGA Gis y los pequeños desprendimientos en zonas erosionadas validando los modelos de erosión y obteniendo la tasa de erosión por día relacionados a eventos de precipitaciones intensas. Para determinar los puntos de erosión en la zona de estudio, se utilizaron tres Modelos Digitales de Elevación (DEM), que corresponde a diferentes momentos. El primero de estos modelos fue generado a partir del DEM obtenido de SIG Tierras, correspondiente al año 2016, que fue la última actualización. En este modelo, obtenido mediante el método de USLE, representa grandes polígonos de zonas erosivas en el cauce.

$$A = R * K * LS * C * P$$

R: Lluvia

K: Suelo

L: Longitud

S: Pendiente

C: Vegetación

P: Prácticas

Después de cumplir con los objetivos ya mencionados anteriormente, se realizó las propuestas de medidas de reducción ante la amenaza de aluvión, por ende, se indagó en

diferentes fuentes bibliográficas correspondiente a medidas estructurales y no estructurales a sugerir para mitigar las probables afectaciones que se puede generar en las zonas expuestas.

Capítulo IV. Resultados

4.1. Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

4.1.2. Resultado Objetivo 1

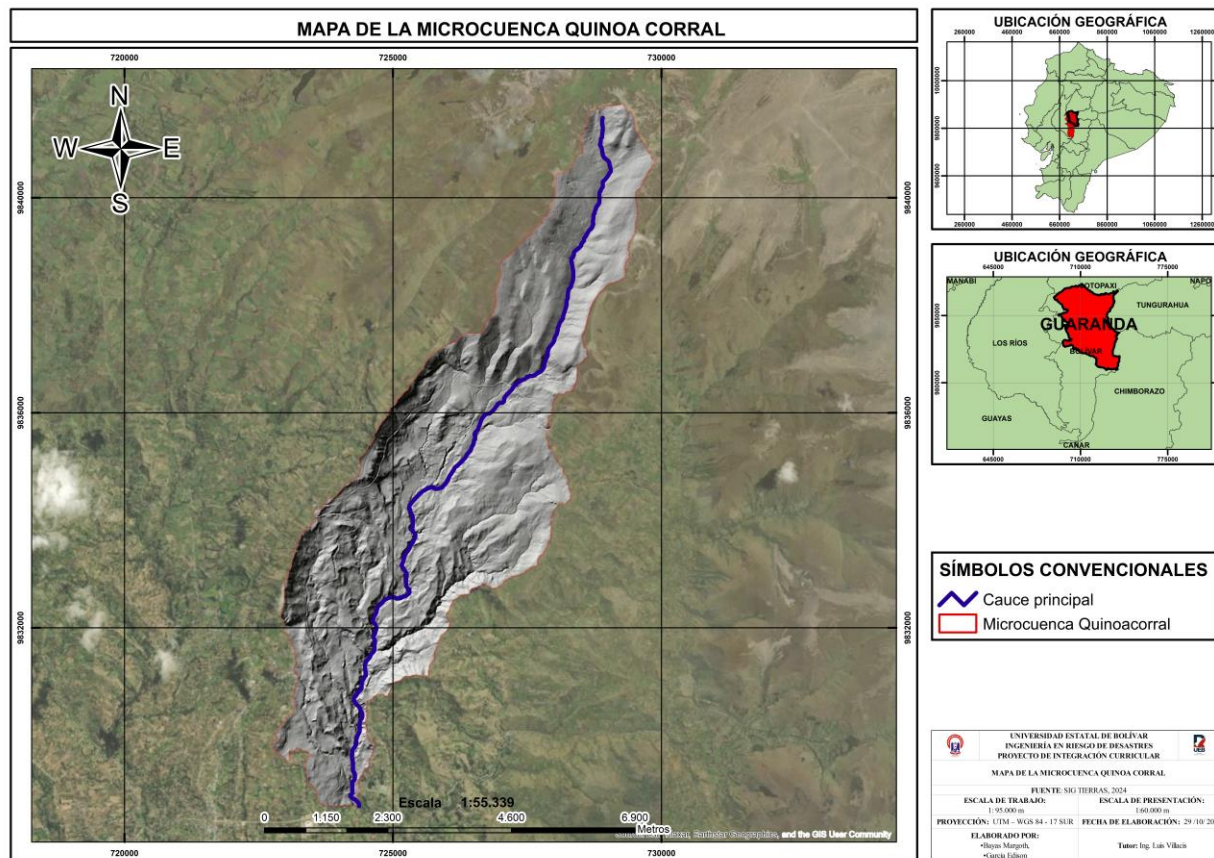
Determinar la amenaza por el flujo de aluviones en la zona de influencia de sistema de agua potable de la EMAPA-G.

Delimitación de la microcuenca Quinoa Corral

Para la determinación del nivel de amenaza por flujo de aluvión en la zona de influencia del sistema de agua potable de la EMAPA-G, se utilizó el Modelo Digital de Elevación (DEM), delimitando la microcuenca del río Quinoa Corral, formada por las Quebradas Yuracruz, Toni, Chaupiyacu, Octo Pamba, Trenzas, Tejar, Curiquingue, Tusupamba, Huantug, Yanarrumi, Puricucha y el río Lllamanquina el cual alimenta al cauce principal.

Ilustración 2

Delimitación de la microcuenca



Nota. Muestra la delimitación de la microcuenca Quinoa Corral y el cauce principal. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Parámetro morfométrico

La microcuenca Quinoa Corral tiene un área de 32,46 km² y el perímetro de 36,80 km. En cuanto a las cotas registradas, la elevación más alta de la microcuenca es de 4363 m.s.n.m. y una elevación mínima de 2848 m.s.n.m.

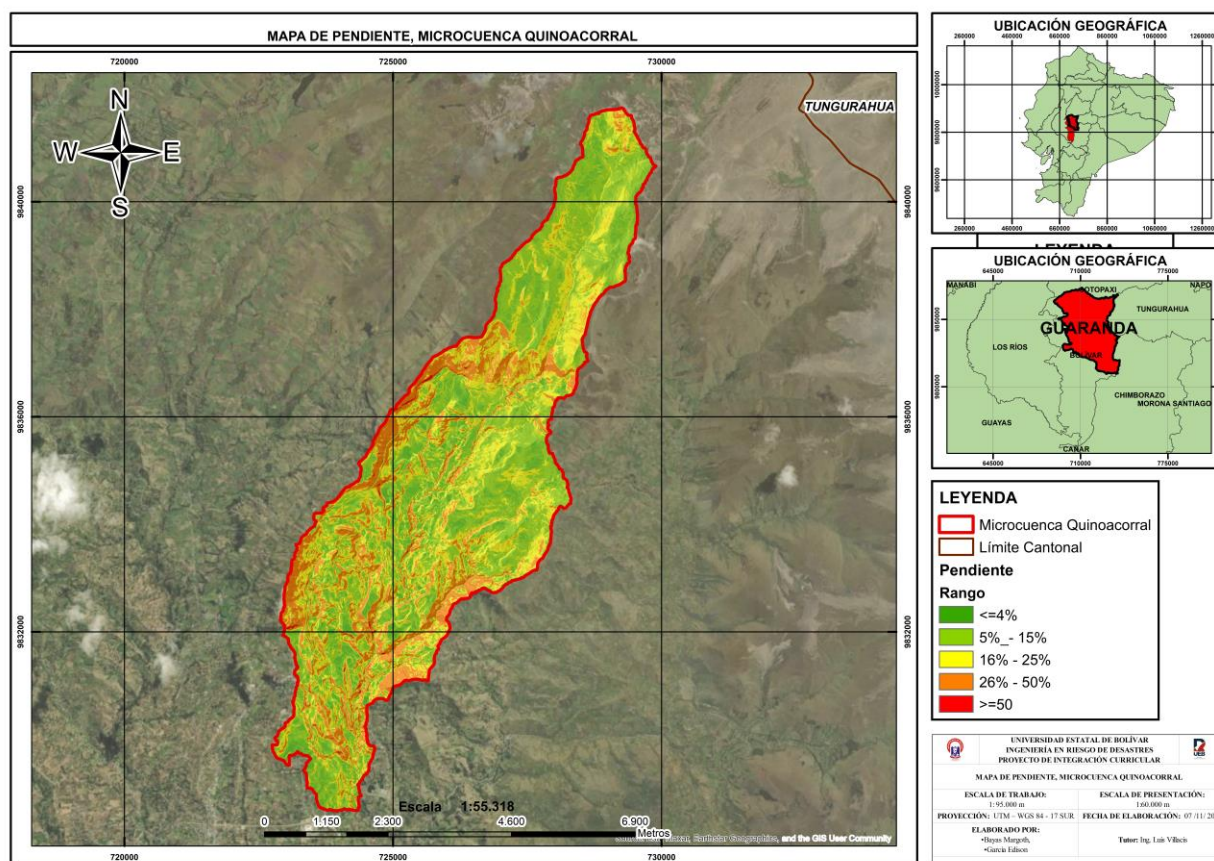
El análisis morfométrico de la microcuenca reveló un factor de forma de 0.01, lo que según el Índice de Horton que se muestra en la Tabla 4, indica que la microcuenca tiende a ser

muy alargada. Esto afecta la velocidad del flujo de agua, aumentando la probabilidad de grandes crecidas durante intensas lluvias.

La pendiente media de la microcuenca es de 9,25%, la cual se clasifica como medianamente accidentado según la Tabla 5. Esta pendiente favorece la velocidad de los caudales y procesos erosivos. Esta dinámica hídrica incrementa significativamente el riesgo de crecidas e inundaciones en las zonas bajas, debido a la rápida concentración de los flujos del caudal.

Ilustración 3

Mapa de pendiente

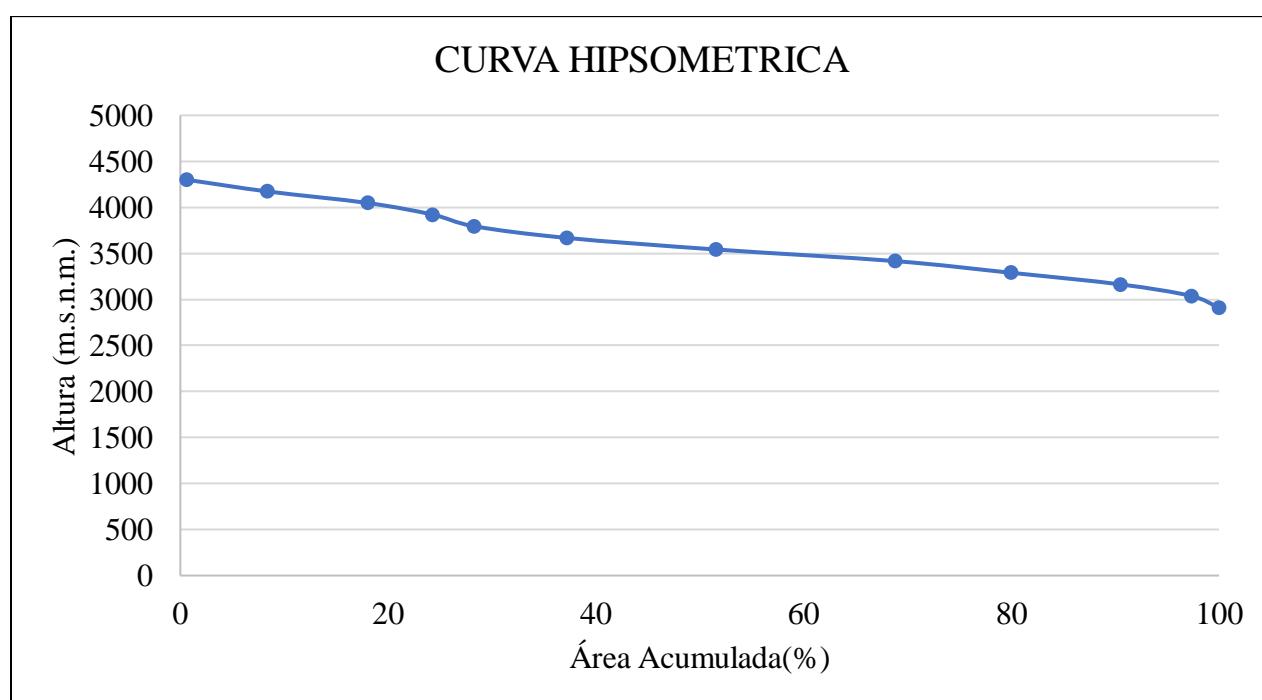


Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

La curva hipsométrica de la microcuenca se muestra en el Gráfico 1. al compararla con la Figura 1, se puede mencionar que tiene un origen potencialmente erosivo, correspondiente a una fase de juventud. Esto indica que la microcuenca se encuentra en una etapa inicial de desarrollo, caracterizada por los procesos erosivos y una mayor capacidad para transportar sedimentos. Además, esta etapa influye en la dinámica hidrológica de la microcuenca.

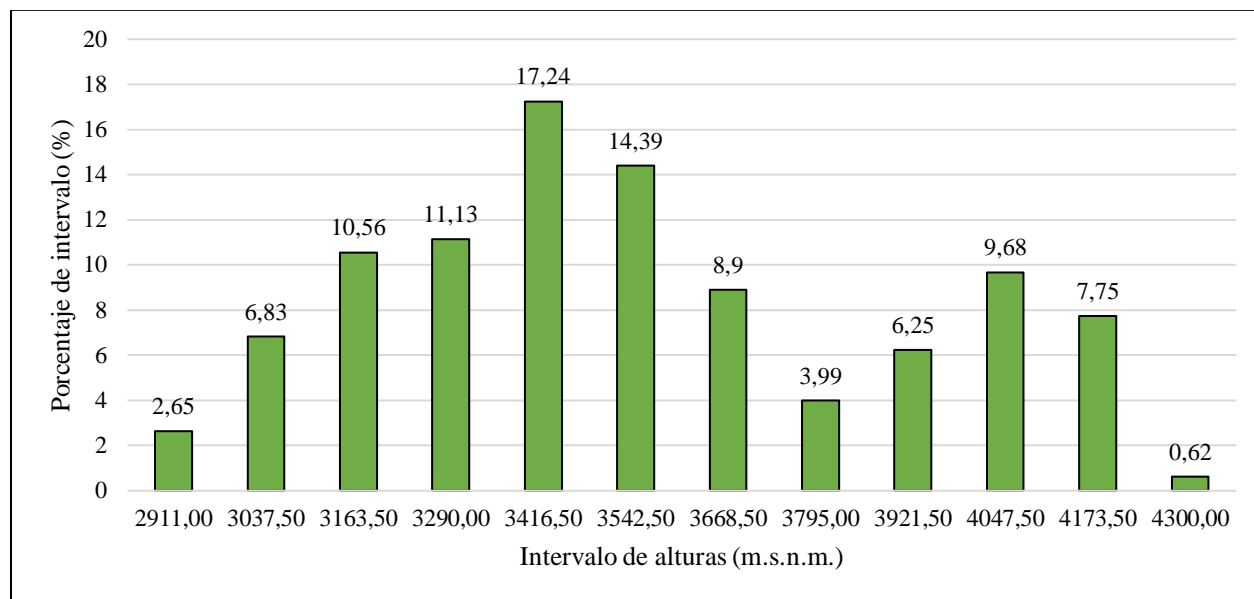
Gráfico 1

Curva Hipsométrica



Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Para obtener el histograma, se utilizó los mismos datos de la curva hipsométrica.

Figura 7*Histograma de altitudes de la microcuenca*

Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Las figuras de la curva hipsométrica y el diagrama de frecuencias altitudinales muestran que las áreas de acumulación de agua se localizan en zonas de menor altitud, donde se concentran los flujos de agua y sedimentos que descienden desde áreas más elevadas, especialmente durante eventos de lluvias intensas.

En caso de amenaza de aluvión, las áreas de acumulación en las zonas bajas y planas son críticas, ya que el agua y los sedimentos se detienen y fluyen lentamente, lo que permite la deposición de sedimentos e intensifica el riesgo de aluviones, especialmente ante las intensas precipitaciones o erosión en las zonas altas.

Parámetro de la Red Hídrica

La longitud total de la red hídrica de la microcuenca se obtuvo mediante la sumatoria de drenajes, obteniendo como resultado 75,74 km. La densidad de drenaje es de 2,33 km de río por km², lo que indica un drenaje alto con tendencia a incrementar las inundaciones.

El cauce principal tiene un ancho 9,02 metros y presenta una inclinación considerable lo que aumenta la velocidad del caudal y favorece el flujo del agua. Sin embargo, estas características también presentan un riesgo, ya que puede incrementar la erosión en ciertos sectores. El tiempo de concentración es de 0,34 horas, es decir el tiempo que tarda el agua en recorrer toda la microcuenca hasta llegar al punto de salida.

Ordenes de la red hídrica

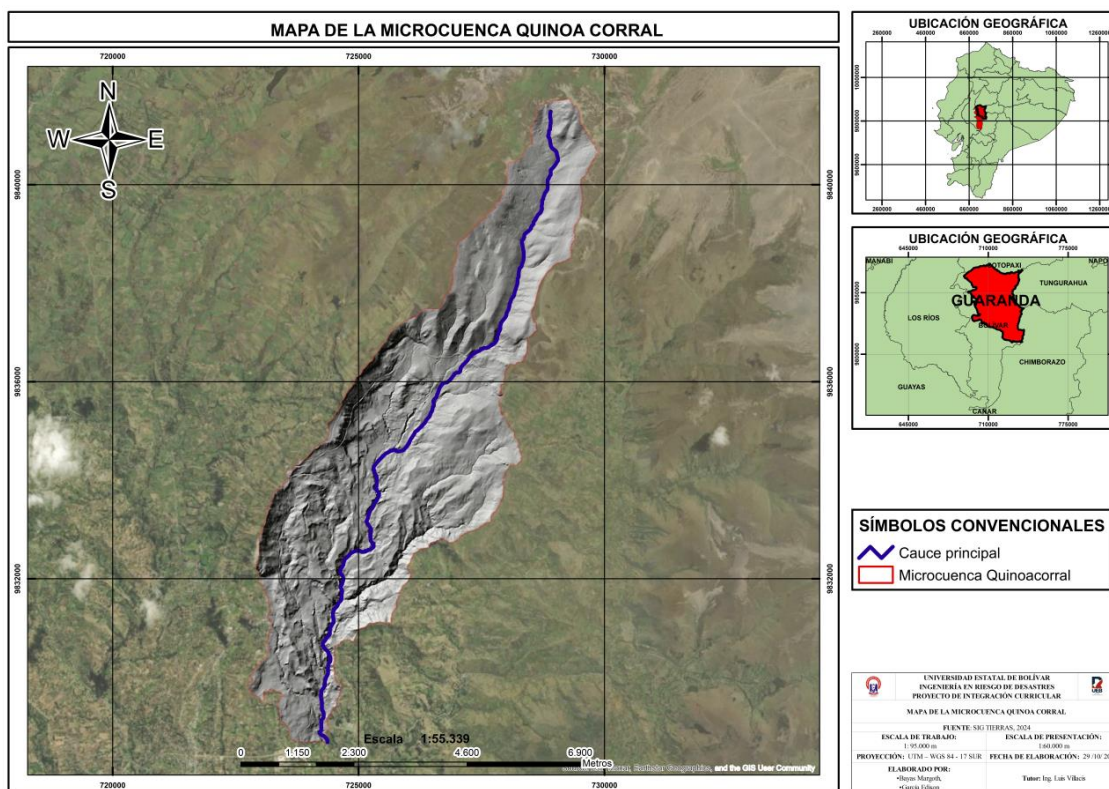
La red hídrica de la microcuenca es de 4 órdenes.

- Primer orden: Esta formado por quebradas pequeñas ubicadas en zonas de mayor pendiente, que reciben el agua de las áreas más altas e inician el proceso de drenaje y erosión.
- Segundo orden: Comprende las Quebradas de Curiquingue, Chaupiyacu, Huantug, Tusupamba, Tejar Yaracruz, Toni, Puricucha, que son tributarias del primer orden. A medida que unen, aumentan el caudal y velocidad, lo que incrementa la capacidad para transportar sedimentos hacia las zonas más bajas.
- Tercer orden: Esta formado por la Quebrada Trenzas y el río Llamaquinlla.
- Cuarto orden: Esta conformado por el río Quinoa Corral, que recoge el caudal del primer, segundo y tercer orden. La red de drenaje se vuelve más densa y compleja, lo que puede influir significativamente en la dinámica hidrológica y geomorfológica de la microcuenca.

Tabla 18*Red Hídrica de la microcuenca Quinoa Corral*

N° orden Red Hídrica	No. Red hídrica	Longitud (Km)
1	82	34,89
2	44	23,89
3	15	7,93
4	21	9,02
TOTAL	162	75,74

Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Ilustración 4*Mapa de la red hídrica de la microcuenca Quinoa Corral*

Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

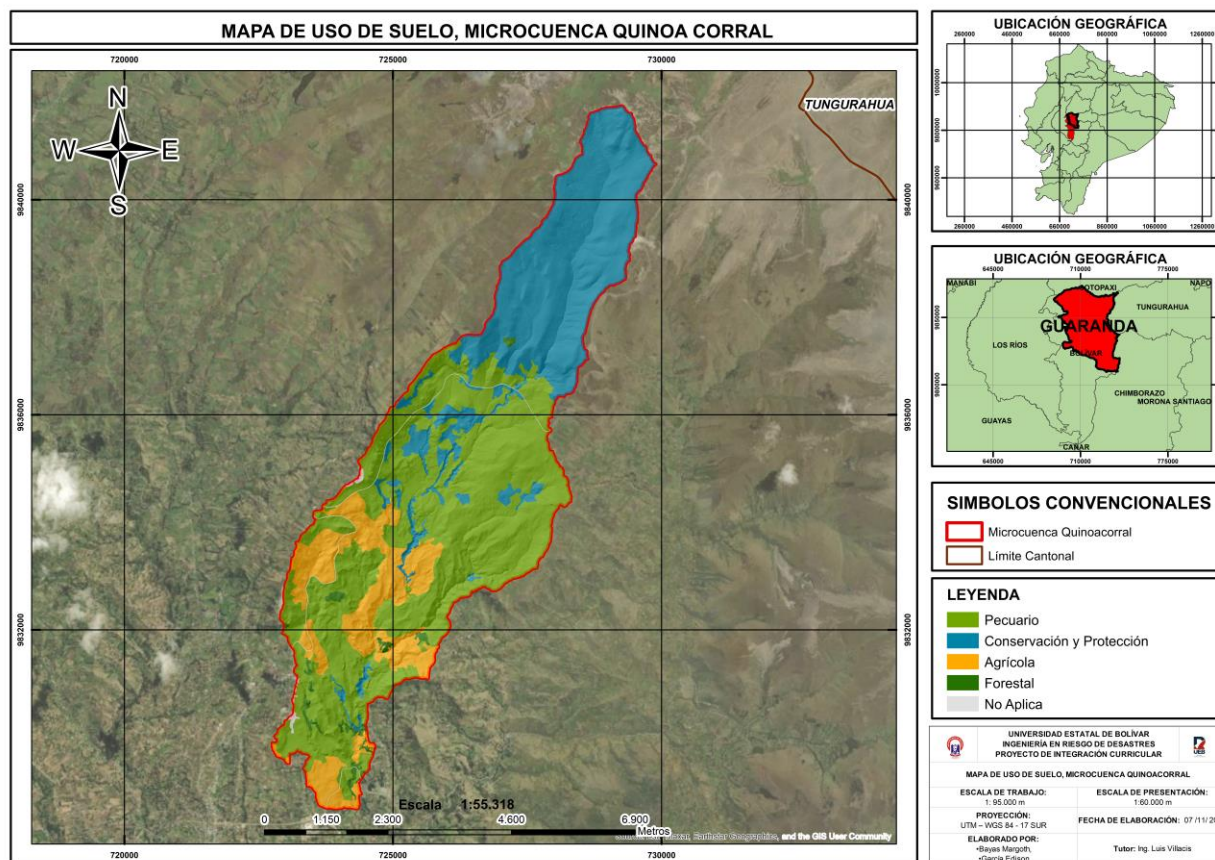
Uso de suelo

El uso de suelo en la zona de estudio se clasifica en distintas categorías. A continuación, se presenta la clasificación de uso de suelo:

- Pecuario tiene 1695,67 hectáreas, la actividad ganadera es una de las actividades más relevantes en la zona, destinados a la cría de ganado bovino y ovino.
- Conservación y protección con 1041,78 hectáreas, esta zona tiene extensiones de páramos, así como bosques nativos, vegetación arbustiva y vegetación herbácea que desempeñan un papel fundamental en la regulación del ciclo hídrico.
- Agrícola tiene 448,52 hectáreas, destinada a la producción de cultivos como maíz y papa.
- Forestal tiene 42,46 hectáreas, abarca áreas cubiertas de bosques naturales y plantación forestales que contribuye a la conservación del ecosistema.
- No aplica con 17,89 hectáreas, corresponde a centros poblados y red vial.

Ilustración 5

Mapa de uso de suelo



Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Una vez determinada la morfometría de la microcuenca Quinoa Corral, se procedió a analizar los perfiles de la Quebrada Chaupiyacu. Como antecedente, se tiene la información sobre el aluvión registrado el 29 de abril del 2024, que afectó al sistema de agua potable. Este evento fue provocado por la acumulación de grandes cantidades de materiales sedimentarios, que fueron arrastrados por el flujo de la quebrada. A través de esta investigación, se logró identificar los puntos críticos del evento donde se podrían generarse nuevos represamientos, alterando el flujo natural del caudal.

Posteriormente, se realizó un análisis detallado que la quebrada, mediante el cual se determinaron siete perfiles longitudinales y transversales. Este trabajo se llevó a cabo con la obtención de datos en el campo, los cuales fueron procesados la información en Excel. Luego los datos fueron importados a AutoCAD para generar los perfiles, los cuales se describen a continuación. Además, se registraron las coordenadas geográficas de cada perfil, las cuales se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 19

Coordenadas UTM, repesamientos Quebrada Chaupiyacu

Número de perfiles	Coordenadas X	Coordenadas Y
1	727002,20	9837340,69
2	726959,15	9837219,60
3	726898,39	9837104,29
4	726806,11	9836912,65
5	726734,46	9836815,31
6	726727,24	9836781,32
7	726713,10	9836670,95

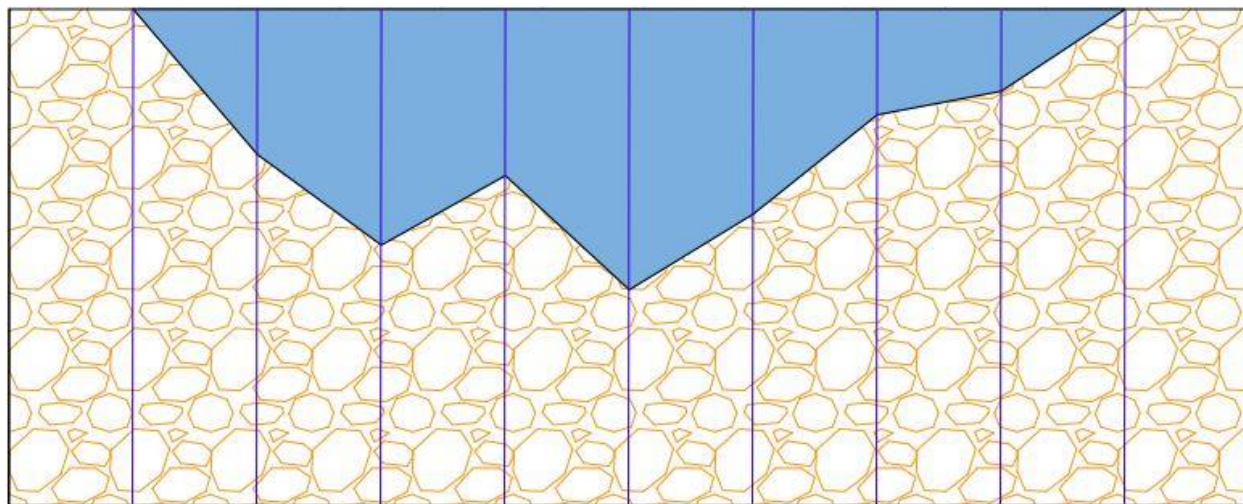
Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

En la **Figura 8**, el perfil 1 se caracteriza por pertenecer al tipo de suelo Andisol predominante en las zonas altas y clima frío. Estos suelos, de color negro, experimentan procesos de rejuvenecimiento constante debido al enriquecimiento del material orgánico, presenta una forma irregular en W, con un ancho de 8 metros y una profundidad máxima de 2,26 metros. Las pendientes en los lados izquierdo y derecho son poco pronunciadas, lo que indica un proceso

erosivo que da la forma característica de este perfil, mismo que transporta con mayor facilidad el suelo franco – arcilloso desprendido.

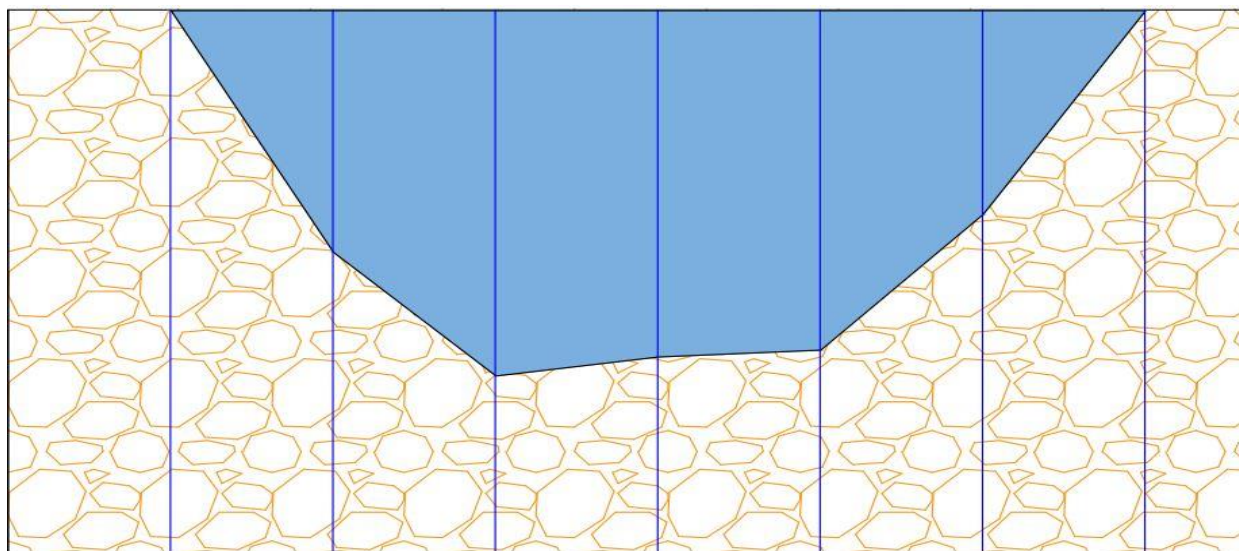
Figura 8

Perfil 1



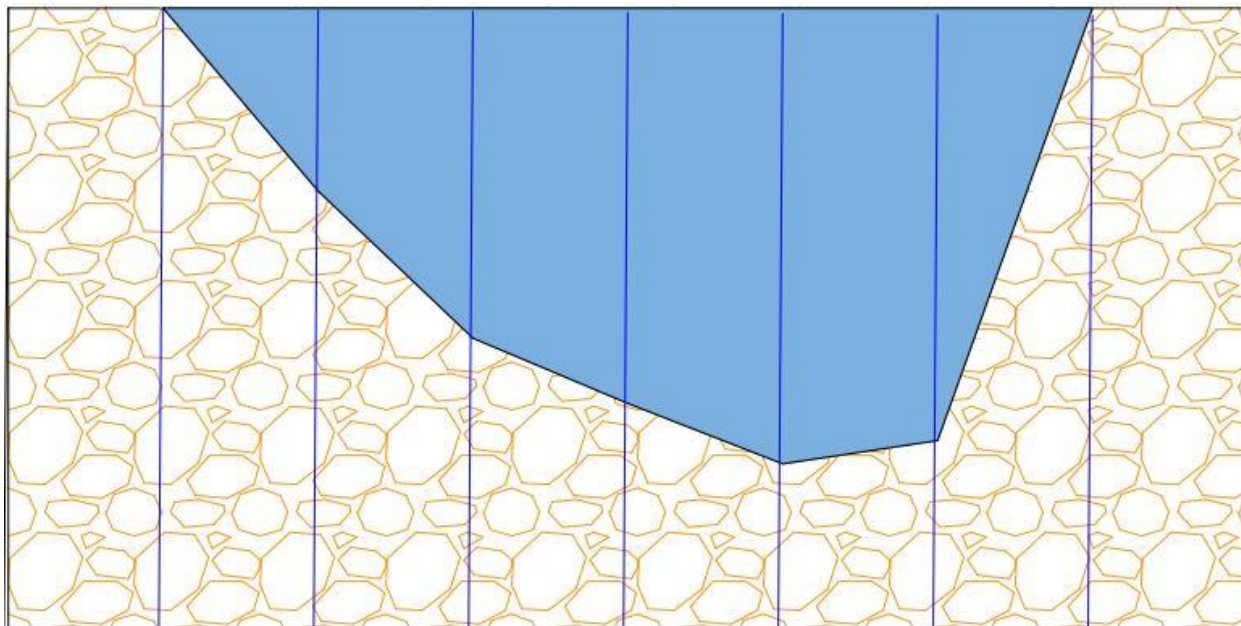
Nota. Realizado por: Bayas M y García E. 2024

En la **Figura 9**, el perfil 2 se caracteriza por pertenecer al tipo de suelo Andisol, predominante en las zonas más altas y clima frío. Estos suelos, de color negro, experimentan procesos de rejuvenecimiento constante debido al enriquecimiento de material orgánico, generalmente se forma a partir de materiales piroclásticos y volcánicos. El perfil dibujado presenta una forma regular, con ancho de 7 metros y profundidad máxima de 2,69 metros, sin pendientes pronunciadas. Esto indica un proceso erosivo en la parte central, lo que da la forma característica de este perfil, mismo que transporta con mayor facilidad el suelo desprendido.

Figura 9*Perfil 2*

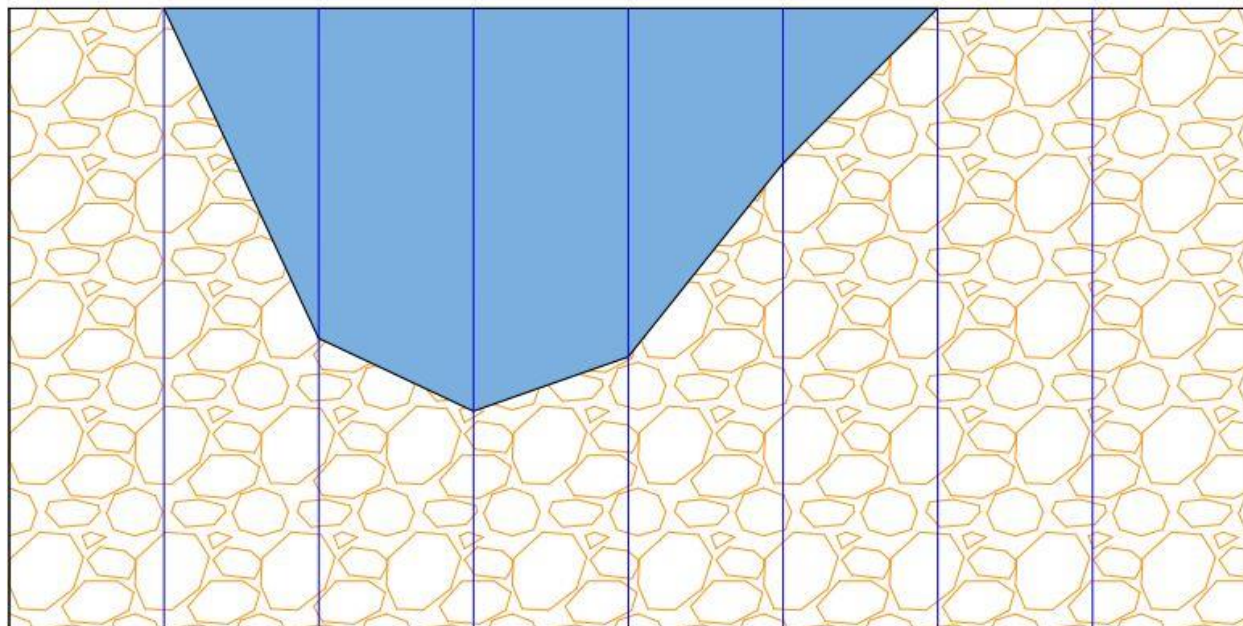
Nota. Bayas M. y García E. 2024

En la **Figura 10**, el perfil 3 se caracteriza por pertenecer al tipo de suelo Andisol, predominante en las zonas altas y clima frío. Estos suelos, de color negro, experimentan procesos de rejuvenecimiento constantes debido al enriquecimiento de material orgánico y generalmente se forman a partir de materiales piroclásticos y volcánicos. El perfil dibujado presenta una forma poco irregular, con ancho de 8 metros y profundidad máxima de 2,94 metros, con pendiente pronunciada en el lado derecho. Esto indica un proceso erosivo del lado izquierdo, lo que da la forma característica de este perfil, que transporta con mayor facilidad el suelo desprendido.

Figura 10*Perfil 3*

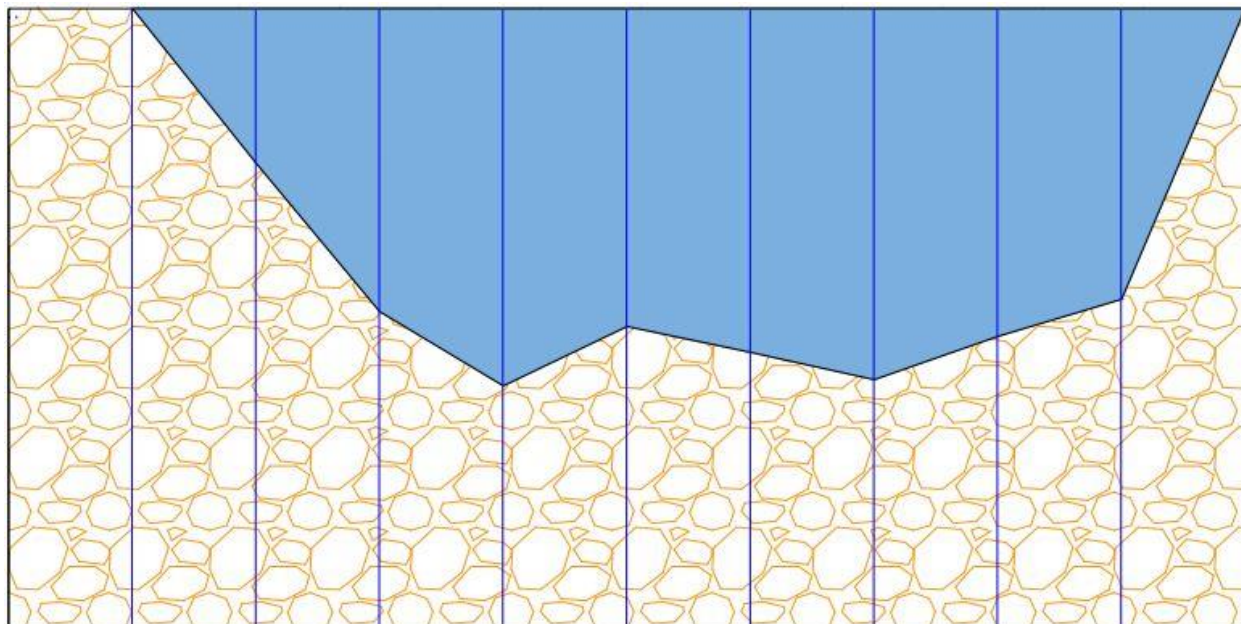
Nota. Realizo por: Bayas M. y García E. 2024

En la **Figura 11**, el perfil 4 se caracteriza por pertenecer al tipo de suelo Andisol, predominante en las zonas altas y clima frío. Estos suelos, de color negro, experimentan procesos de rejuvenecimiento constante debido al enriquecimiento con material orgánico y generalmente se forma a partir de materiales piroclásticos y volcánicos. El perfil dibujado presenta una forma poco irregular, con ancho de 6 metros y profundidad máxima de 2,60 metros, con una pendiente ligeramente pronunciada en el lado derecho. Esto indica un proceso erosivo también en ese lado, lo que da la característica de este perfil, que transporta el suelo orgánico desprendido.

Figura 11*Perfil 4*

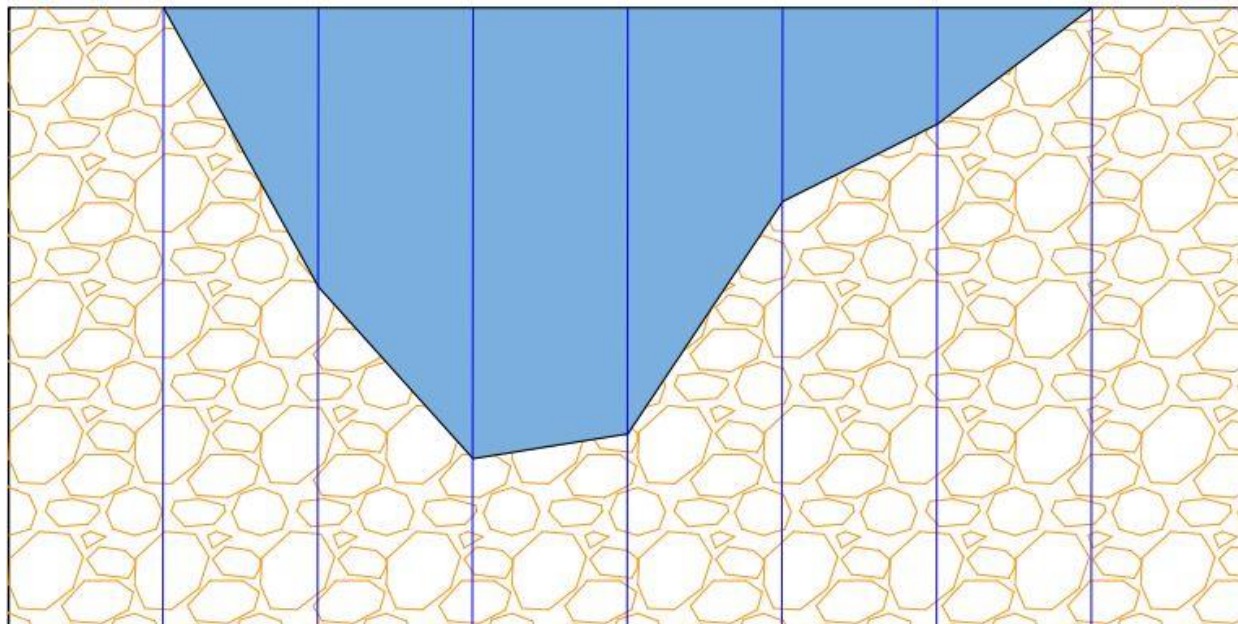
Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

En la **Figura 12**, el perfil 5 se caracteriza por pertenecer al tipo de suelo Andisol, predominante en las zonas altas y clima frío. Estos suelos, de color negro, experimentan procesos de rejuvenecimiento constantes debido al enriquecimiento con material orgánico y generalmente se forman a partir de materiales piroclásticos y volcánicos. El perfil dibujado presenta una forma irregular, con ancho de 9 metros y profundidad máxima de 3 metros, sin pendientes pronunciadas, esto indica un proceso erosivo en ambos lados, con mayor énfasis en el lado izquierdo, lo que le da forma característica de este perfil, mismo que transporta el suelo orgánico desprendido.

Figura 12*Perfil 5*

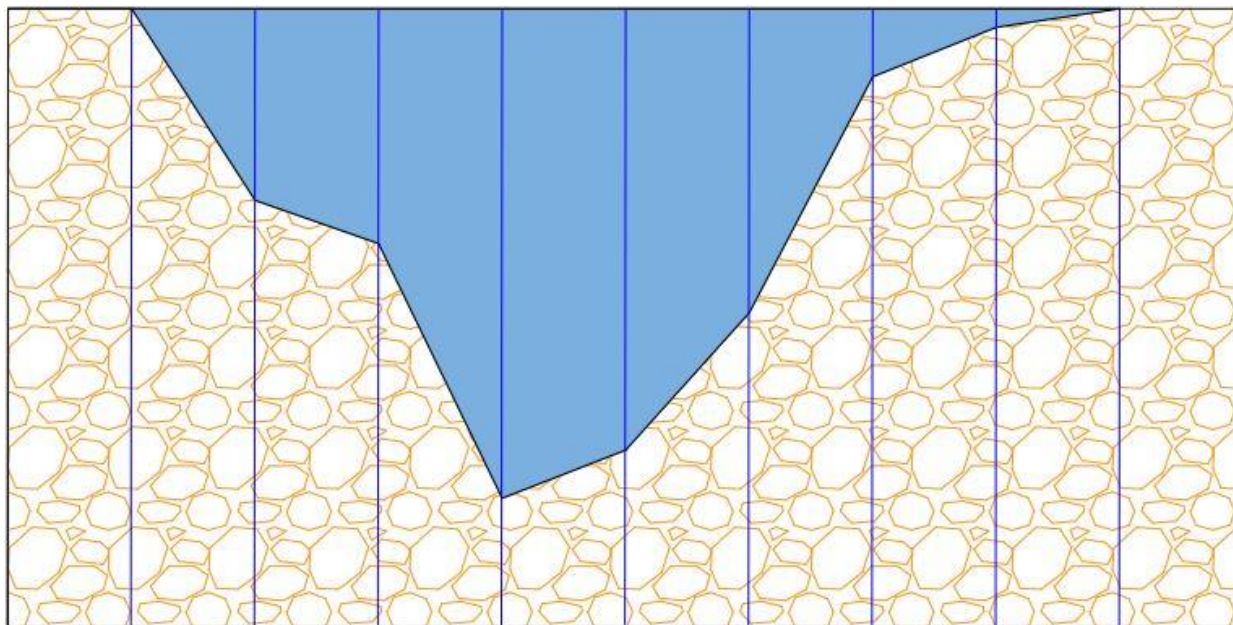
Nota. Realizado por: Bayas M y García E. 2024

En la **Figura 13**, el perfil 6, se caracteriza por pertenecer al tipo de suelo Andisol, común en las zonas altas y clima frío. Estos suelos, de color negro, experimentan procesos continuos de rejuvenecimiento debido al enriquecimiento con material orgánico y suelen formarse a partir de materiales piroclásticos y volcánicos. El perfil presenta una forma en V irregular con un ancho de 7 metros y una profundidad máxima de 2,91 metros. La pendiente pronunciada del lado derecho indica un proceso erosivo más marcado en ese sector, lo que le confiere a la forma de características de este perfil, mismo que transporta el suelo orgánico desprendido.

Figura 13*Perfil 6*

Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

En la **Figura 14**, el perfil 7 corresponde a suelos del tipo Andisol, predominante en las zonas altas y clima frío. Estos suelos, de color negro, están sujetos a constantes procesos de rejuvenecimiento debido al enriquecimiento con material orgánico, y se originan generalmente a partir de materiales piroclásticos y volcánicos. El perfil muestra una forma irregular con un ancho de 9 metros y una profundidad máxima de 3,96 metros, presentando una forma en V asimétrica. La pendiente pronunciada, especialmente en el margen izquierdo, indica la presencia de procesos erosivos, lo que favorece al desprendimiento de suelo con mayor facilidad.

Figura 14*Perfil 7*

Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

La validación de datos nos permitió identificar los valores atípicos encontrados en datos de precipitación registradas, lo cual, se considera como un proceso indispensable para la reducción de incertidumbre y como garantía de precisión, misma que, aumentan la confiabilidad en el análisis de procesos hidrometeorológicos dentro de nuestra área de estudio. Siendo datos que pueden alterar o arrojar conclusiones erróneas es necesario identificar y corregir los datos a utilizar de forma adecuada, siendo el caso del mes de junio, en el cual se identificó un valor anómalo, por lo cual, se realizó un promedio de las precipitaciones registradas en ese mes a lo largo de los años, permitiéndonos obtener de esta forma una estimación apropiada y poco arriesgada. Por tanto, la validación nos permite incrementar la calidad de los datos, lo cual es indispensable para el análisis climático y la selección de medidas de mitigación ante eventos que puedan comprometer la integridad de las personas y sus estilos de vida.

Tabla 20*Datos de precipitación máxima de 24 horas (mm)*

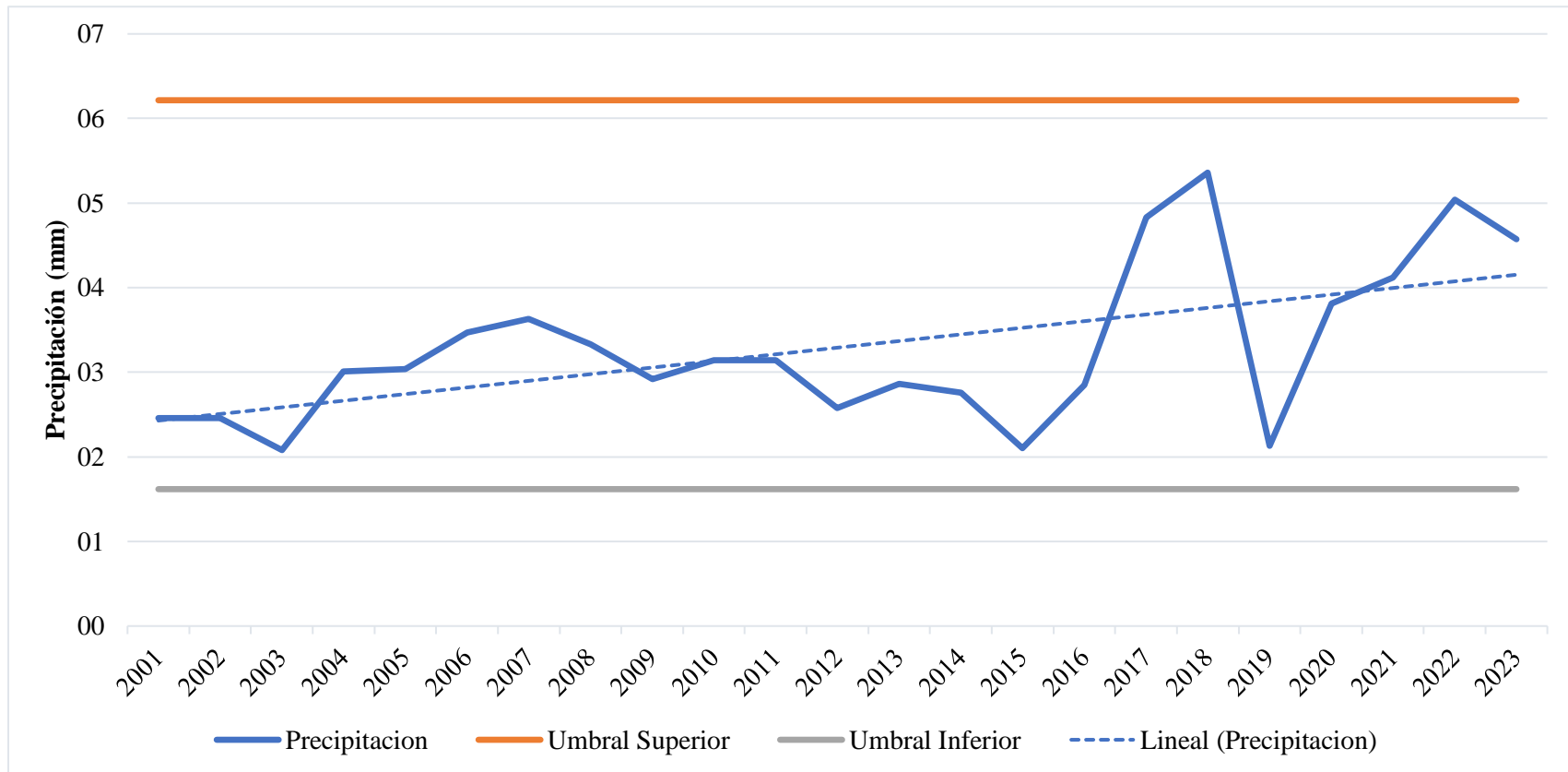
REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA DE 24 HORAS (mm)															
Estación:	Estación 01						Latitud:	-1,47			Dpto: Sector El Arenal - cantón Guaranda				
Parámetro:	Precipitación Máxima 24 hr (mm)						Longitud:	-79			Prov: Bolívar				
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Pmax24	Log(P24hr)	
2001	1,75	1,45	1,07	0,93	1,41	2,46	0,94	0,84	1,49	0,87	0,81	1,17	2,5	0,39	
2002	0,73	2,34	2,34	1,7	1,96	2,46	1,61	1	1,16	1,14	1,33	1,39	2,5	0,39	
2003	1,66	1,91	1,84	1,65	1,56	1,13	2,08	0,66	1,81	1,18	1,5	2,04	2,1	0,32	
2004	1,44	0,96	1,88	1,72	3,01	1,07	1,69	2,07	1,17	1,13	1,73	1,72	3,0	0,48	
2005	0,34	1,09	1,65	3,04	0,77	0,56	0,19	0,33	0,62	1,01	2,34	0,71	3,0	0,48	
2006	1,02	3,47	1,41	1,26	1,82	2,11	0,91	1,03	0,35	0,51	0,21	0,83	3,5	0,54	
2007	2,43	0,41	1,21	0,55	1,29	3,63	0,99	1,78	0,75	2,03	2,39	1,05	3,6	0,56	
2008	1,57	2,71	3,14	3,2	2,16	2,96	1,16	2,37	3,33	2,07	0,64	0,95	3,3	0,52	
2009	1,71	2,49	1,35	2,92	0,25	0,25	0,88	1,78	0,77	2,61	0,91	1,61	2,9	0,47	

2010	1,32	2,36	1,61	3,14	1,32	1,23	0,85	0,4	1,31	1,19	1,12	1,57	3,1	0,50
2011	2,43	2,9	1,05	3,14	1,04	1,01	1,59	1,89	1,84	1,82	2,61	2,23	3,1	0,50
2012	2,07	2,05	1,72	1,62	2,58	1,6	0,95	2,38	1,28	1,78	1,56	0,8	2,6	0,41
2013	1,16	2,07	2,62	2,02	2,71	2,86	1,3	1,28	1,29	1,7	1,85	1,79	2,9	0,46
2014	1,93	1,62	1,63	0,65	1,7	1,88	0,63	0,86	1,41	2,76	0,98	2,3	2,8	0,44
2015	1,54	1,6	1,77	1,22	1,22	1,55	1,4	1,77	1,4	1,3	2,1	1,24	2,1	0,32
2016	0,51	1,39	1,76	2,85	1,57	1,75	2,38	0,94	1,88	1,24	1,89	0,95	2,9	0,45
2017	2,93	3,05	3,49	1,51	2,21	4,83	2,77	2,05	3,32	1,07	3,11	2,9	4,8	0,68
2018	2,56	5,36	1,27	2,72	2,22	1,982	2,37	1,54	1,27	1,42	1,74	0,96	5,4	0,73
2019	1,19	1,24	1,24	1,84	2,01	1,48	2,13	1,83	1,51	1,48	1,9	1,76	2,1	0,33
2020	1,43	1,76	1,32	3,81	1,4	1,38	1,85	1,06	1	2,64	0,08	1,71	3,8	0,58
2021	4,12	1,34	2,21	2,98	2,45	3,48	0,67	1,02	2,33	2,09	1,97	3,43	4,1	0,61
2022	2,06	1,52	5,04	3,83	1,37	2,45	2	1,15	1,59	4,28	2,98	1,35	5,0	0,70
2023	2,06	1,61	2,28	3,11	2,57	1,47	1,7	1,15	1,58	1,58	2,79	4,57	4,6	0,66

Nota. Se ha eliminado el dato atípico que se encontró, para trabajar en la validación de los datos de precipitación.

Gráfico 2

Tendencia de los datos de precipitación



Nota. Se evidencia el incremento del nivel de precipitaciones, observando que no sobrepasa los rangos de precipitaciones máximos y mínimos, donde representa que no existe datos atípicos.

Los datos de precipitación de 24 h(mm/h) obtenidos de la plataforma Power Data Access View de la NASA, fueron procesados para identificar y tratar los datos atípicos generados por la plataforma, para reducir el nivel de incertidumbre en los datos y determinar la precisión. Para este proceso, se utilizó la metodología de Outlier, encontrándose el valor de 13,91 mm/h como anómalo. Para ajustar este valor, se promedió el dato mensual anual del mes de junio.

Posteriormente, se realizaron las pruebas estadísticas para encontrar la correlación, de acuerdo con el nivel de ajuste de bondad Tabla 21. Para este análisis, se utilizó el software Hydrognomon, aplicando funciones de distribuciones como: Normal, Log Normal, Pearson III y Log Pearson III, con el fin de conocer la confiabilidad de los resultados. Entre estas, la distribución de Log Pearson III presentó el mejor ajuste a los datos de precipitaciones Tabla 22, validando los datos de precipitaciones al mostrar una curva más precisa que las generadas por las demás distribuciones.

Tabla 21

Prueba de Bondad de Ajsute Kolmogrov - Smirnov

Ln(x)-X0	F(x _m)	F _o (x _m)-F(x _m)
	Log Pearson III	Log Pearson III
1,229	0,051	0,0096
1,238	0,056	0,0274
1,252	0,063	0,0617
1,396	0,179	0,0121
1,396	0,179	0,0296
1,444	0,233	0,0169
1,512	0,321	0,0295

1,544	0,366	0,0330
1,547	0,371	0,0037
1,568	0,401	0,0153
1,598	0,446	0,0126
1,608	0,460	0,0397
1,641	0,508	0,0340
1,641	0,508	0,0757
1,699	0,591	0,0336
1,740	0,647	0,0198
1,786	0,703	0,0051
1,834	0,758	0,0078
1,912	0,832	0,0400
2,016	0,903	0,0693
2,071	0,929	0,0544
2,114	0,946	0,0289
2,175	0,963	0,0051
α	36,06	
β	0,0458	
X0	-0,4963	
		0,07565
		Si se ajusta
		1

Tabla 22*Prueba Smirnov - Kolgomorov*

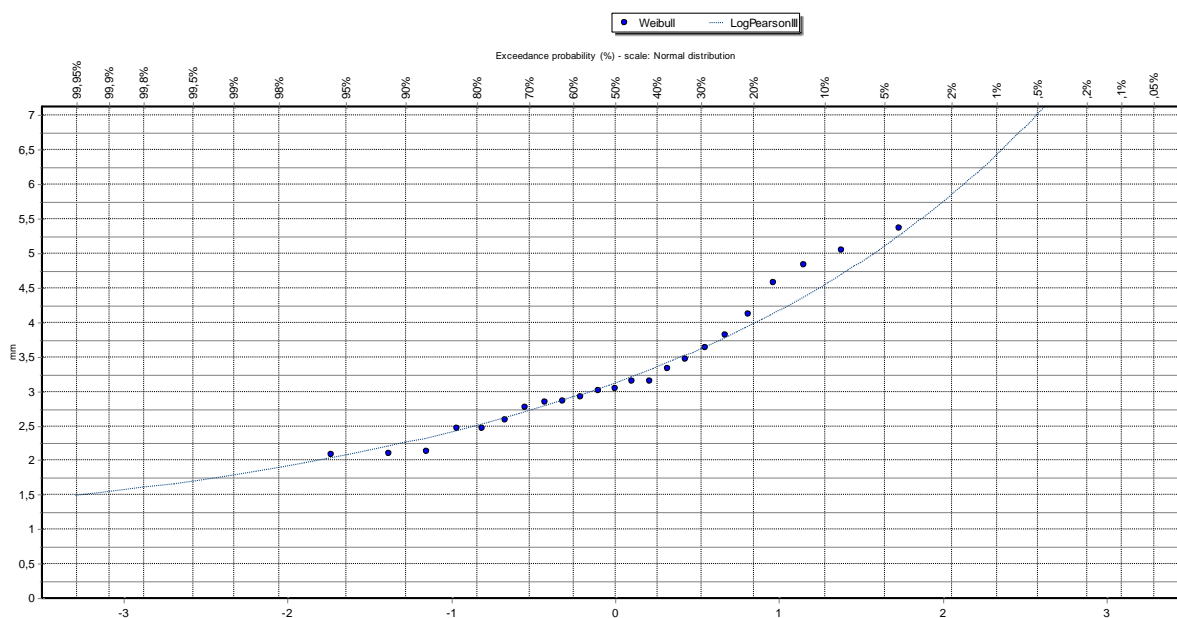
Kolmogorov-Smirnov test for:All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	61,29%	0,1469
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	61,25%	0,14695
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96,09%	0,09397
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94,83%	0,09752
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95,27%	0,09637
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	88,94%	0,10971
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	88,87%	0,10984
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96,15%	0,09378
<i>Log Pearson III</i>	<i>ACCEPT</i>	<i>ACCEPT</i>	<i>ACCEPT</i>	<i>99,50%</i>	<i>0,07565</i>
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,91%	0,08142
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	83,88%	0,11771
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	18,46%	0,21631
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	56,71%	0,15262
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95,74%	0,09502
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97,96%	0,08692
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,73%	0,08264
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,90%	0,06662
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,95%	0,06398

EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,25%	0,07851
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96,36%	0,09313
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	19,41%	0,21387
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	56,41%	0,15301
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98,41%	0,08461
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	89,84%	0,10812
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	38,65%	0,17734
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99,37%	0,07732
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	38,79%	0,17713

Nota. Muestra el nivel de importancia es de DMax, valor que se ajusta a los datos de precipitación, donde se compara con la prueba de ajuste de bondad de Log Pearson III.

Gráfico 3

Distribución estadístico de Log Pearson III



Mediante los datos obtenidos de precipitaciones máximas del Software Estadístico Hydrognomon Tabla 22, el modelo de Dick Perschke permitió calcular los periodos de retorno para los años 2,5, 10, 25 y 50, que se muestra en la Tabla 24. De estos, se seleccionaron los periodos de retorno de 25 y 50 años, según (Ponce, 2008) menciona que “las áreas menores de 250 hectáreas no se justifican períodos de retorno mayores a los 25 años”.

Tabla 23

Precipitaciones diarias máximas probables, para periodos de retorno

Periodo de Retorno	Hydrognomon	Pmax Corregido	Probabilidad de no
T (años)	Pmax (mm)	(mm)	excedencia P
2	3,124	3,530	0,500000
5	3,975	4,491	0,800000
10	4,548	5,140	0,900000

25	5,288	5,975	0,960000
50	5,850	6,611	0,980000

Tabla 24*Modelo de Dick Peschke*

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)				
	0,50	0,80	0,90	0,96	0,98
	Periodo de Retorno (Años)				
	2	5	10	25	50
	Precipitación (mm)				
5	0,12	0,19	0,22	0,23	0,24
10	0,14	0,23	0,26	0,28	0,28
15	0,16	0,26	0,29	0,31	0,31
20	0,17	0,27	0,31	0,33	0,34
25	0,18	0,29	0,33	0,35	0,36
30	0,19	0,30	0,34	0,36	0,37
35	0,20	0,32	0,36	0,38	0,39
40	0,20	0,33	0,37	0,39	0,40
45	0,21	0,34	0,38	0,40	0,41
50	0,22	0,35	0,39	0,41	0,42
55	0,22	0,35	0,40	0,42	0,43
60	0,23	0,36	0,41	0,43	0,44
120	0,27	0,43	0,48	0,52	0,53

180	0,30	0,48	0,54	0,57	0,58
240	0,32	0,51	0,58	0,61	0,63
300	0,34	0,54	0,61	0,65	0,66
360	0,35	0,57	0,64	0,68	0,69
420	0,37	0,59	0,66	0,71	0,72
480	0,38	0,61	0,68	0,73	0,74
540	0,39	0,63	0,70	0,75	0,77
600	0,40	0,64	0,72	0,77	0,79
660	0,41	0,66	0,74	0,79	0,81
720	0,42	0,67	0,76	0,81	0,82
780	0,43	0,69	0,77	0,82	0,84
840	0,44	0,70	0,79	0,84	0,86
900	0,44	0,71	0,80	0,85	0,87
960	0,45	0,72	0,81	0,87	0,89
1020	0,46	0,73	0,83	0,88	0,90
1080	0,47	0,74	0,84	0,89	0,91
1140	0,47	0,75	0,85	0,91	0,92
1200	0,48	0,76	0,86	0,92	0,94
1260	0,48	0,77	0,87	0,93	0,95
1320	0,49	0,78	0,88	0,94	0,96
1380	0,49	0,79	0,89	0,95	0,97
1440	0,50	0,80	0,90	0,96	0,98

Tabla 25*Intensidad de precipitación para los periodos de retorno*

		Intensidad de Precipitación				
Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de Retorno (Años)				
		2,00	5,00	10,00	25,00	50,00
		Intensidad (mm/hr)				
0,083	5	1,46	2,33	2,62	2,80	2,85
0,167	10	0,87	1,39	1,56	1,66	1,70
0,250	15	0,64	1,02	1,15	1,23	1,25
0,333	20	0,51	0,82	0,93	0,99	1,01
0,417	25	0,44	0,70	0,78	0,84	0,85
0,500	30	0,38	0,61	0,68	0,73	0,74
0,583	35	0,34	0,54	0,61	0,65	0,66
0,667	40	0,31	0,49	0,55	0,59	0,60
0,750	45	0,28	0,45	0,50	0,54	0,55
0,833	50	0,26	0,41	0,47	0,50	0,51
0,917	55	0,24	0,39	0,43	0,46	0,47
1,000	60	0,23	0,36	0,41	0,43	0,44
2,000	120	0,13	0,21	0,24	0,26	0,26
3,000	180	0,10	0,16	0,18	0,19	0,19
4,000	240	0,08	0,13	0,14	0,15	0,16
5,000	300	0,07	0,11	0,12	0,13	0,13

6,000	360	0,06	0,09	0,11	0,11	0,12
7,000	420	0,05	0,08	0,09	0,10	0,10
8,000	480	0,05	0,08	0,09	0,09	0,09
9,000	540	0,04	0,07	0,08	0,08	0,09
10,000	600	0,04	0,06	0,07	0,08	0,08
11,000	660	0,04	0,06	0,07	0,07	0,07
12,000	720	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07
13,000	780	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06
14,000	840	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06
15,000	900	0,03	0,05	0,05	0,06	0,06
16,000	960	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06
17,000	1020	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
18,000	1080	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
19,000	1140	0,02	0,04	0,04	0,05	0,05
20,000	1200	0,02	0,04	0,04	0,05	0,05
21,000	1260	0,02	0,04	0,04	0,04	0,05
22,000	1320	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04
23,000	1380	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
24,000	1440	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04

Gráfico 4

Curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia)

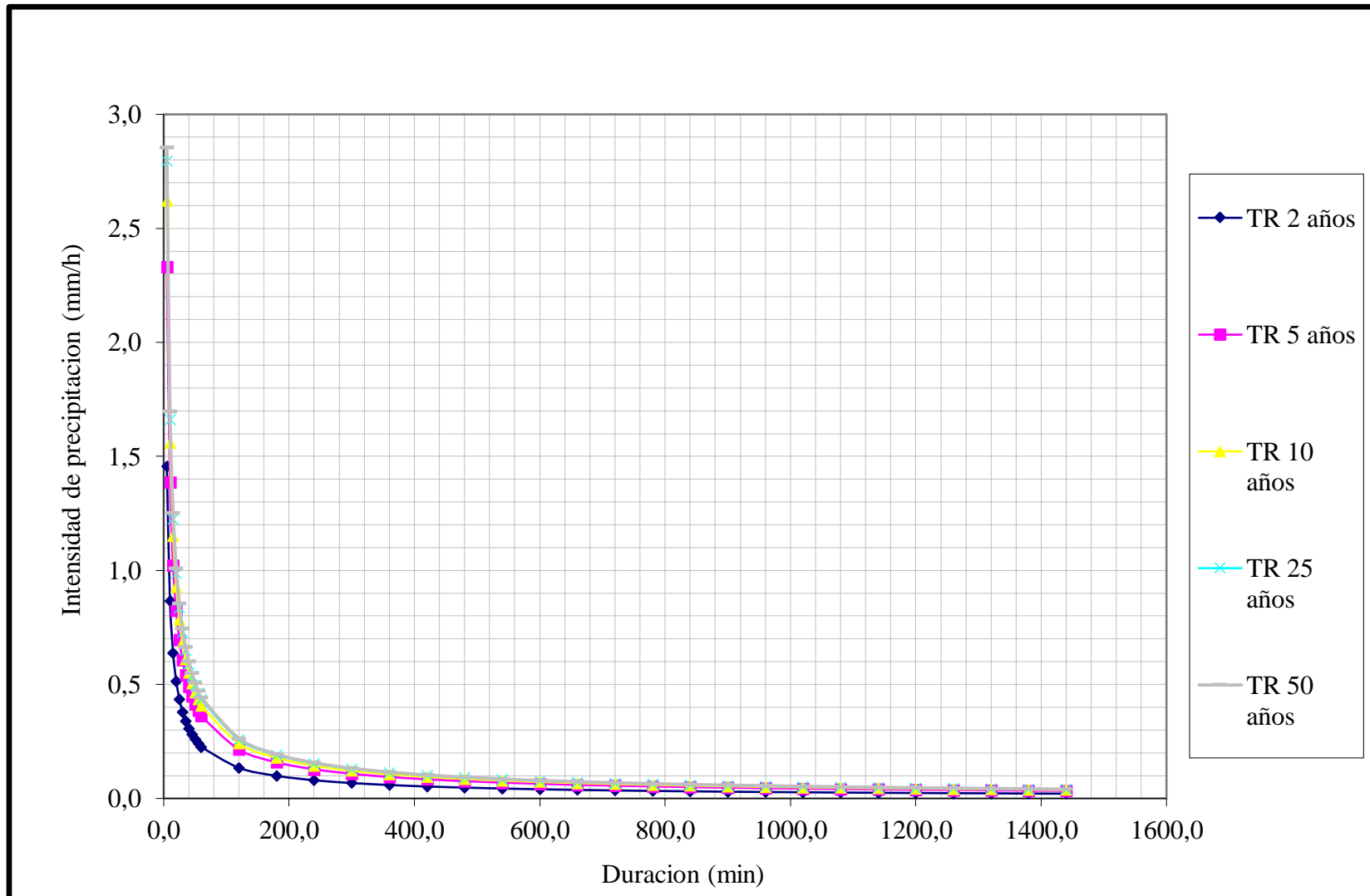


Tabla 26

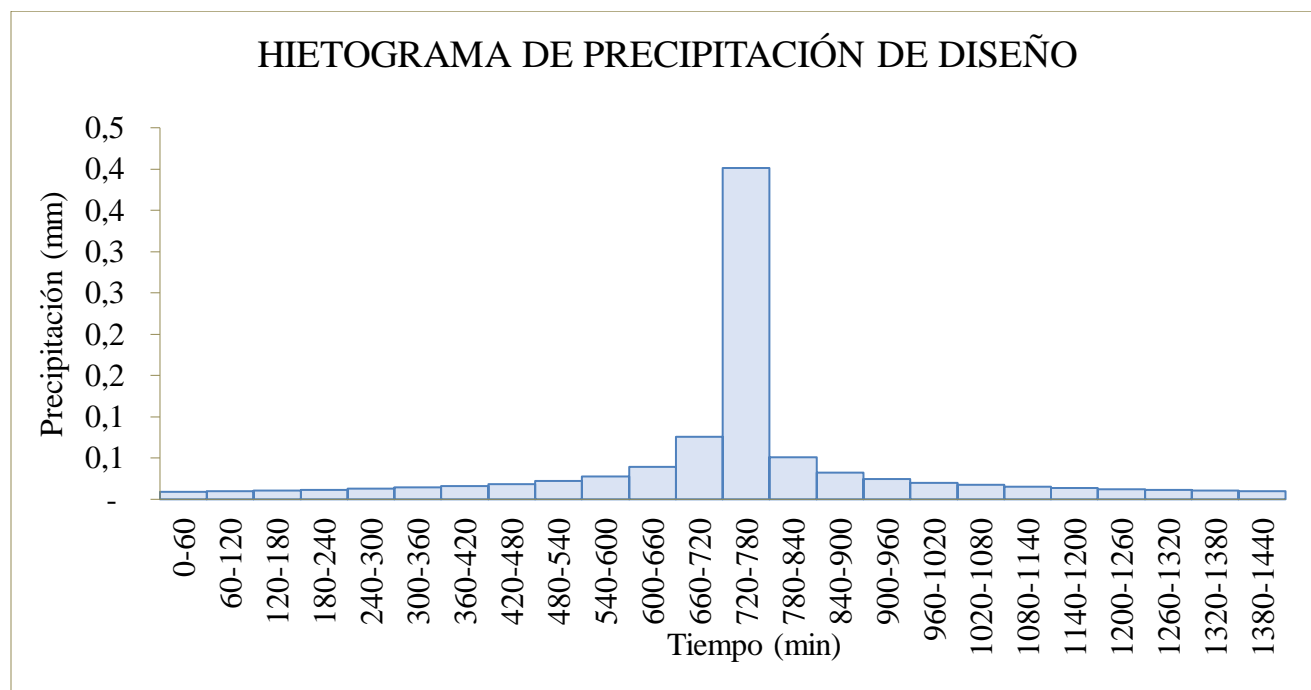
Hietograma de precipitación, periodo de retorno

HIETOGRAMA DE PRECIPITACION DE DISEÑO						
K =		6,303				
T =		50				
m =		0,0810				
n =		0,750				
						$I = \frac{300.306 \times T^{0.2180}}{D^{0.751}}$
METODO DEL BLOQUE ALTERNO						
Duración	Intensidad	Profundidad Acumulada	Profundidad Incremental	Tiempo	Precipitación	
Min	mm/hr	mm	mm	min	Mm	
60	0,401	0,401	0,401	0-60	0,009	
120	0,239	0,477	0,076	60-120	0,010	
180	0,176	0,528	0,051	120-180	0,011	
240	0,142	0,568	0,039	180-240	0,012	
300	0,120	0,600	0,033	240-300	0,013	
360	0,105	0,628	0,028	300-360	0,014	
420	0,093	0,653	0,025	360-420	0,016	
480	0,084	0,675	0,022	420-480	0,019	
540	0,077	0,695	0,020	480-540	0,022	
600	0,071	0,714	0,019	540-600	0,028	
660	0,066	0,731	0,017	600-660	0,039	
720	0,062	0,747	0,016	660-720	0,076	
780	0,059	0,762	0,015	720-780	0,401	
840	0,055	0,776	0,014	780-840	0,051	

900	0,053	0,790	0,014	840-900	0,033
960	0,050	0,803	0,013	900-960	0,025
1020	0,048	0,815	0,012	960-1020	0,020
1080	0,046	0,827	0,012	1020-1080	0,017
1140	0,044	0,838	0,011	1080-1140	0,015
1200	0,042	0,849	0,011	1140-1200	0,014
1260	0,041	0,859	0,010	1200-1260	0,012
1320	0,040	0,869	0,010	1260-1320	0,011
1380	0,038	0,879	0,010	1320-1380	0,010
1440	0,037	0,888	0,009	1380-1440	0,010

Gráfico 5

Hietograma de precipitación de diseño, periodo de retorno 50 años



Una vez determinado las características morfométricas y datos de precipitación, se realizaron modelos hidrológicos que permitirá generar las imágenes estimadas del evento ocurrido el 29 de abril 2024 y con periodo de retorno de 50 años.

Los datos ingresados en el apartado de condiciones de contorno sirvieron para establecer la entrada del caudal y tiempo en segundos, obtenidos de la intensidad de precipitaciones máximas registradas el 29 de abril 2024.

Tabla 27

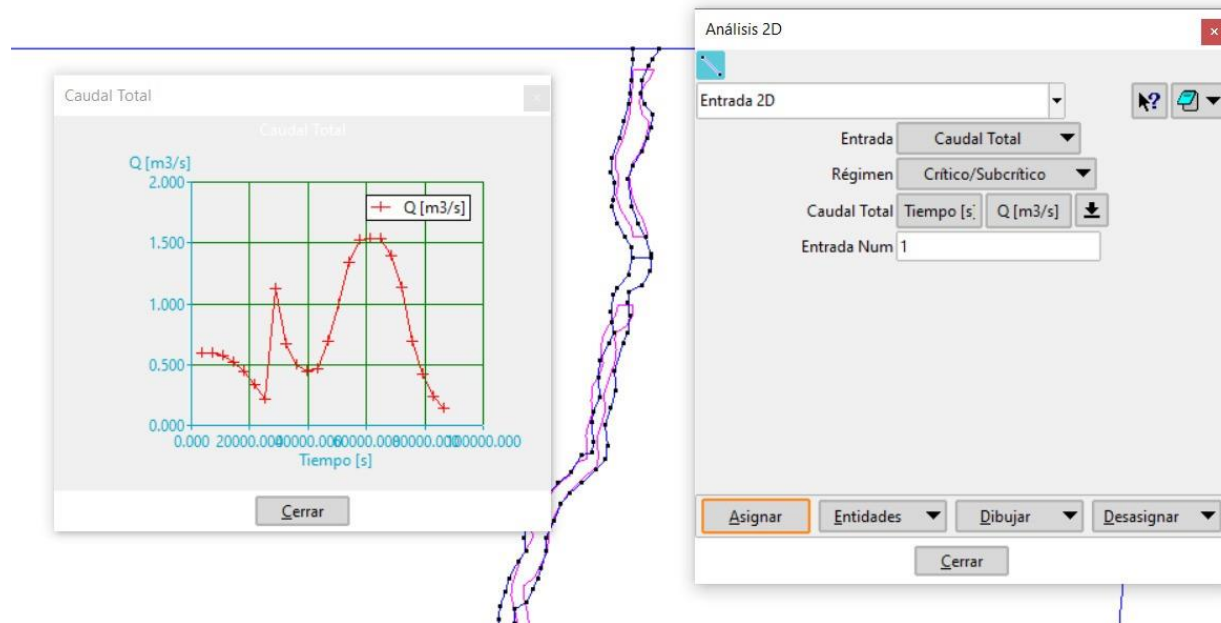
Intensidad y duración de precipitaciones registradas el 29 de abril 2024

Segundos	Intensidad mm/hr
3600	0,59
7200	0,59
10800	0,57

14400	0,52
18000	0,44
21600	0,33
25200	0,22
28800	1,12
32400	0,67
36000	0,5
39600	0,44
43200	0,46
46800	0,69
50400	0,99
54000	1,34
57600	1,52
61200	1,54
64800	1,53
68400	1,4
72000	1,13
75600	0,69
79200	0,42
82800	0,24
86400	0,14

Figura 15

Intensidad de precipitaciones de 29 de abril 2024

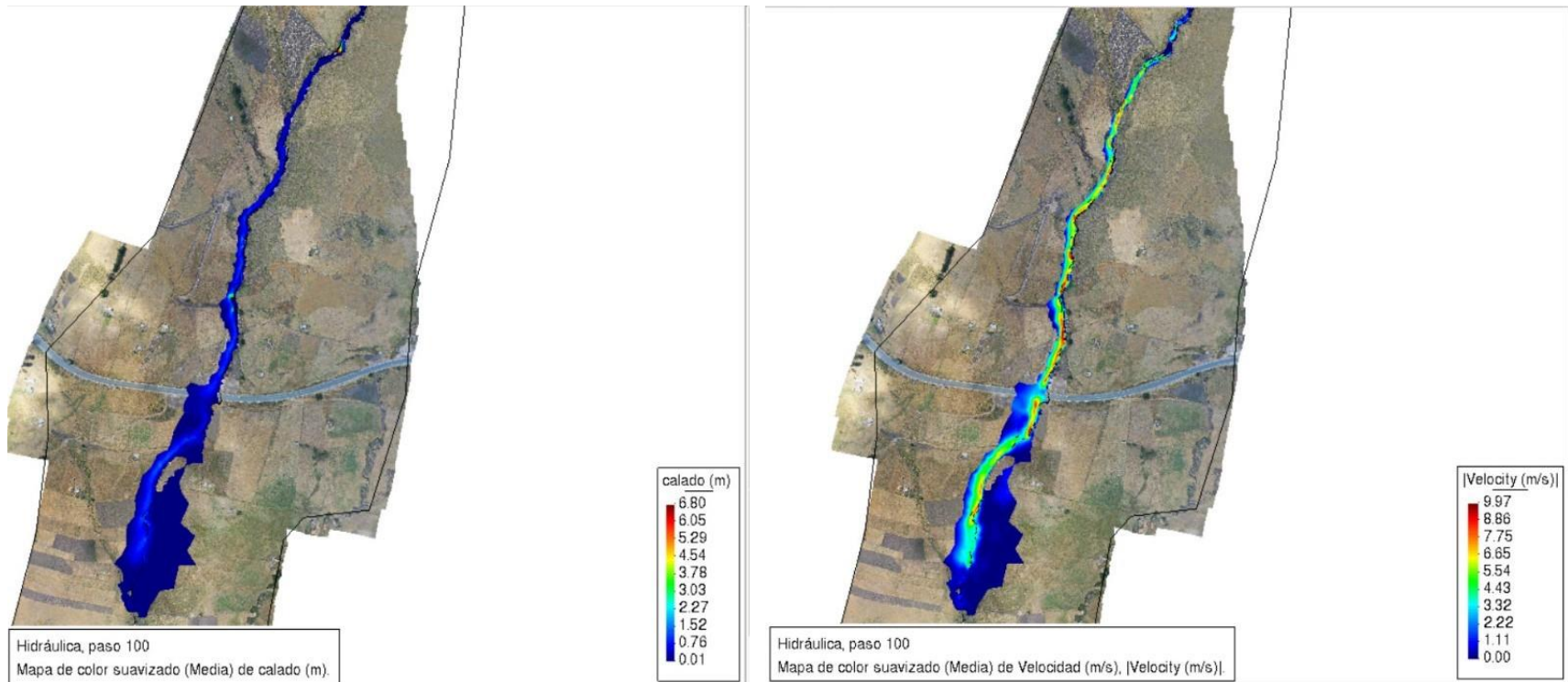


Nota. La representación es realizada en el software Iber con los datos de precipitación registrada el 29 de abril 2024.

Los resultados obtenidos se describen a continuación:

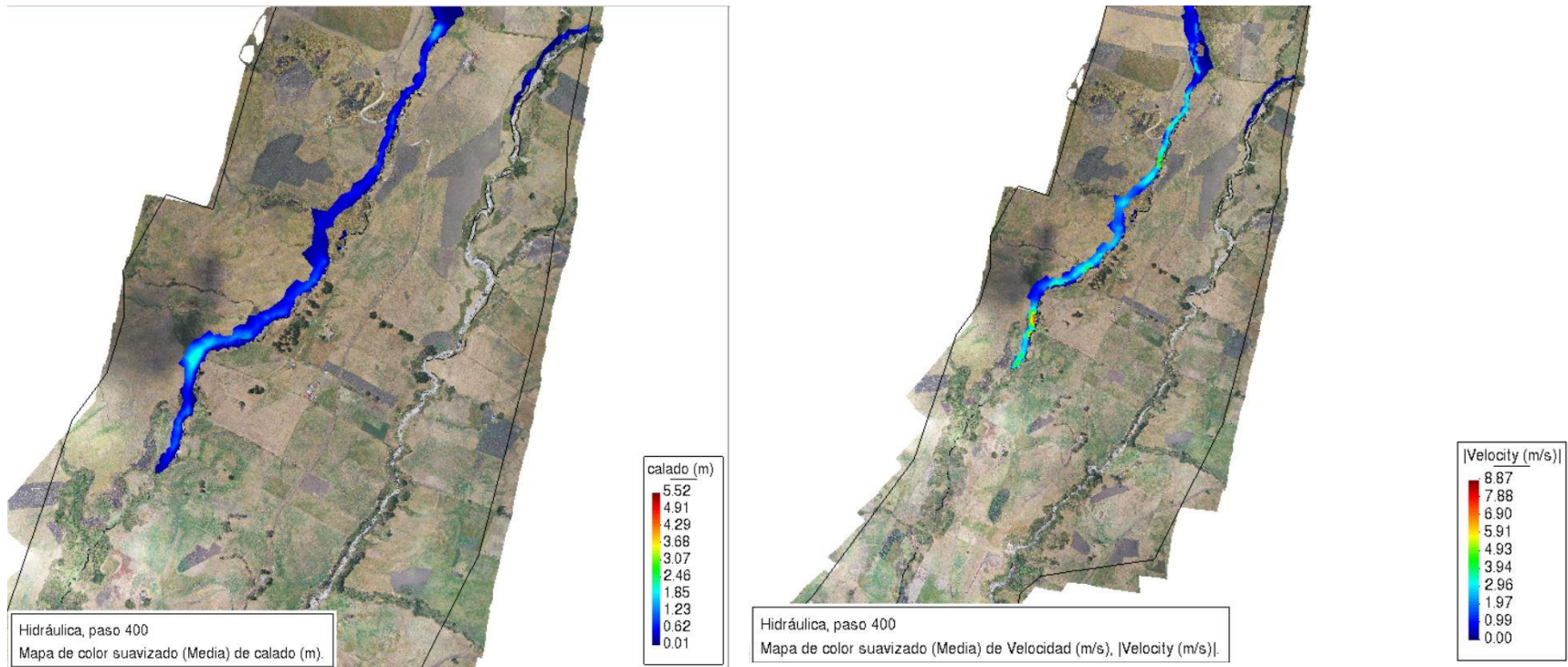
Figura 16

Modelamiento del primer tramo



Nota. Valores de calado y velocidad en los minutos iniciales del evento, modelamiento realizado en el software Iber. Realizado por:

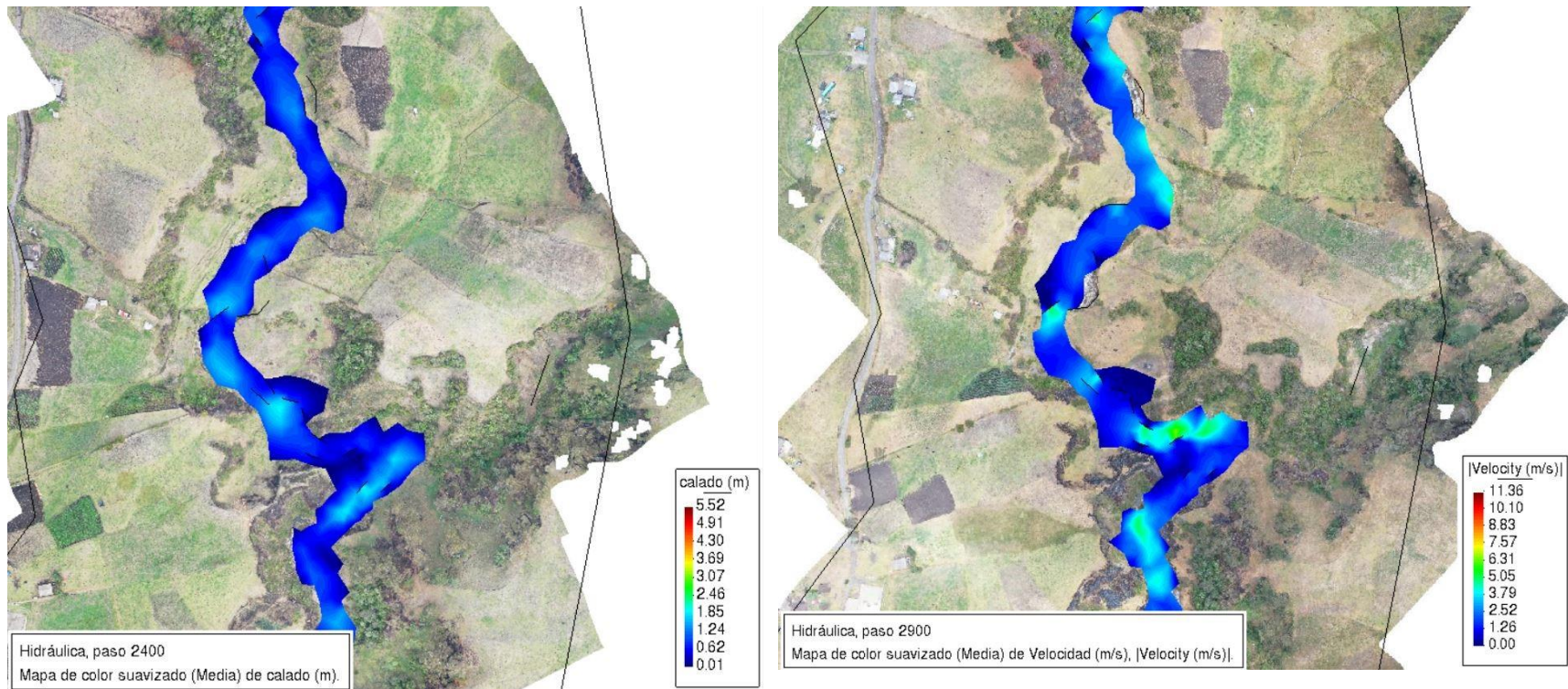
Bayas M. y García E. 2024

Figura 17*Modelamiento segundo tramo*

Nota. Valores de calado y velocidad en los minutos del evento, modelamiento realizado en el software Iber. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Figura 18

Modelamiento tercer tramo



Nota. Valores de calado y velocidad del evento en el tercer tramo, en la línea de conducción ubicado en el sector Arrayan Pamba,

modelamiento realizado en el software Iber. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Para el modelamiento del periodo de retorno 50 años, se utilizó los datos de la Tabla 24.

Figura 19

Intensidad de precipitaciones, periodo de retorno 50 años

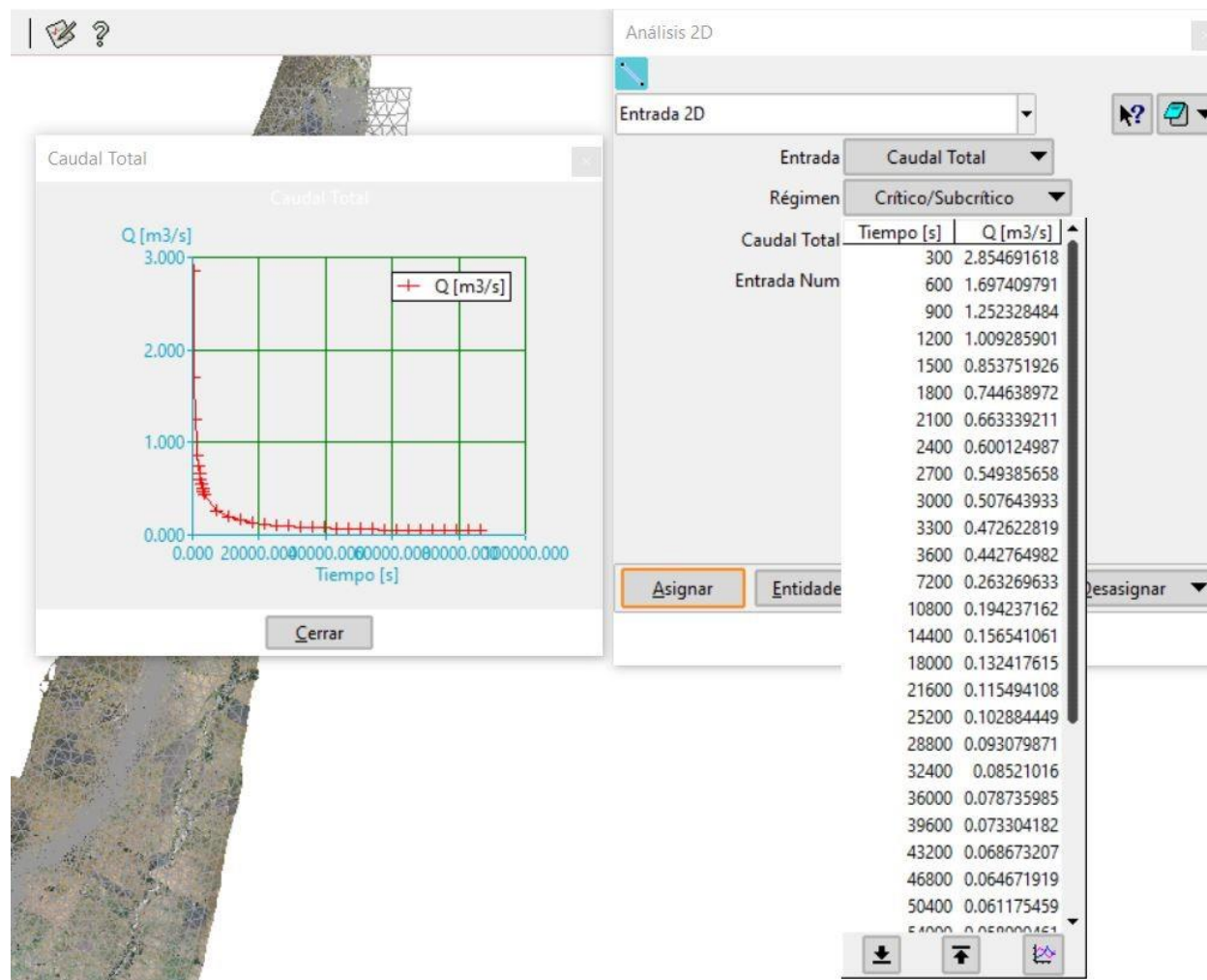
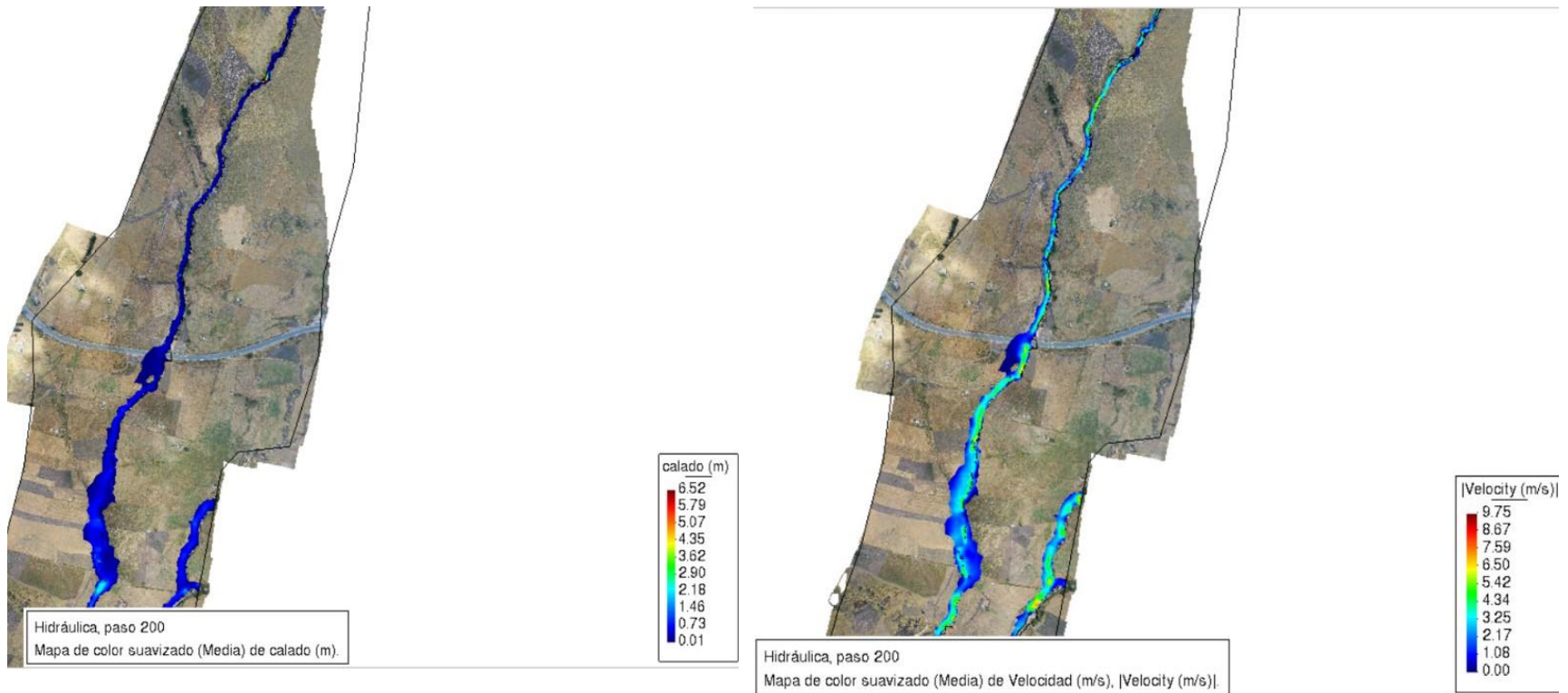


Figura 20

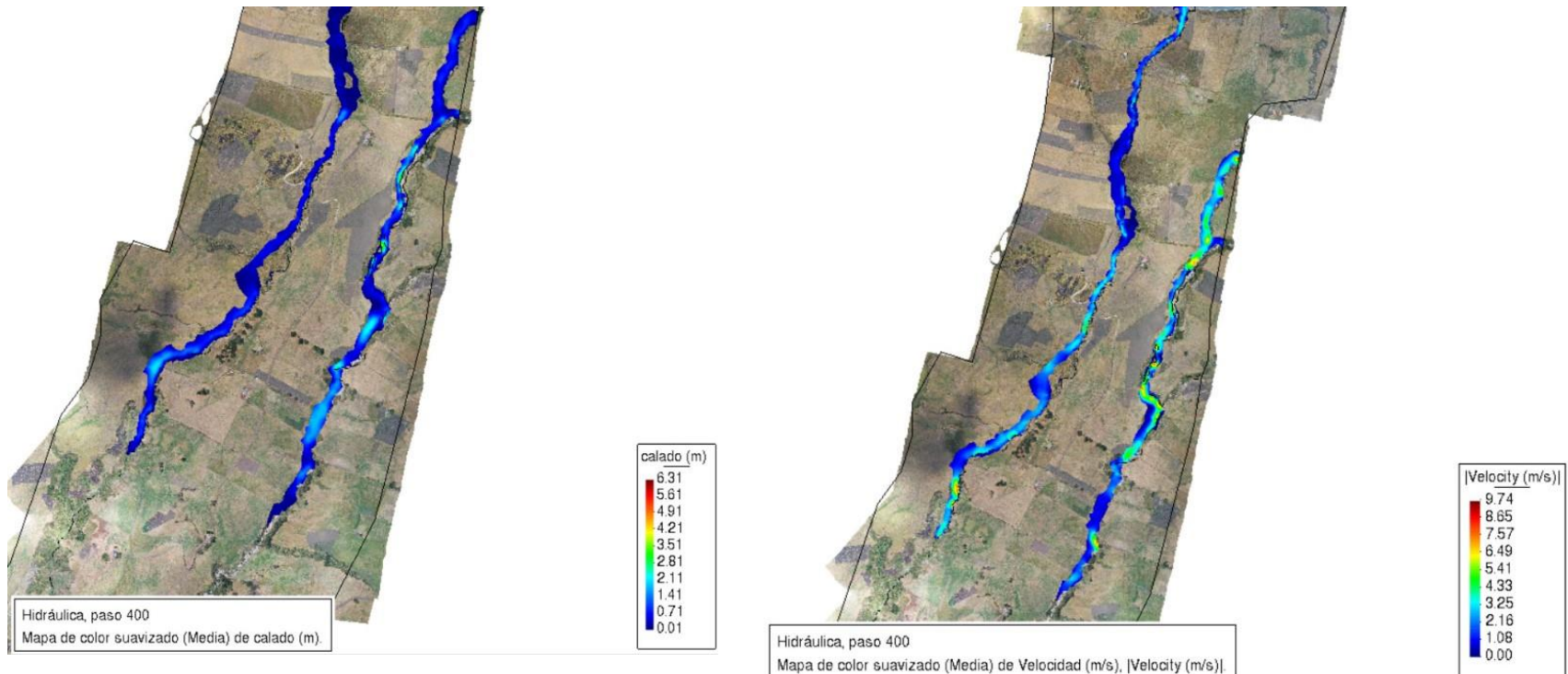
Modelamiento del primer tramo, periodo de retorno 50 años



Nota. Valores de calado y velocidad en los minutos iniciales del evento, con datos de periodo de retorno 50 años, modelamiento realizado en el software Iber. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Figura 21

Modelamiento del tramo medio, periodo de retorno 50 años

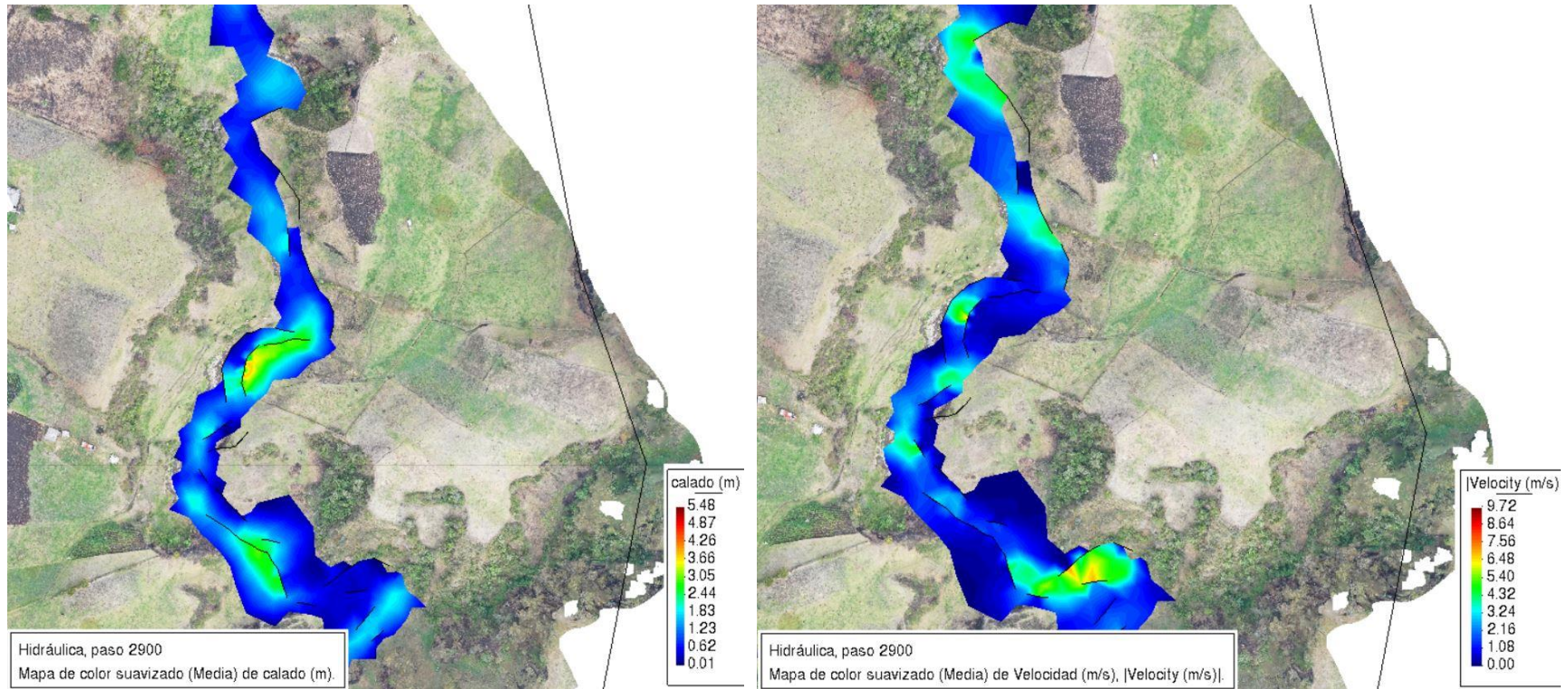


Nota. Valores de calado y velocidad, con datos de periodo de retorno de 50 años, modelamiento realizado en el software Iber.

Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Figura 22

Modelamiento tercer tramo, periodo de retorno 50 años



Nota. Modelamiento realizado en el software Iber, obteniendo valores de calado y velocidad, con los datos de periodo de retorno 50 años. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

4.1.3. Resultado Objetivo 2

Establecer el nivel de exposición del sistema de agua potable de la EMAPA-G.

El comportamiento de los cauces en zonas donde se han materializado aluviones puede ser ampliamente variable, con impactos significativos en la infraestructura que se encuentran ubicadas en sus cercanías, especialmente en los tramos de la línea de conducción y el tanque de rompe presiones de la EMAPA-G.

El 29 de abril 2024, se materializó aluviones y deslaves afectando a varios puntos de a línea de conducción en los siguientes lugares: Arrayan Pamba, Pangua, Lozan, Arenal, Quindigua Alto y captación Pachala. Se registraron daños en los sectores de Pangua y Arrayan Pamba, donde se originó el desprendimiento de tuberías de hierro fundido, tal como se menciona en el informe de Plan de Contingencia realizado por los técnicos de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Guaranda (EMAPA-G).

El modelamiento realizado con un caudal de $13,62 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 50 años permitió identificar el nivel de amenaza al que está expuesta la línea de conducción en los sectores de Pangua y Arrayan Pamba, donde se encuentra el tanque rompe presiones.

Tabla 28*Categorización simplificada de la amenaza con el producto de la velocidad de profundidad*

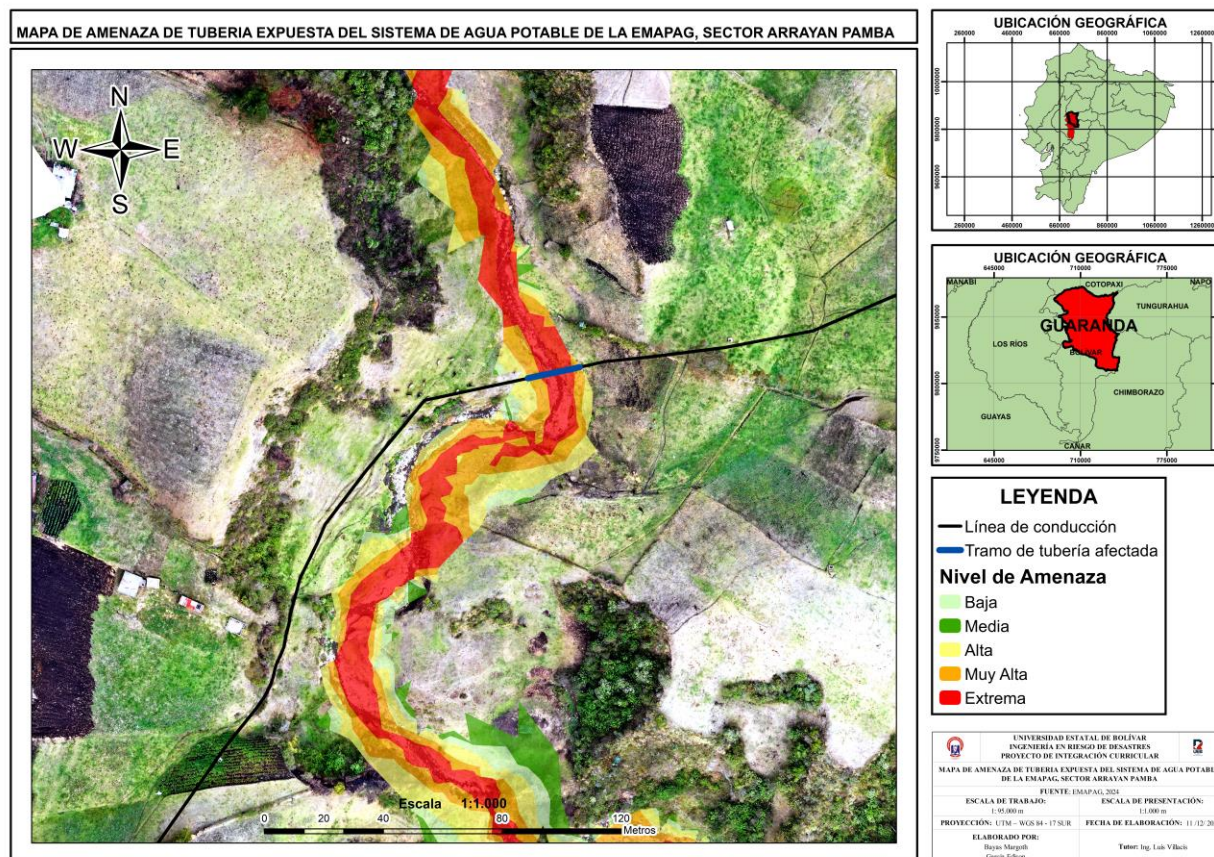
Nivel de amenaza	Rango de velocidad de profundidad (ft ³ /seg)	Rango de velocidad de profundidad (m ² /seg)
Bajo	<2.2	<0.2
Medio	2.2 – 5.4	0.2 – 0.5
Alto	5.4 – 16.1	0.5 – 2.5
Muy Alto	16.1 – 26.9	1.5 – 2.5
Extremo	>26.9	>2.5

Nota. Fuente:(Salazar, s. f., p. 55)

En el sector Arrayan Pamba se encuentra expuesta a línea de conducción en las coordenadas 725391,004 – 9833916,449 y 725405,662 – 9833919,640. El nivel de amenaza que está expuesto es muy alto, según la clasificación la Tabla 28, con una extensión de 6,73 metros de tubería de hierro fundido. En la misma zona, se identificó otro tramo afectado en las coordenadas de 72398.684 – 9833918,018, el cual presenta un nivel de amenaza extrema, según la clasificación de la Tabla 28, con una extensión de 11,05 metros de tubería.

Ilustración 6

Mapa de Amenaza de Tubería Expuesta del Sistema de Agua Potable de la EMAPA-G, Sector Arrayan Pamba



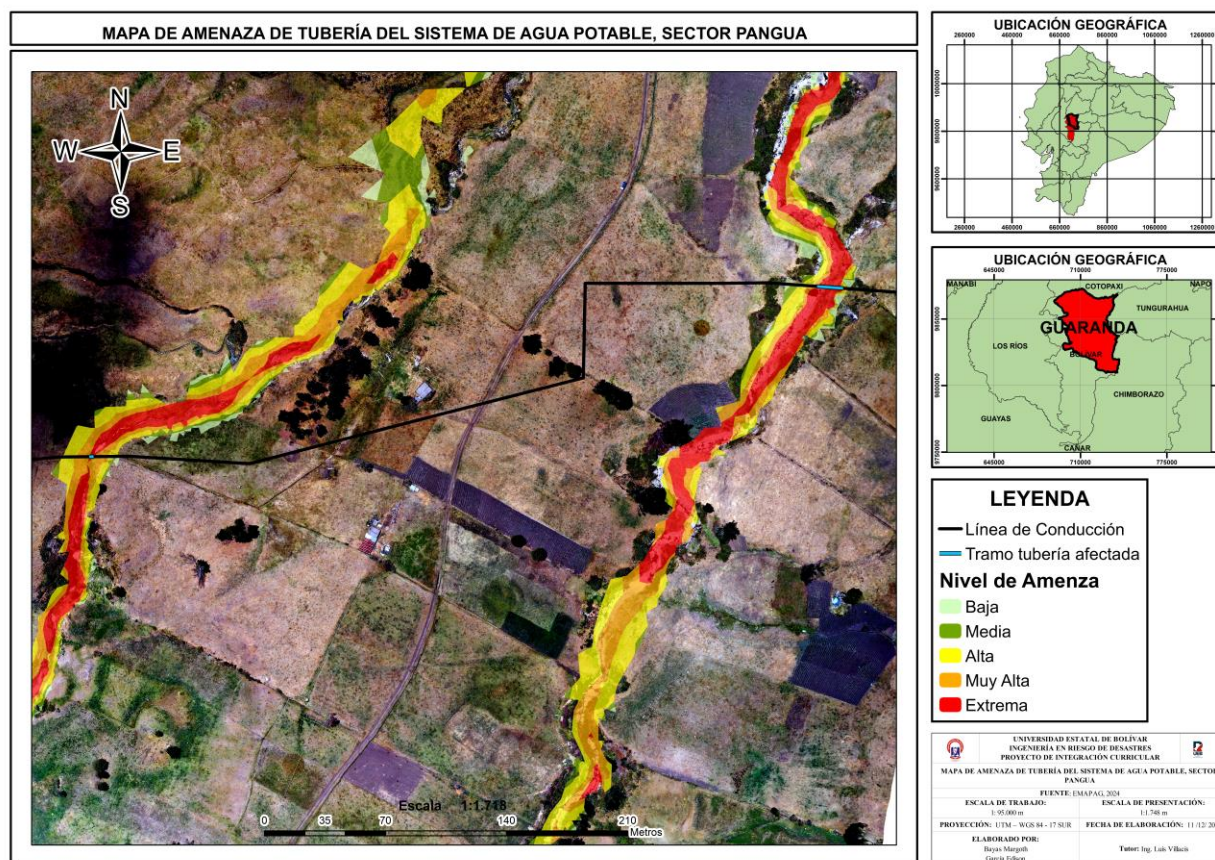
Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

En el sector de Pangua, quebrada Chaupiyacu, en las coordenadas 726188,124 – 98355506,641, y en el río Yaragtuz en las coordenadas 726616,592 – 9835604,646 se encuentra expuesta la línea de conducción. El nivel de amenaza al que se encuentra es extremo, según la clasificación de la Tabla 28, con una extensión de 17,55 metros de tubería de la línea de conducción. Existe incertidumbre de la propiedad de la sección del río Yaragtuz, ya que moradores afirman que le pertenece a la comunidad para el sistema de riego, mientras que la

cartografía proporcionada por la EMAPA-G representa como línea de conducción de tubería PVC del sistema de agua potable.

Ilustración 7

Mapa de Amenaza de Tubería del Sistema de Agua Potable, Sector Pangua



Nota. Realizado por: Bayas M. y García E. 2024

Además de identificar el nivel de amenaza que se encuentra expuesta la línea de conducción a los aluviones en los sectores de Pangua y Arrayan Pamba, se realizó el análisis de erosión que afecta a estas zonas.

Figura 23

Modelo de erosión con DEM SIG Tierras, Método USLE



Los polígonos grandes incrementan la incertidumbre del modelo, por el cual, se procede a generar dos modelos de erosión con DEM generados el 29 de septiembre y el 06 de diciembre 2024 en el software SAGA, en el que se otorga diferentes capas de ráster, entre los cuales se selecciona la capa LS, que nos permite identificar y validar los datos de zonas erosivas en las áreas críticas de la zona de estudio. Esto incluye, particularmente, la línea de conducción de hierro fundido, en la que las afectaciones por procesos erosivos se han vuelto notorias.

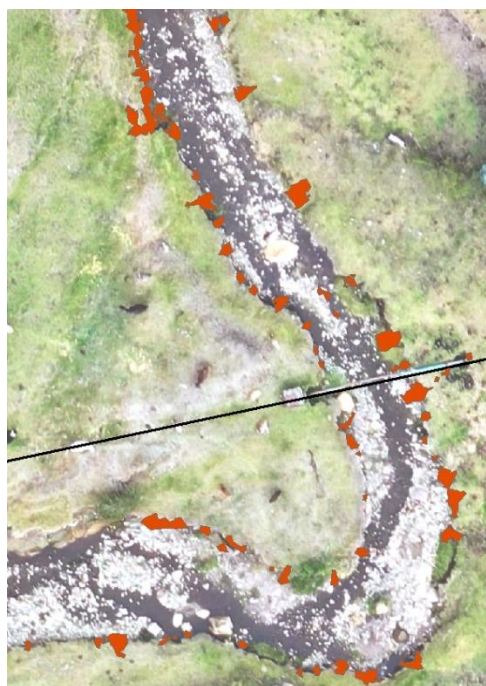
Figura 24

Modelo de erosión con DEM 29 de septiembre del 2024



Figura 25

Modelo de erosión con DEM de 06 de diciembre del 2024



Se identificó similitudes entre los tres modelos generados. Ahora, las zonas de erosión se pueden ver con mayor facilidad. Sin embargo, es importante destacar que, en un lapso de 69 días, se encuentran 281,48 m² de polígonos que detonan erosión en el tercer tramo de la microcuenca, que es donde se localiza el tramo expuesto de la línea de conducción. El recuento es el resultado de la diferencia realizada entre los polígonos obtenidos tras el segundo vuelo del dron, con 399,84 m² totales, y 137,64 m² obtenidos del primer vuelo, contando los polígonos encontrados 50 metros aguas arriba, a partir de la línea de conducción y 50 metros aguas abajo.

Posteriormente, se realiza una regla de tres que nos permite obtener la cantidad en m² que se erosiona día a día:

$$69 d \quad 202,2 m^2$$

$$1 d \quad x = \frac{202,2}{69} = 2,93m^2$$

Tras las salidas a campo realizadas, se identificaron puntos pequeños desprendimientos y zonas de calados, los cuales se proyectaron en el software ArcMap. Durante las salidas, los modelos fueron validados al observar que los puntos coinciden con los datos obtenidos en campo correspondían a los desprendimientos y calados visualizados en el mapa. Esto indica que tanto los puntos individuales como los de coincidencia forman parte de los procesos erosivos, ya sea por calado o desprendimientos.

Asimismo, se verificó que las zonas de coincidencia entre los tres modelos de erosión son válidas, lo que demuestra que estos procesos han estado presentes en la microcuenca desde el año 2016. Es importante destacar que el segundo modelo se observa una mayor presencia de polígonos de erosión, debido a dos factores principales: la presencia de ganado vacuno en la zona afectada y el evento de precipitación con granizo ocurrido el 4 de octubre 2024. Este último factor tuvo un gran impacto sobre el suelo ampliamente estratificado que contiene arenas, cantos

rodados, gravas, arcillas y suelo unificado, comprometiendo no solo las bases de la columna de soporte de la tubería, sino también, áreas del terreno que le da estabilidad a la misma.

Tabla 29

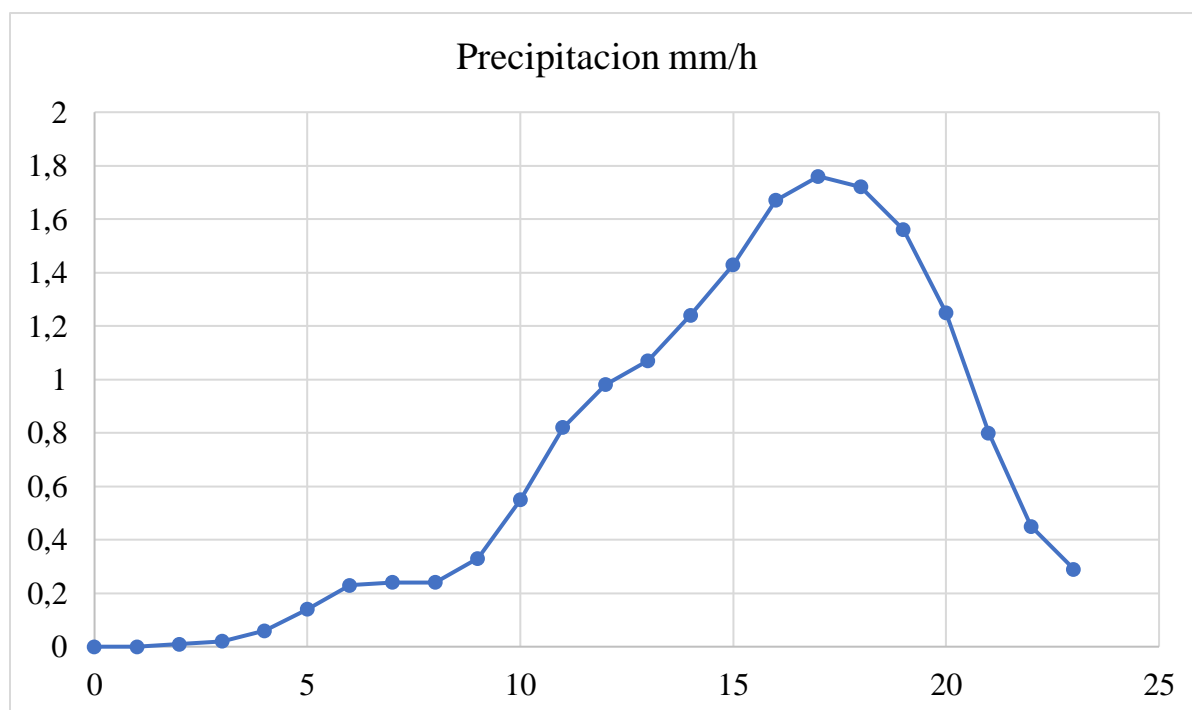
Precipitación 04 de octubre 2024, (Evento Granizada)

Horas	Precipitación mm/h
0	0
1	0
2	0,01
3	0,02
4	0,06
5	0,14
6	0,23
7	0,24
8	0,24
9	0,33
10	0,55
11	0,82
12	0,98
13	1,07
14	1,24
15	1,43
16	1,67
17	1,76

18	1,72
19	1,56
20	1,25
21	0,8
22	0,45
23	0,29

Gráfico 6

Hietograma con datos de precipitación 4 de octubre 2024



En la **Figura 26** se evidencia las áreas de color naranja demuestran por sí mismas, que se desprenderán o sufrirán procesos de calado, impactarán directamente a ambos lados del cauce, alterando la dirección y desviando el agua hacia las bases de las columnas de soporte de la línea de conducción, agravando el agua hacia las bases de las columnas de soporte de la línea de conducción, agravando los estratos ya existentes debido a estos procesos.

Figura 26

Zonas de erosión sector Arrayan Pamba



Figura 27

Línea de conducción, sector Arrayan Pamba



Nota. Análisis del estado del cauce del río Quinoa Corral sector Arrayan Pamba, posterior al aluvión y periodos de lluvias intensas.

Figura 28

Columna de soporte de la línea de conducción



Nota. Revisión del estado de integridad de la columna con respecto a la erosión.

4.1.3. Resultado Objetivo 3

Elaborar propuesta de medidas de reducción ante la exposición de la infraestructura del sistema de agua potable por amenaza de aluviones.

Una vez generado el modelamiento y analizado el nivel de exposición de los tramos de tubería de sistema de conducción de agua potable, se toma en consideración la naturaleza del evento, caracterizada por aluviones, flujos de lodo y detritos, con alta velocidad de desplazamiento y gran capacidad destructiva, así como las características del terreno, que incluyen la forma de la pendiente, cobertura vegetal y tipo de suelo, en las zonas donde se registraron las afectaciones. Para ello, esta investigación propone las siguientes medidas para reducir la exposición de la infraestructura del sistema de agua potable, que se describe en la Table 30 y Tabla 31.

Tabla 30*Medidas de reducción estructurales*




Problema	Medidas	Responsables	Ilustración
Erosión deja expuestas varillas de la columna de soporte, que se une con el anclaje en base, misma que sostiene la tubería de hierro fundido	Reforzamiento en la columna de soporte de la tubería de hierro fundido	EMAPA-G	
Roca de gran tamaño ubicada en el centro del cauce desvía el agua del río hacia la base del tanque rompe presiones	Muro de gaviones para reducir el impacto directo de velocidades y calados en la tubería y el tanque rompe presiones	EMAPA-G	

Tabla 31*Medidas de reducción no estructurales*

Problema	Medidas	Responsables	Ilustración
La falta de vegetación en la parte alta de la quebrada genera la inestabilidad del suelo provocando movimientos de masa, erosión y el represamiento de sedimentos.	Revegetación con especies nativas con la finalidad de estabilizar los suelos	EMAPA-G	
La degradación del suelo debido a la actividad ganadera en el área, genera inestabilidad del suelo.	Proceso de cercado de las áreas donde se encuentra los tramos de línea de conducción y el tanque rompe presiones.	EMAPA-G	

La falta de limpieza en la quebrada y río genera la obstrucción de la dirección del cauce incrementando la cantidad del suelo desprendido lo que ocasiona represamientos y alteraciones en el cauce del río.

Limpieza y remoción de los materiales que obstruyen el tránsito del caudal.

EMAPA-G



Conclusiones

El modelamiento y el análisis del flujo de aluviones en la microcuenca Quinoa Corral, específicamente en la Quebrada Chaupiyacu, permitió identificar las características morfométricas de la microcuenca hidrográfica, como la forma alargada y la red hídrica que la conforma, misma que, incrementan significativamente los eventos de movimientos de remoción en masa. El modelo hidráulico reveló valores de calado superiores a 3 metros en puntos críticos de ciertos sectores y velocidades de 4 a 7 m/s de aluvión que suponen una amenaza real, en gran parte del cauce de la quebrada y río, específicamente durante eventos de lluvias intensas, estas condiciones generan gran impacto notable en las áreas de interés.

El nivel de exposición del sistema de agua potable de EMAPA-G, realizando a través del modelamiento bidimensional, permitió identificar como puntos más críticos dos tramos de la línea de conducción y el tanque rompe presiones, los cuales se encuentran en zonas de extrema y alta amenaza. Estas infraestructuras se encuentran en zonas de alto riesgo debido a la concentración de flujos y cantidad de erosión presente en los tramos afectados, representando un riesgo significativo para la continuidad del servicio. El aluvión ocurrido el 29 de abril 2024, mismo que, interrumpió el suministro de agua aproximadamente por tres días, frenando las actividades de la población, tanto diarias como económicas.

Una vez evaluada la amenaza y los elementos expuestos del sistema de agua potable permitieron fundamentar y proponer medidas estructurales, como el reforzamiento de columna de soporte de la tubería de hierro fundido y la construcción del muro de gavión, buscando proteger la infraestructura de los impactos directos de las velocidades y calados del agua. Por otro lado, las medidas no estructurales como acciones de revegetación, el cercado y la limpieza y remoción de los materiales que obstruyen el tránsito del caudal, con el objetivo de reducir la

inestabilidad del suelo y la erosión. La implementación de estas medidas permitirá reducir el riesgo de daños y garantizará el suministro de agua potable.

Recomendaciones

Invertir en esfuerzos para el monitoreo recurrente de las zonas que han registrado fenómenos de remoción de masa, cuya materialización haya comprometido la integridad de la infraestructura del sistema de agua potable, independientemente del tipo y lugar de origen al que corresponda estos fenómenos, así como, profundizar en el empleo de modelamientos bidimensionales para la representación de flujos que pueden comprender la continuidad del servicio, teniendo en cuenta, aquellos sectores donde ya se han materializado, sin dejar de lado aquellas que pueden considerarse eventos excepcionales, pero no improbables, por lo tanto, tomar en cuenta documentos como el presente trabajo de investigación, como una guía para la institución EMAPA-G, con la finalidad de fomentar el enfoque preventivo y para aquellas personas que deseen generar posteriores modelamientos de flujos, que puedan comprometer el sistema de agua potable.

Los niveles de amenazas representan de forma específica el impacto que tiene estos eventos, sobre su entorno. Por tanto, se indispensable analizar las características específicas del terreno donde se ubican los elementos del sistema de agua potable, que se encuentra a merced de las inclemencias climáticas y relacionarlas con aquellas en donde ya se materializaron fenómenos de tipo flujo, como aluviones, flujos de lodo y detritos. Estos mismos no son ajenos a presentarse en páramos si las condiciones son favorables para ello. Cabe destacar que los niveles de amenaza pueden variar según las consideraciones de los autores al momento de proponerlos e implementarlos. Por tanto, sería un gran acierto generar categorías de niveles de amenaza específica para el evento investigado, en función de las características morfométricas del sector.

Tomar en cuenta que, las medidas de reducción ante la exposición sugeridas, han sido consideradas conforme a las salidas de campo realizadas, misma que, amplían gratamente las

percepción que tenemos de los elementos del sistema de agua potable expuestos, por ende, colaborar con diversos profesionales del área de ingeniería, incrementaría de forma significativa el abanico de opciones a implementar sobre la infraestructura expuesta, para reducir los daños potenciales que podrían ser recurrentes, así mismo, considerar las medidas estructurales y no estructurales presentadas en este documento, como punto de partida que considera la aplicación a corto y mediano plazo, sin dejar de lado la participación ciudadana de comunidades que se encuentran en la zona de estudio. El trabajo en conjunto con las comunidades aledañas a los puntos críticos representa el pilar fundamental entre las personas y la EMAPA-G, siendo este apartado un llamado dirigido a la institución para incrementar su enfoque en la prevención.

Bibliografía

- Araque Arellano, M., Vásquez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19038>
- Arroyo, O. (s. f.). *Tuberías de hierro fundido. Redes de Abastecimiento de Agua*. Recuperado 6 de marzo de 2025, de
https://sarreplec.caib.es/pluginfile.php/23661/mod_resource/content/4/43_tuberas_de_hierro_fundido.html
- Bermeo Álvarez, S. A., Crisanto, J., & Herrera, E. (2022, febrero 16). *Aluvión*.
https://repositorio.uce.edu.ec/archivos/aralvear/OA-CITYS/Noticias/PDFs/9_ALUVIONES_EN_QUITO.pdf
- Berrones Parra, V. H. (2024, abril 11). *Informe de Determinación de la Necesidad. Rehabilitación de las captaciones de agua y sus redes de abastecimiento; trabajos de cambios de tuberías de mayor diámetro del alcantarillado sanitario en la calle Malecón en el sector Plaza de Toros*. https://municipiobucay.gob.ec/wp-content/DOCUMENTOS/CONVOCATORIAS/REABILITACION%20DE%20LAS%20CAPTACIONES%20DE%20AGUA/INFORME_NECESIDAD%20.pdf
- Chacon, L. (s. f.). *Aluviones*. Scribd. Recuperado 18 de febrero de 2025, de
<https://es.scribd.com/document/326577646/ALUVIONES>
- Chow, V. T., Mays, L. W., Saldarriaga Valderrama, J. G., Santos G., G. R., & Maidment, D. R. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill.
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. (2010).
<https://www.cpccs.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/cootad.pdf>

Constitución de la República del Ecuador. (2008, octubre 20). <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (s.f). *Capítulo I: Diagnóstico*

Morfometría.

https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20-%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfometria.pdf

Cruz Carrillo, E. S. (2020). *Cartografía detallada de lahares primarios del volcán Cotopaxi mediante imágenes de espectro visible e infrarrojo cercano obtenidas por una nave aérea no tripulada (DRONE)* [bachelorThesis, Quito, 2020.].

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20629>

Cueva Portal, M. H., Cañón, J., & Cea, L. (2021). Uso de Iber como herramienta de aprendizaje y análisis de flujos bidimensionales en canales. *Revista Educación en Ingeniería*, 16(31), 72-78. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8111595>

EP-EMAPAG. (2024, abril 30). *EMAPA-G informa que del recorrido cumplido en el Arenal por parte del Personal Operativo revisando la línea de conducción, desde tempranas horas de hoy martes 30 de Abril, se localiza varios deslizamientos que rompieron la tubería en los sectores de Pangua, Quindigua, Lozán y Tanque denominado Arenal. – EP-EMAPAG.* <https://emapag.gob.ec/emapag-g-informa-que-del-recorrido-cumplido-en-el-arenal-por-parte-del-personal-operativo-revisando-la-linea-de-conduccion-desde-tempranas-horas-de-hoy-martes-30-de-abril-se-localiza-varios-deslizami/>

- Espinoza Ortiz, A. V. (2023). *Estudio de la afectación social causada por aluvión en la quebrada el Tejado en la Comuna, sector la Gasca, de la ciudad de Quito* [bachelorThesis, Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias de la Salud y del Ser Humano. Carrera de Administracion en Desastres y Gestion del Riesgo].
<https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/5845>
- Feito, O. B. (2021a, febrero 9). *¿Qué es iber? Un software libre para la modelización hidráulica - Blog Imasgal*. Imasgal. <https://imasgal.com/que-es-iber/>
- Feito, O. B. (2021b, junio 30). *Ventajas de los modelos hidráulicos bidimensionales—Blog Imasgal*. Imasgal. <https://imasgal.com/ventajas-modelos-hidraulicos-bidimensionales/>
- Figueroa, J. M. (s. f.). *Método Del Número de Curva Del SCS*. pdfcoffee.com. Recuperado 21 de febrero de 2025, de <https://pdfcoffee.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs-4-pdf-free.html>
- Gregorio Rojas, N. (2023). *Metodología de la investigación para anteproyectos*.
<https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaueb/229656?page=128>
- Guachamín, W., García, F., Miguel Arteaga, & Cadena, J. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación*.
https://www.inamhi.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/ESTUDIO_DE_INTENSIDADES_V_FINAL.pdf
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología Investigación Científica*. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Methodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides. En *Circular* (No. 1325). U.S. Geological Survey.

<https://doi.org/10.3133/cir1325>

Jose Jose. (s. f.). *Análisis de Datos Dudosos (Outlier)*. Scribd. Recuperado 28 de noviembre de 2024, de <https://es.scribd.com/presentation/492087178/Analisis-de-Datos-Dudosos-Outlier>

Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. (2014, agosto 6).

<https://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADdricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

López, J. J., González, M., Scaini, A., Goñi, M., Valdenebro, J. V., & Gimena, F. N. (2012).

Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Obras y proyectos*, 12, 15-30.

<https://doi.org/10.4067/S0718-28132012000200002>

Mergili, M., Marchant, C., & Moreiras, S. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24, 113-131.

Moncayo Lema, C. P., & Nuñez Peñaloza, A. M. (2023). *Análisis de susceptibilidad a deslizamientos en la línea de conducción de agua de la EP-EMAPAG, en la parroquia Guanujo, cantón Guaranda, provincia Bolívar en el período noviembre 2022- febrero 2023* [bachelorThesis, Universidad Estatal de Bolívar : Maestría en Prevención y Gestión de Riesgos]. <https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/5223>

Monroy Mejía, M. de los Á., & Nava Sanchezllanes, N. (2018). *Metodología de la investigación*.

<https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaueb/172512?page=94>

Muoz, V. (2023, octubre 22). *Aluviones*. SlideShare.

<https://es.slideshare.net/slideshow/aluviones-ppt-geopptx/262606377>

Naciones Unidas. (2009). *Terminología sobre Reducción de Riesgos de Desastres*. Estrategias Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas.

https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres. (2015). *Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030*.

Navarro Hudiel, S. J. (2008). *Guía Técnica para la Reducción de la Vulnerabilidad en Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario*. 104.

Nolan, G. (2019). *Las tuberías de PVC tienen una vida útil de 100 años | Ercros*.

<https://www.ercros.es/es/sala-de-prensa/articulos-tecnicos/las-tuberias-de-pvc-tienen-una-vida-util-de-100-anos>

Ponce, V. M. (2008). *Preguntas y respuestas sobre el periodo de retorno a ser usado para diseño*, Victor M. Ponce. https://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html

Quinchiguango, W. D. S. (2018). *TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES*.

Renner, G., Salazar, Moreno. (s. f.). *MOTIVACIÓN. CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA* Está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía. - Ppt descargar. Recuperado 26 de noviembre de 2024, de <https://slideplayer.es/slide/14188860/>

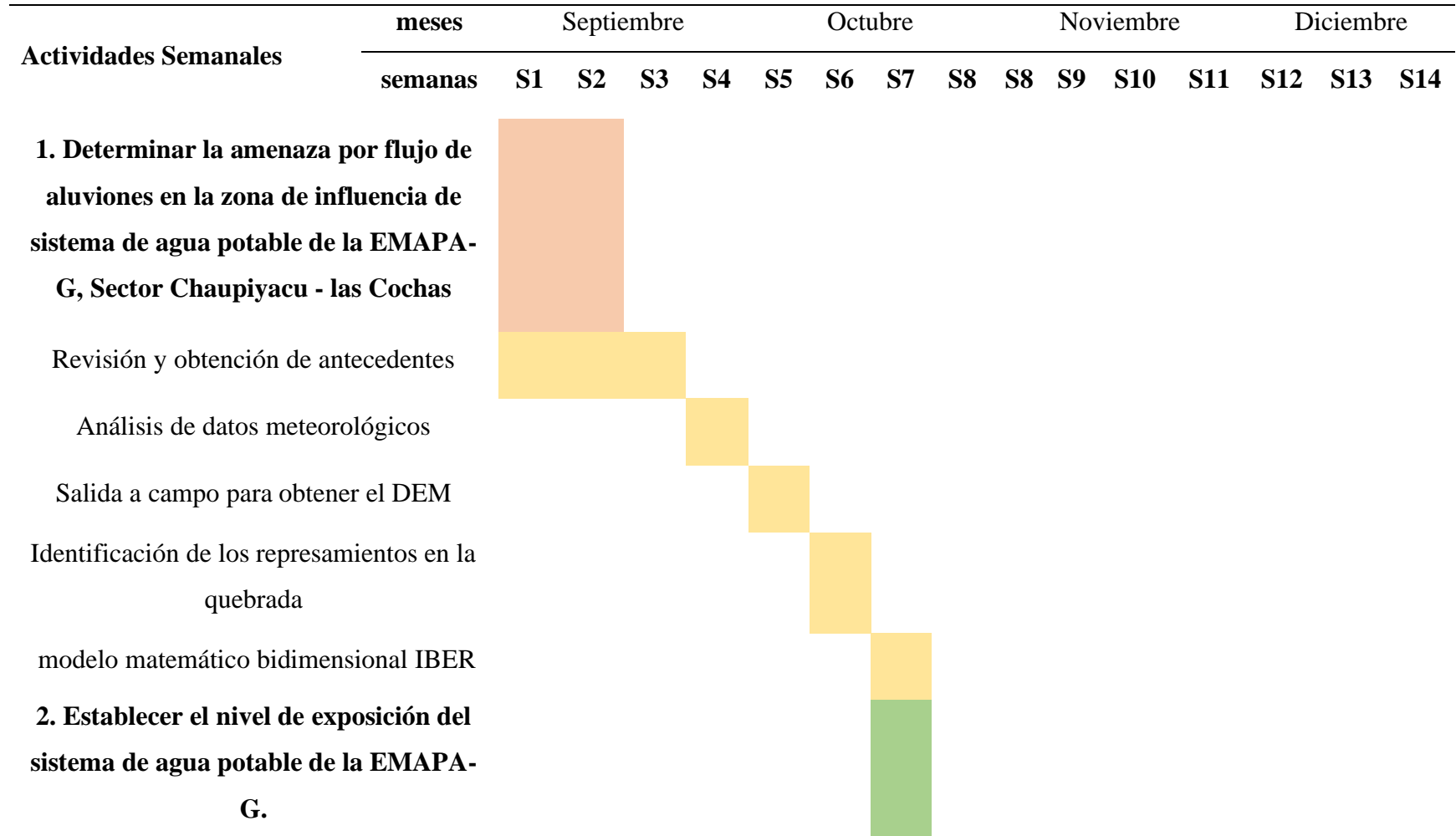
- Rojas, P. (2015, febrero 9). ¿Qué es una curva hipsométrica? *Ingeciv*. <https://ingeciv.com/que-es-una-curva-hipsometrica/>
- Rojo, J. (s.f). *Morfometría de cuenca*.
<https://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/morfometria.pdf>
- Romero Saldaña, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3), 114.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5633043>
- Ruiz Dávila, I., & León, M. Á. (2014). *Reforma a la Ordenanza de Creación de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, E-P. EMAPA-G*.
- Ruiz Rabanal, J. (2011, febrero 22). *Aluviones*. Scribd.
<https://es.scribd.com/doc/194613932/aluviones>
- Salazar, J. D. A. (s. f.). *Guía metodológica para LA elaboración de mapas de inundación*.
https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/guia_metodologica_mapas_inundacion.pdf
- Secretaria de Gestión de Riesgos. (2019). *Glosario de terminos de Gestión de Riesgos de Desastres*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/GLOSARIO-DE-T%C3%89RMINOS-DE-GESTI%C3%93N-DE-RIESGOS-DE-DESASTRES-GUIA-DE-CONSULTA.pdf>
- Sepúlveda B, A., Patiño Franco, J., & Rodríguez Pineda, C. E. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: Caso Útica, Cundinamarca, Colombia. *Obras y proyectos*, 20, 31-43. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132016000200003>

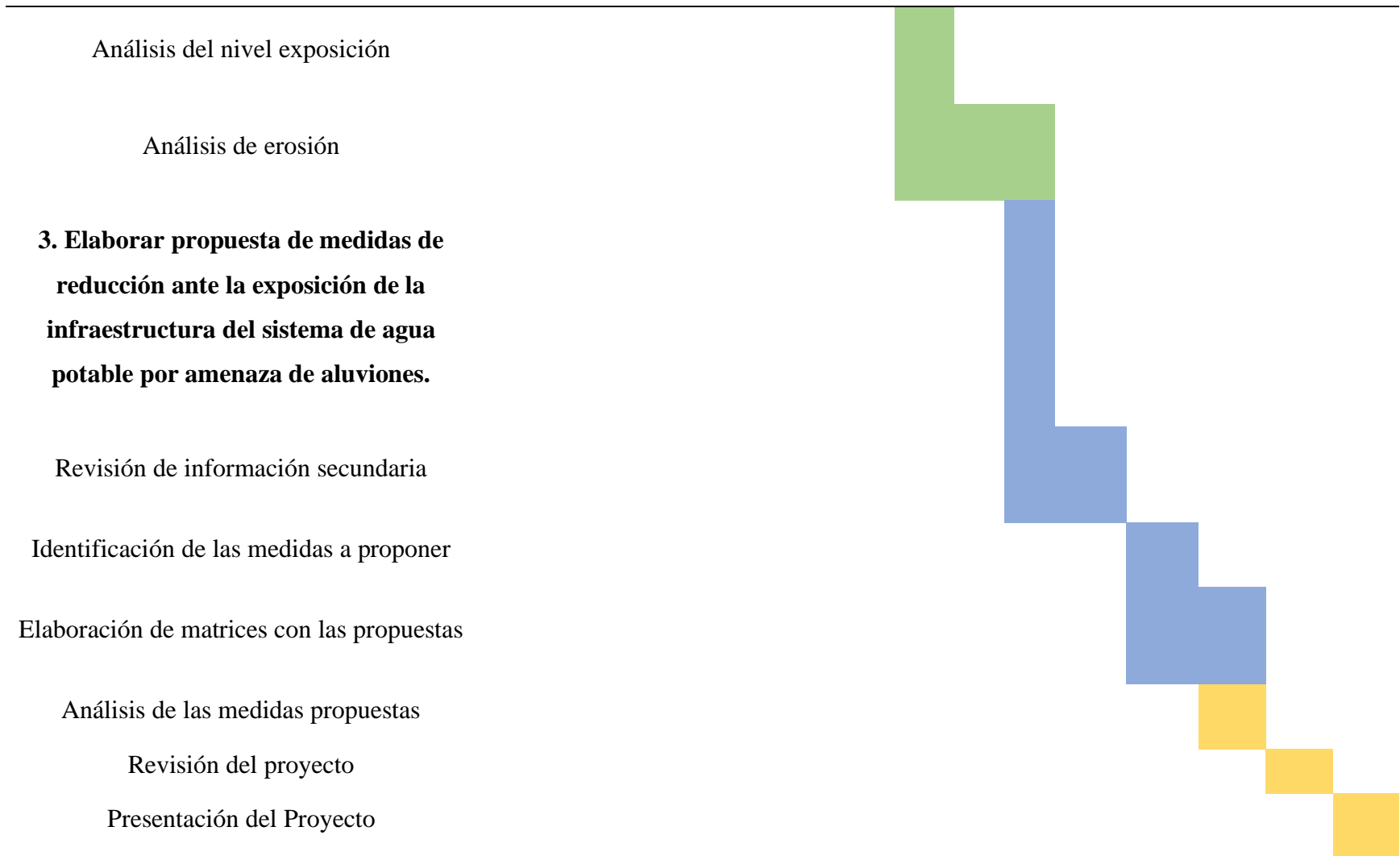
- Sepúlveda Valenzuela, S. A. (1998). *Metodología para Evaluar el Peligro de Flujos de Detritos en Ambientes Montañosos: Aplicación en la Quebrada la Cañas, Región Metropolitana*. https://portalgeo.sernageomin.cl/Informes_PDF/RMET-147.pdf
- Sequeiros Cuba, M. N., & Farfan Encalada, S. L. (2019). Evaluación hidrológico e hidráulico con el modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población ribereña al río Qochoq, provincia Calca—Región Cusco 2017. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4470>
- Sevilla, D. (s. f.). *Características de La Cuenca Hidrográfica*. Scribd. Recuperado 23 de noviembre de 2024, de <https://es.scribd.com/document/453785073/1ra-parte-Caracteristicas-de-la-cuenca-hidrografica>
- Torres Valdés, N. L. (2024). *Implementación de un sistema de alarma y alerta temprana de aluviones en la gestión del riesgo de desastres de organismos gubernamentales chilenos*. <https://repositorio.udec.cl/handle/11594/12131>
- Uparela Olivera, E. J. (2017). *Metodología para la evaluación del riesgo por flujos de lodos y avalanchas en Colombia* [Trabajo de grado - Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/618>
- Vintimilla, G. M. M., Camacho, J. A. P., & Peláez, J. L. S. (2021). Vulnerabilidad física y exposición ante la amenaza de movimientos en masa del Sistema de Agua Potable Culebrillas de la Ciudad de Cuenca. *Ciencia Digital*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i2.1573>
- Zhicay Lombaida, I. J. (2020). *Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo*.

Anexos

Anexo 1

Cronograma (Gantt)





Anexo 2*Presupuesto ejecutado*

Recursos	Cantidad	Precio Unitario	Precio Final
Servicio de internet	200h	\$1	\$200
Computadores DELL	2	1000	\$2.000
Celulares	2	350	\$700
Cuaderno	1	2	\$2
Esferos	2	0,5	\$1
Drone	1	500	\$500
Software Arcgis	2	1500	\$3.000
Resma de hojas de papel	2	5	\$10
Bond			
Camioneta para transporte	1	70	\$70
Total		\$3.429	\$6.483

Anexo 3


Equipos utilizados




Nota. Preparación y vuelo del dron para obtener el DEM de la zona de estudio.

Anexo 4

Solicitud de información dirigida al técnico de EMAPAG



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
CARRERA INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES



Guaranda, 04 octubre de 2024

Ing. Nicolay Vistin
Jefe Técnico de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda
"EP-EMAPAG"


Presente. -

Reciba un cordial saludo.

Luego de expresarle un atento y cordial saludo, me dirijo a usted, en calidad de docente de la Universidad Estatal de Bolívar carrera de Ingeniería en Riesgos de Desastres, en calidad de tutor del proyecto de investigación **"Análisis de la amenaza de aluviones y sus afectaciones en el sistema de agua potable en el sector El Arenal de la ciudad de Guaranda, durante el periodo 2024."** En este proyecto de es de gran importancia obtener información que nos ayude a la investigación para comprender la incidencia de la amenaza.

Solicitamos respetuosamente la siguiente información:

- Informe de los daños ocasionados en la línea de conducción del sistema de agua potable, por el aluvión ocurrido el 29 de abril de 2024, donde se pueda evidenciar las coordenadas y el lugar donde hubo las afectaciones.
- Coordenadas geográficas de los puntos críticos en la línea de conducción afectados por deslizamientos o aluviones.



**EMPRESA MUNICIPAL
DE AGUA POTABLE Y
ALCANTARILLADO
DE GUARANDA**

RECIBIDO

Fecha: 04-10-2024 Hora: 16:28
Trámite: 1509
Nombre: Lopez



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR
CARRERA INGENIERÍA EN RIESGOS DE DESASTRES



- Cartografía donde se evidencien los componentes del sistema de agua potable e infraestructura (tanques de captación, línea de conducción y línea de distribución de agua).

La información solicitada es de gran importancia para la investigación y su próxima respuesta contribuirá de manera significativa a la obtención de los objetivos académicos. Por la atención que se digne dar al presente, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente:

Ing. Luis Villacis Taco

Registro Fotográficos

Anexo 5

Salida campo 2 de mayo 2024



Nota. Se realizó la salida a campo en la zona donde ocurrió el aluvión, durante el recorrido se pudo observar la fuerza de agua que llevó consigo escombros y cambió la dirección del cauce, dejando señales de la magnitud del aluvión.

Anexo 6

Salida de campo 29 de septiembre del 2024, Quebrada Chaupiyacu



Nota. Desplazamiento del suelo causado por el tránsito del aluvión por la quebrada.

Anexo 7

Salida de campo 18 de octubre del 2024, Quebrada Chaupiyacu



Nota. Identificación de las zonas de roturas de represamientos.

Anexo 8

Salida de campo 06 de diciembre de 2024, sector Arrayan Pamba





Nota. Identificación de áreas de erosión y análisis de la zona de estudio del sistema de agua potable.