

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA



Análisis de diques transversales para la optimización de retención de los
flujos de detritos en la quebrada San Antonio de Pedregal en Lurigancho
Chosica

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Jesús Velásquez Capcha

ASESORA

Julia Elena Flores Loayza

Lima, Perú
2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	JESUS
Apellidos	VELASQUEZ CAPCHA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	47589005
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	JULIA ELENA
Apellidos	FLORES LOAYZA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	07974793
Número de Orcid (obligatorio)	0000-0002-0928-7592

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	

Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	

Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	DNI
Número del documento de identidad	

Datos de la obra

Materia*	Flujo, detrito, caudal, quebrada, pendiente
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado: enlace	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01
Idioma (Normal ISO 639-3)	SPA - español
Tipo de trabajo de investigación	Trabajo de Suficiencia Profesional
País de publicación	PE - PERÚ
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	Ingeniero Civil
Grado académico o título profesional	Título Profesional
Nombre del programa	Ingeniería Civil
Código del programa Consultar el listado: enlace	732016

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACTA N° 048-2024-UCSS-FI/TPICIV

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Los Olivos, 29 de febrero de 2024

Siendo el día 29 de febrero de 2024, en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, se realizó la evaluación y calificación del siguiente informe de Trabajo de Suficiencia Profesional.

Análisis de diques transversales para la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada San Antonio de Pedregal en Lurigancho Chosica

Presentado por el bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil de la Sede Lima:

VELASQUEZ CAPCHA, JESUS

Ante la comisión evaluadora de especialistas conformado por:

LAURENCIO LUNA, MANUEL ISMAEL
CANTA HONORES, JORGE LUIS

Luego de haber realizado las evaluaciones y calificaciones correspondientes la comisión lo declara:

APROBADO

En mérito al resultado obtenido se expide la presente acta con la finalidad que el Consejo de Facultad considere se le otorgue al Bachiller VELASQUEZ CAPCHA, JESUS el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

En señal de conformidad firmamos,



MSc. LAURENCIO LUNA, MANUEL ISMAEL
Evaluador especialista 1



Mg. CANTA HONORES, JORGE LUIS
Evaluador especialista 2

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Los Olivos, 01 de febrero de 2024

Señor

Manuel Ismael Laurencio Luna

Coordinador del Programa de Estudios de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad Católica Sedes Sapientiae

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que el informe de trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: “**Análisis de diques transversales para la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada San Antonio de Pedregal en Lurigancho Chosica**”, presentado por VELASQUEZ CAPCHA, JESUS con código 2014100616 y DNI: 47589005 para optar el título profesional de Ingeniero Civil, ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser evaluado y calificado por la comisión evaluadora de especialistas.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 8 %*** Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



JULIA ELENA FLORES LOAYZA

DNI N°: 07974793

ORCID: 0000-0002-0928-7592

Facultad de Ingeniería - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

Resumen

El tema central es el análisis de la estructura en relación de los flujos en el torrente de San Antonio de Pedregal, el cual se plantea como solución a las grandes avenidas en épocas de lluvia. La metodología empleada, se considera que posee un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental al igual que se podría mencionar que es transversal. Se basó en observar la quebrada con datos recopilados de información real como las precipitaciones pluviales al igual que las características del suelo para ver el diseño de diques como proyecto contenedor de detritos que discurren sobre la quebrada. Esto arrojó la viabilidad de desarrollar la estructura sobre el cauce para poder brindar una reducción a la acumulación del flujo donde el diseño considere el cálculo específico sobre la estructura con su vertedero de evacuación y el tipo de material como son los de mampostería o concreto armado. En resumen, se finaliza con adaptar el diseño de los diques transversales a las condiciones específicas de pendiente en la quebrada según el análisis obtenido para la retención de los flujos de detritos.

Palabras clave: Flujo, detrito, caudal, quebrada, pendiente.

Abstract

The central theme is the analysis of the transversal dams in the retention of flows in the San Antonio de Pedregal torrent, which is proposed as a solution to large avenues in rainy seasons. The methodology used is considered to have a quantitative approach with a non-experimental design and it could be mentioned that it is transversal. It was based on observing the stream with data collected from real information such as rainfall as well as the infiltration capacity of the soil to see the design of the dams as a container project for debris that flows over the stream. This showed the feasibility of developing the structure on the channel in order to provide a reduction in the accumulation of flow where the design considers the specific calculation on the structure with its evacuation spillway and the type of material such as masonry or reinforced concrete. In summary, it ends with adapting the design of the transverse dikes to the specific slope conditions in the stream according to the analysis obtained for the retention of debris flows.

Keywords: Flow, debris, flow, stream, slope.

Índice General

Resumen.....	1
Abstract	2
Índice General.....	3
Índice de Figuras.....	6
Índice de Tablas	7
Introducción	8
Trayectoria del Autor	11
Descripción de la Empresa.....	11
Organigrama de la Empresa.....	11
Áreas y funciones desempeñadas.....	12
Experiencia profesional realizada en la organización.....	13
Problemática	15
Planteamiento del Problema	15
Determinación del Problema.....	16
Problema General.....	16
Problemas Secundario.....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos específicos	16
Justificación	17

Alcances y limitaciones	17
Marco Teórico.....	20
Antecedentes	20
Bases Teóricas	25
Definición de Términos Básicos.....	32
Propuesta de Solución.....	34
Metodología de la solución.....	34
Desarrollo de la solución	37
Hidrología	37
Características fisiográficas	37
Evaluación de información pluviométrica	39
Modelo hidrológico con HEC – HMS para máximas avenidas.....	43
Factibilidad técnica – operativa	54
Cuadro de Inversión.....	58
Análisis de Resultados	61
Análisis costos - beneficio	61
Beneficios de la implementación	61
Aportes más destacables a la institución.....	64
Conclusiones.....	66
Recomendaciones	69

Referencias..... 71

Anexos 75

Índice de Figuras

Figura 1 Organigrama de la municipalidad	12
Figura 2 Imagen ilustrativa de flujos canalizados y no canalizados	29
Figura 3 Fotografía luego de la ocurrencia de un flujo de detritos	30
Figura 4 Curva hipsométrica de la quebrada Pedregal	36
Figura 5 Histogramas de la Estación Chosica.....	40
Figura 6 Histogramas de la Estación Santa Eulalia	41
Figura 7 Hietograma de la Estación Chosica.....	42
Figura 8 Hietograma de la Estación Santa Eulalia.....	42
Figura 9 Mapa de Isoyetas (TR 100 años) – Relacionada con la Microcuenca Pedregal.....	43
Figura 10 Tipo de poza disipadora.....	50
Figura 11 Distribución espacial de la pendiente de la quebrada Pedregal.....	53
Figura 12 Representación del material aluviónico de la quebrada	54
Figura 13 Árbol de causas y efectos	56
Figura 14 Finalidad del Proyecto.....	57
Figura 15 Síntesis del proyecto.....	57
Figura 16 Modelo de dique transversal en 3D.....	58
Figura 17 Fases de la evaluación de la demanda	59
Figura 18 Fases de proyección.....	60
Figura 19 Proceso de determinación de la población objetivo	62

Índice de Tablas

Tabla 1	Tipos de movimientos en masa.....	26
Tabla 2	Movimientos en masa de tipo flujo.....	27
Tabla 3	Criterios para identificar el tipo de material en flujos	28
Tabla 4	Morfología de la quebrada Pedregal.....	36
Tabla 5	Resumen de los parámetros morfométricos de la microcuenca Pedregal.....	38
Tabla 6	Precipitación máxima en 24 horas, estaciones Chosica y Santa Eulalia	39
Tabla 7	Hietograma adimensionales de tormenta típica 24 horas	44
Tabla 8	Valores adoptado de CN y el cálculo de abstracción inicial.....	46
Tabla 9	Cálculo del tiempo de concentración.....	47
Tabla 10	Cálculo del flujo base	47
Tabla 11	Parámetros de Muskingum	48
Tabla 12	Estimación de caudales líquidos máximos a nivel de la microcuenca Pedregal	49

Introducción

Los diques transversales poseen gran relevancia en el ámbito de la mitigación de riesgos e ingeniería hidráulica, además se prevé que en los años venideros las obras de mitigación poseerán un protagonismo debido a que los eventos climatológicos son más recurrentes. Estas estructuras son diseñadas para controlar y regular los flujos de detritos también llamados huaicos, los cuáles se encuentran en constante activación, de igual manera también desempeñan un papel crítico en la protección contra inundaciones.

A medida que el cambio climático es más evidente, la vulnerabilidad en la población si planificación urbana cada vez es mayor, lo que significa que los desafíos son cada vez más complejos para generar protección y prevención sobre la población expuesta, en ese sentido la utilización y mejora de los diques transversales se convierte en un área de investigación y desarrollo de vital importancia.

Además, los diques transversales son estructuras que se ubican perpendicularmente al flujo, en este caso en el cauce de las quebradas y poseen como objetivo principal garantizar, decantar de manera que los detritos permanezcan captados y solo discurre el flujo sobre el resto de las quebradas. A pesar de su importancia, la eficacia y seguridad de estos diques son temas que requieren una atención continua y una exploración más profunda, debido al mantenimiento que se debe generar. Factores como el cálculo de caudal, la sedimentación, la erosión y la optimización de su diseño son áreas de investigación esenciales para garantizar su funcionamiento efectivo y sostenible sobre las quebradas.

En el ámbito internacional, se generan obras de mitigación para combatir las inundaciones y estos también cambian debido a la orografía que presenta el territorio son llanuras más alargadas

los cuales parten de una diferencia como el caso de los diques en los Países Bajos, el cuál es un proyecto incalculable debido a las vidas que ha protegido.

Los patrones de lluvias estacionales asociadas a ciertas regiones ya no se están cumpliendo debido a la variación de temperaturas que se da en el mundo, esto genera un cambio de patrón en la llegada de las lluvias. Teniendo como base la duración y su intensidad, lo cuales se convierten en factores desencadenantes de los flujos de detritos en distintos puntos de mayores pendientes, es por ello que la variación climática o cambio climático, necesita contar con una adaptación a ese tipo de procesos lo cuales son más venideros.

En Sudamérica países como Chile y Ecuador vienen realizando planes y obras hidráulicas para poder tomar frente a lo devastador que pueden ser los fenómenos naturales, por ejemplo, Chile viene desarrollando e implementando un conjunto de acciones y medidas para la evacuación y drenaje de aguas de lluvias en la ciudad de Antofagasta, así mismo Ecuador viene implementando un Plan de infraestructura verde llamado también defensas vivas.

Nuestro país es sometido a diversos embates de la naturaleza los cuales cobran pérdidas materiales como de vidas humanas y uno de ellos es El Fenómeno El Niño. La cronología de ese fenómeno que poseen una fecha de inicio de 1925 y 1926 considerados como costero, luego solo el fenómeno como tal en 1982 y 1983 afectando de gran manera a Lima Metropolitana, para el año de 1997 y 1998 también nuestro país se vio afectado dejándonos grandes estragos y pérdidas materiales. En el 2014 y 2016, se dio un fenómeno de El Niño en la parte norte de nuestro país, sin embargo no se tenía previsto la llegada del Niño Costero del 2017, donde nuestro país se vio sumido en la desgracia de pérdidas no solo materiales sino también humanas, esta fecha tan cercana dejó en evidencia de que el país no poseía una cultura de prevención, para finalizar, el último año tuvimos un evento climatológico denominado el Ciclón Yacu, el cuál activó quebradas sin

activación de más de 80 años, sin embargo para finales de marzo ya se anunciaba la llegada del Fenómeno del Niño Global.

Ahora, la ocupación poblacional en quebradas es una práctica que se observa en algunas regiones, especialmente en áreas periurbanas, donde las personas construyen viviendas y establecen asentamientos informales a lo largo de las orillas de las quebradas o cauces de ríos. Sin embargo, esta ocupación tiene importantes implicaciones y desafíos para la ingeniería y demás disciplinas.

Las quebradas se caracterizan por ser terrenos accidentados, estos representan un desafío significativo en lo que respecta a la retención de flujo de detritos, es por ello que el propósito del siguiente trabajo recae en el análisis de los diques transversales y la retención.

En la quebrada pedregal se ha generado la colocación de diques transversales y barreras dinámicas, estos generarán la reducción del flujo a lo largo de la quebrada, ayudando a mitigar los mayores impactos que se puedan generar para la llegada del fenómeno del niño global.

Los diques transversales pueden ayudar a reducir significativamente la vulnerabilidad de hogares ubicados en la quebrada, sobre todo de aquellas viviendas que fueron asentadas sin el ordenamiento territorial correspondiente, pero las cuales necesitan la protección de vidas humanas, ya que las inundaciones repentinas acompañadas del flujo de detritos son de impacto severo.

Ahora la importancia de esta aplicación viene acompañada de una planificación y un enfoque integral con más proyectos de recuperación como son, el confinamiento del vaso hidráulico y las defensas vivas.

Trayectoria del Autor

Descripción de la Empresa

El gobierno local de Lurigancho Chosica se constituye como un organismo democrático a nivel local, compuesto por profesionales del sector público con habilidades destacadas, comprometidos con el servicio y sensibles a las necesidades sociales. Su objetivo principal es fomentar el desarrollo total de la comunidad, incentivando una mentalidad emprendedora basada en valores y equidad de género, y ofreciendo servicios de alta calidad en el distrito. Además, busca facilitar la colaboración activa de la población en la administración local.

El gobierno local, busca realizar distintas actividades primordiales como la instalación de nuevos reservorios de agua, barreras dinámicas, encajonamiento de la caja hidráulica de la ribera del río Rímac, todo ello realizado e impulsado por sus distintas Gerencias y Subgerencias.

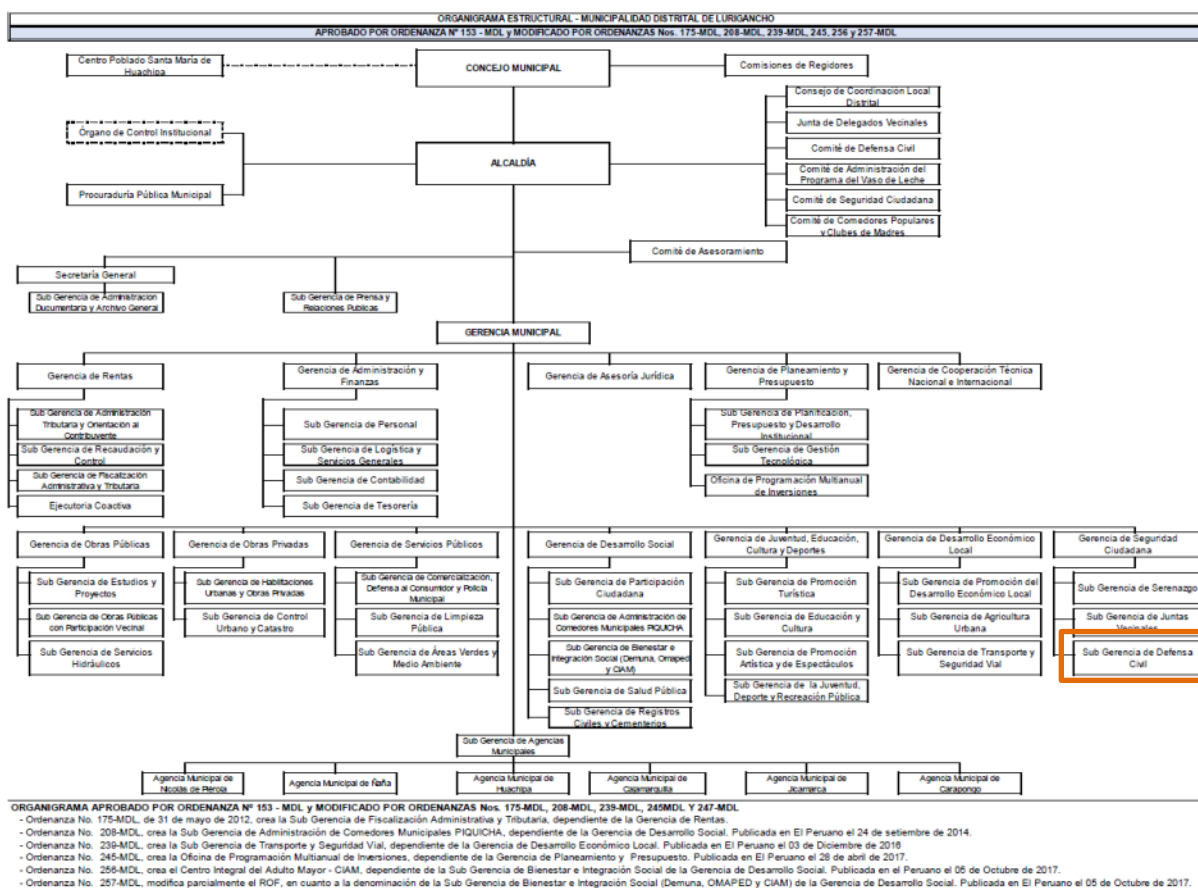
Dentro de la municipalidad, se encuentra el área de Defensa Civil la cual pertenece a la Gerencia de Seguridad Ciudadana, quien generan proyectos de integrales para la mitigación del riesgo, enmarcándose en los componentes de la Gestión del Riesgo de Desastres, como los procesos de dicho componente. Estos procesos, fomentan la captación de financiamiento económico como es el pliego presupuestal PP068, el cuál inyecta capital a los proyectos de Sistemas de Alerta Temprana (SAT), diques transversales, barreras dinámicas y otros.

Organigrama de la Empresa

La municipalidad está conformada por el alcalde distrital y sus respectivos gerentes y subgerentes de cada unidad orgánica, el área de defensa civil es la subgerencia con mayor relevancia que posee el distrito debido a la gran cantidad de eventos climatológicos que posee dicho territorio, en esa área se identifican los problemas presentados por la ocupación en los cauces de quebrada.

Figura 1

Organigrama de la municipalidad



Áreas y funciones desempeñadas

El autor del presente documento es el Gerente General de SERCONTS INGENIEROS SAC, empresa responsables de generar proyectos viales y de gestión del riesgo de desastres, de igual manera se ha desempeñado como coordinador general del área de gestión del riesgo de desastres al igual que subgerente encargado en la Municipalidad Distrital de Carabayllo, Coordinadora de Proyectos en el Gobierno Regional de Madre de Dios, Coordinador General de la Subgerencia Gestión Ambiental de la Municipalidad Metropolitana de Lima, Coordinador GRD de la Subgerencia de Gestión del Riesgo de Desastres de la Municipalidad distrital de Miraflores

y actualmente es Coordinador General de la Subgerencia de defensa Civil de la Municipalidad distrital de Lurigancho - Chosica.

Los cargos antecidos fueron acompañados con los trabajos y asignaciones de formulación de proyectos y ejecución de los mismos, como obras de viales, proyectos de encauzamiento, formulación de expedientes de defensas ribereñas, ejecución de diques y muros de contención y actividades de limpieza y descolmatación.

En la subgerencia de Defensa Civil se viene realizando el análisis de los diques transversales para generar una mayor optimización en los nuevos proyectos que se ejecutarán el siguiente año, ello consta de verificaciones de campo, realización de planes, cálculos de caudales, realización de mapas y modelamiento hidráulico.

Experiencia profesional realizada en la organización

Como rol principal el área creación de proyectos de la Subgerencia de Defensa Civil de Lurigancho Chosica, se viene realizando proyectos de mitigación al igual que los Planes de procesos correctivos y reactivos, estos proyectos son de gran aporte para la población debido a la ubicación geográfica que poseen, por sobre todo el enfoque que se les brinda, que es la mitigación parcial del riesgo.

El presente autor, colaboró en la realización de los mapas que se identifican las quebradas, estos sirven para generar la identificación de los proyectos que se pueden plantear, ya que después de ello se realiza un reconocimiento de campo con el equipo multidisciplinario, constituido por ingenieros geógrafos, geólogos, ambientales y civiles, las cuales realizan los análisis de planteamientos de proyectos que se puede dar de manera preventiva o integral.

Por otro lado, se genera la supervisión de la descolmatación de las quebradas y riberas que se encuentran dentro del distrito, este trabajo es realizado con prontitud debido a las precipitaciones

que se generan en la zona desde los meses finales al quinto mes del año. Todo ello se plantea en fichas de actividades las cuales son validadas por la Autoridad Nacional del Agua, entre otras entidades que contemplen generar alguna intervención.

La experiencia desarrollada en el área de generación, ejecución e investigación de proyectos de inversión mixta en la organización, se consolidan gracias a la preparación y experiencia obtenida a nivel nacional e internacional, finalizando con las iniciativas frente a la coyuntura en la cual se encuentra el país.

Problemática

Planteamiento del Problema

El contexto que se encuentra el continente debido al cambio climático se necesitan obras de mitigación como diques transversales, en las zonas con mayores pendientes, este es un desafío crítico a nivel global, estos diques se proponen como una solución potencial a las avenidas que se vienen presentando con mayor proximidad en gran parte del territorio sudamericano.

También recordar, que a nivel Sudamérica existe una carencia en la comprensión de la efectividad de este tipo de proyectos, debido al mantenimiento que estos necesitan para poder una tener una vida útil acorde al diseño calculado, en ese sentido, resulta vital analizar los diques transversales como obras de mitigación frente a los flujos de detritos.

Asimismo, Zamorano (2015), menciona que, las quebradas con mayores pendientes son más agresivas con la caída de los flujos de detritos, debido a que se genera una aceleración correspondiente a la ubicación geológica y geomorfológica.

Dentro de la GRD existen diversos tipos de problemas y una de ellas es por inundación, donde las quebradas y ríos poseen espacios con ocupación informal, lo que pone en peligro a las personas y a sus viviendas, para luego verse reflejado en daños materiales y pérdidas de vidas. La vulnerabilidad que poseen puede asociarse a los mal llamados desastres naturales. Sin embargo, estos no son naturales ya que son eventos contruidos socialmente, debido a las ocupaciones informales donde se asientan sobre terreno sin planificación urbana. Donde los flujos de detritos llamados también huaicos tienen una presencia continua en la época de lluvias intensas.

De igual manera, Mayor (2022) considera que la colocación de diques transversales genera un gasto superior a las entidades mixtas, debido al mantenimiento que estas deben sostener con la llegada de cada caída de los flujos de detritos.

Determinación del Problema

Problema General

¿En qué medida el análisis de diques transversales influye en la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada de San Antonio de Pedregal?

Problemas Secundario

¿Cómo la geomorfología influye en el análisis de diques transversales para la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada de San Antonio de Pedregal?

¿Cómo influye la velocidad del flujo en el análisis de diques transversales y la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada de San Antonio de Pedregal?

¿Cuál será el volumen proyectado de retención de los diques transversales en la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada de San Antonio de Pedregal?

Objetivo General

Determinar de qué manera el análisis de diques transversales mejora la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada San Antonio de Pedregal.

Objetivos específicos

Modelar la geomorfología en el análisis de diques transversales para la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada de San Antonio de Pedregal.

Calcular la velocidad del flujo en el análisis de diques transversales y la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada de San Antonio de Pedregal.

Obtener el volumen proyectado de retención de los diques transversales en la optimización de retención de los flujos de detritos en la quebrada de San Antonio de Pedregal.

Justificación

Los diques transversales representan una estructura fundamental en la perspectiva de la mitigación y en el ámbito de la ingeniería civil. Por ende, se busca examinar estas construcciones con el objetivo de optimizar la retención que se genere con las precipitaciones. La relevancia práctica de este trabajo radica en su capacidad para abordar la amenaza de caídas de flujos de detritos y terrenos inestables dentro del área de las quebradas, proporcionando así protección a la vida humana y a los bienes o recursos materiales de los habitantes. Además, se complementa el proyecto con la creación de pistas y veredas, mejorando la accesibilidad y beneficiando tanto a los residentes como a aquellos ubicados en centros poblados o asentamientos humanos adyacentes.

El criterio de esta investigación es dar a conocer el análisis que se realizan en los diques transversales para poder generar mejores obras hidráulicas de manera regional, ya que dichos proyectos son generados de manera única en las áreas urbanas con población emergente, sumado a ello se debe mencionar que estos proyectos parte de estudios e informes de evaluación de riesgos planteados por diversos especialistas.

Este proyecto facilita la implementación de medidas de protección contra movimientos de flujos de escombros, como los huaicos, contribuyendo así a resguardar a los habitantes de las quebradas y sus propiedades, y reduciendo el riesgo frente a fenómenos de geodinámica externa. No obstante, debido a las condiciones y características de las viviendas en estas áreas, persiste un riesgo latente para los residentes que ocupan las quebradas de manera informal.

Alcances y limitaciones

Para el CENEPRED, la mejora de la retención de detritos el análisis de diques transversales busca optimizar la capacidad de los diques para retener los detritos transportados por las quebradas, lo que puede ayudar a prevenir inundaciones y daños aguas abajo.

La reducción de riesgos, corresponde a la generación de los diques ya que estos asociados con eventos de flujo de detritos son directamente proporcionales a los deslizamientos de tierra, esto posee una relación ya que, al aumentar la eficacia de la retención de sedimentos y materiales, la población se ve beneficiada.

Para el enfoque de la obra hidráulica la protección estructural se pueden considerar estrategias que minimicen el impacto estructural de los hogares que se encuentren en el eje de las quebradas, pero a su vez el mantenimiento de diques transversales debe estar considerado dentro un plan de actividades de inversión.

Mejora de la gestión de cuencas, en el análisis puede contribuir a una mejor gestión de cuencas hidrográficas al considerar la influencia de factores como la vegetación, la topografía y la geología en el diseño de diques.

La viabilidad técnica sobre la implementación de diques transversales puede no ser viable en todas las ubicaciones a lo largo de las quebradas debido a restricciones técnicas, geológicas o económicas, es por ello que el análisis de estos servirá para futuras obras que se planteen en territorios similares con las características de este proyecto.

Mantenimiento requerido, los diques transversales requieren mantenimiento continuo para garantizar su eficacia a lo largo del tiempo, lo que puede ser costoso y logísticamente desafiante, la revisión sistemática de otros estudios viabiliza la proyección de obras.

Variabilidad de resultados, la efectividad de los diques transversales puede variar según las condiciones hidroclimáticas y geológicas específicas de la región, lo que hace que los resultados sean menos predecibles.

La incertidumbre a nivel científico en algunos casos, la ciencia detrás de la optimización de diques transversales puede estar sujeta a incertidumbres, lo que limita la capacidad de predicción precisa y solo se enfocaría al análisis técnico.

Marco Teórico

Antecedentes

Millán (2018), realizó la investigación donde desarrolló un modelo para representar el huaico de magnitud superior que ocurrió con fecha del primer mes del año el día 16 del 2017, con el fin de analizar el riesgo en la quebrada Los Cóndores Chaclacayo, Lima, Perú. La modelación se realizó utilizando el módulo Debris Flow del software RAMMS (Rapid Mass Movement Simulation), diseñado específicamente para analizar riesgos asociados a flujos de detritos. El elemento clave para el modelo es la obtención de imágenes satelitales, generadas a partir de imágenes capturadas por el satélite PeruSAT-1. La calibración del modelo se realiza utilizando grabaciones visuales del flujo tomadas en el mismo día del evento. Este enfoque de modelación genera la reproducción en cinco situaciones de riesgo en Los Cóndores quebrada de Chaclacayo, los cuales varían en función de las lluvias de mayor duración con una frecuencia repetitiva durante 24 horas. Según los resultados obtenidos, determinó que el modelo RAMMS es adecuada para la modelación de flujos de detritos para la GRD, facilitando la generación de escenarios de riesgo para la gestión de riesgos asociados a este fenómeno

Villasante (2022), llevó a cabo la investigación sobre movimientos en masa en la localidad de Pacsiva la cual se ubica la quebrada Chinchña el cual atribuye la causa a formación de alturas, geomorfología y geología, y los periodos de lluvia donde aumentan el riesgo de estos incidentes. Como partida principal es evaluar el riesgo asociado a los flujos de detritos, lo que se logró mediante la simulación con el programa FLO-2D, utilizando datos topográficos obtenidos con un dron, estudios de suelo, imágenes satelitales y caudales. Los resultados muestran que el 40.85% de la población está en una zona compleja, el 4.23% después de ello riesgo medio y el 22.54% y el 32.38% en niveles bajos. Además, se propuso un conjunto de medidas y/o acciones para mitigar

el impacto en la población y la superficie de cultivo afectada es de 6.22 hectáreas. Para la generación de mapas se utilizó el método SAATY con los parámetros proporcionados por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres CENEPRED (2015).

Adicionalmente, el estudio destacó la importancia de utilizar herramientas de modelado para simular los flujos de detritos y evaluar el riesgo asociado. Los datos topográficos, los estudios de suelo, las imágenes satelitales y las mediciones de caudal proporcionaron información valiosa para el modelado.

Las medidas de mitigación propuestas incluyen la construcción de barreras de contención y muros de retención de detritos, la limpieza periódica de los ríos y cauces cercanos, la promoción de la reforestación para fortalecer la estabilidad del suelo, y la educación sobre el riesgo y la prevención de desastres para la población local.

Cabe destacar que los resultados obtenidos podrían ser útiles para las decisiones que vayan a tomar los responsables o tomadores de decisión. Además, el estudio podría ser utilizado como base para futuras investigaciones sobre la caída de flujo en Pacsica y otras regiones similares.

Maza (2019), realizó un análisis del comportamiento hidráulico del río Piura mediante el uso del software unidimensional HEC-RAS. Este análisis hidráulico comprendió el estudio de la hidráulica del cauce fluvial para descifrar el comportamiento de los flujos de agua y las inundaciones en un área específica, y poder predecirse con cierta precisión. Los pasos para llevar a cabo este análisis incluyeron la recopilación de datos, la preparación de la geometría del canal, la definición de condiciones iniciales y límites, la creación de secciones transversales, el establecimiento de la rugosidad y otras características del flujo, la ejecución del modelo para calcular el perfil de flujo, el análisis de resultados y la interpretación y presentación de los mismos.

Para garantizar la precisión de las predicciones, también se realizó pruebas de precisión hidráulico utilizando datos de campo. HEC-RAS se ha consolidado como una herramienta importante en la ingeniería civil al igual que la hidrogeología para evaluar comportamiento y predecir inundaciones en diferentes escenarios y condiciones.

Montserrat (2005) plantea que, la amenaza de aluviones en Chile se incrementa debido a la pendiente de su territorio y al crecimiento urbano, que resulta en la ocupación de áreas cada vez más propensas a estos eventos. Para abordar esta problemática, se llevó a cabo un estudio experimental, para plantear obras que ayuden a retener flujos.

La instalación experimental consistió en un canal empinado con una compuerta conectada a una cámara de carga, junto con tres cámaras de vídeo para registrar las características del flujo y su interacción con las barreras simuladas. La investigación se enfoca en medir físicamente el fluido ambiente y sus parámetros de rugosidad. Para esto, se emplean parámetros adimensionales como el método de Bagnold y Savage.

Como resultado se señaló que, el movimiento en masa se encuentra en situación de inercia debido a los análisis generados, de manera relevante con el aumento de la concentración de sedimentos finos. Respecto al impacto en las estructuras de retención de flujo, finaliza sobre su efectividad depende de donde se coloca la estructura y de cómo discurrió el flujo. Las estructuras impermeables actúan como retenedores en pendientes moderadas, mientras que las demás retienen temporalmente volúmenes considerables de sedimento.

Las distancias entre infraestructuras emergen como aspecto crucial debido al comportamiento y eficacia que influyen significativamente en la estrategia de control deseada. Futuras investigaciones deberán determinar el espaciamiento óptimo según las condiciones

específicas del terreno y la estrategia de control aluvional deseada, donde, se requiere una mayor profundización.

Aristizábal et al. (2020), realizaron el artículo donde se explora la descripción de las grandes avenidas, los cuales caracterizan la rápida combinación de flujos y escombros hallados en las montañas y todo el cauce. Estos fenómenos provocan tiempos de respuesta extremadamente cortos, requiriendo acciones inmediatas por parte de la población en áreas bajas propensas a inundaciones. Se proporcionan datos relevantes sobre eventos significativos de inundación en Europa y Estados Unidos, así como la vulnerabilidad de las cuencas en Colombia. Además, se enfatiza la diversidad de flujos torrenciales en el entorno colombiano, justificando la necesidad de realizar un análisis más profundo en el país colombiano.

La definición exacta de avenidas torrenciales presenta como un marco de referencia integral a los peligros que estos representan, donde el aumento significativo del volumen de agua en el cauce se debe al transporte de material sólido desde las laderas adyacentes.

La información obtenida indica un índice de mortandad debido a eventos de avenidas torrenciales en Colombia, donde se examina la distribución anual de estos eventos en diversas regiones naturales del país, destacando la influencia de la densidad poblacional en la ocurrencia de flujos torrenciales por región. Se observó que el mayor índice de incidentes está relacionado con avenidas torrenciales.

Los flujos torrenciales descargan sedimentos hacia los drenajes ubicados en las laderas, siendo clasificados según procesos gravitacionales, flujos de escombros y tipos de inundaciones. Se resaltan las clasificaciones específicas de flujos de escombros, que incluyen categorías como flujos no canalizados, cuencas canalizadas y pendientes pronunciadas.

Se desarrolló el análisis comparativo entre diversos flujos torrenciales para clasificar las avenidas torrenciales, diferenciando las inundaciones súbitas originadas por precipitaciones continuas en áreas determinadas como críticas. Se introduce la consideración de flujos no torrenciales, donde, aunque la lluvia antecedente y la humedad del suelo son relevantes, no se requiere la ocurrencia de un evento de lluvia detonante y no está acompañada por una inundación súbita.

Romero (2008), señala que, existen estructuras que se pueden emplear transversalmente en los ríos que permiten contrarrestar la erosión, y se utilizan con frecuencia en proyectos relacionados a la restauración del equilibrio forestal-hidrológico en España. Sus funciones primordiales incluyen el control de retención de materiales sólidos transportados, la estabilización de laderas y cauces torrenciales, así como la reducción de la escorrentía erosiva. Sin embargo, la efectividad de estos diques en la prevención de la erosión ha sido tema de debate en diversos estudios de la época. La finalidad de estas estructuras recae en retener los flujos y sedimentos, se propone una idea que se basa en la obtención de pendientes detalladas. Esta metodología se compara con otras dos existentes, más simples, pero ampliamente utilizadas. El procedimiento se aplica a un tributario en la cuenca del río Corneja, en Tórtolas (Ávila), donde se llevó a cabo estudio en 1965 tras ser proyectada en 1964. Los resultados mostraron que, según la metodología propuesta, las estructuras han logrado contener sedimentos de 237.95 m³ total de volumen, siendo entre un 7.9% y un 30.3% superior a los obtenidos por las otras dos metodologías utilizadas, la función principal de los diques de corrección hidrológica es retener sedimentos y regular el flujo de las crecidas. Sin embargo, los sedimentos atrapados en estos diques ofrecen información valiosa para evaluar la erosión en las cuencas circundantes y calcular tasas correspondientes. Este estudio se centra en el uso de la contención en 425 estructuras transversales ubicados en parte de la

quebrada del río Quipar, un aportante del río Segura con una superficie de 826 km², como herramientas para medir la sedimentación y la erosión. De todas las construcciones generadas por la CHS en 1962 y 1996, se tiene como logró medir el volumen de material acarreado en 378 diques, alcanzando un total de 687,416 toneladas. Se calcularon tasas de erosión para 195 diques, de los cuales se disponía de la información necesaria. Las tasas de erosión mostraron una variabilidad significativa entre diques y subcuencas. El promedio de erosión para la cuenca del río Quipar fue de 4 toneladas por hectárea por año, cifra similar a la obtenida por técnicas batimétricas, pero más baja que la calculada por la USLE. La composición litológica de estas áreas que rodean las obras resulta ser determinantes de sus datos de erosión y, por ende, el tiempo de proyección. Los diques ubicados sobre margas tienden a colmarse y tener una vida útil más corta, mientras que aquellos asentados sobre calizas, sin colmatación y con una vida útil prolongada, destacan por su resistencia a la erosión.

Bases Teóricas

Duque (2022) menciona que, el desplazamiento de rocas y de material no consolidado, causado por acción de la gravedad o por otros agentes geológicos que tienen cierta capacidad erosiva, como el caso del agua, recibe el nombre de movimiento en masa, y entre las principales causas que sirven como detonante donde se tiene a las lluvias, y dependiendo de las condiciones en que suceda este fenómeno se podrían generar amenazas como aludes, avalanchas o flujos.

Tabla 1*Tipos de movimientos en masa*

Fenómeno natural	Clasificación
Movimientos en masa	Deslizamiento de roca o suelo Propagación lateral Reptación Caídas Flujo Volcamiento Deformaciones gravitacionales profundas

Nota. Adaptación de Movimientos en masa en la región andina.

Según diversos autores, los movimientos de grandes materiales de volumen se pueden clasificar con varias opciones, por ejemplo, estos pueden ser clasificados según el tipo de movimiento o según la naturaleza del material, el cual puede ser dividido en rocas y suelos, y estos últimos a su vez pueden subdividirse en detritos o tierra (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Entre los movimientos en masa se tiene el de tipo flujo, el cual se denomina así debido a que la masa que se desplaza adquiere el comportamiento de un fluido, y dependiendo de las condiciones los flujos pueden desplazarse de manera rápida o lentamente, y según el porcentaje de humedad pueden estar saturados o secos (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Tabla 2*Movimientos en masa de tipo flujo*

Clasificación	Subtipo
Flujo	Avalancha de detritos Avalancha de rocas Flujo de detritos Crecida de detritos Deslizamiento por flujo o deslizamiento por Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)

Nota. Adaptación de Movimientos en masa en la región andina.

Respecto a los flujos, Montero (2017) señala que existen diferentes clasificaciones tradicionales que tratan de establecer una clara diferencia entre los flujos. Sin embargo, estas clasificaciones no son útiles al momento de aplicarlas en la práctica, ya que es muy difícil distinguir entre flujo y desplazamiento.

Se entiende que los flujos son movimientos de fluidos que se desplazan por encima de capas bastante rígidas, lo que significa que bajo este concepto cualquier profesional que estudie los flujos va a poder diferenciar la acción del suelo (Hung et al., 2001). Por tal razón, es preferible utilizar el término “movimientos de detritos del tipo flujo” cuando se quiere hacer referencia a los flujos (Hutchinson, 1989).

Así mismo, Hung et al. (2001) menciona que, no es conveniente seguir utilizando el criterio del tamaño de las partículas para determinar el tipo de material relacionado con los flujos, ya que clasificarlos en rocas, detritos o tierras, además de carecer de fundamento, resulta ineficaz al momento de identificar el tipo de material en campo por lo tanto, según Montero (2017) resulta más conveniente clasificar a los materiales considerando su origen geológico y comportamiento geotécnico en los deslizamientos.

Tabla 3*Criteria para identificar el tipo de material en flujos*

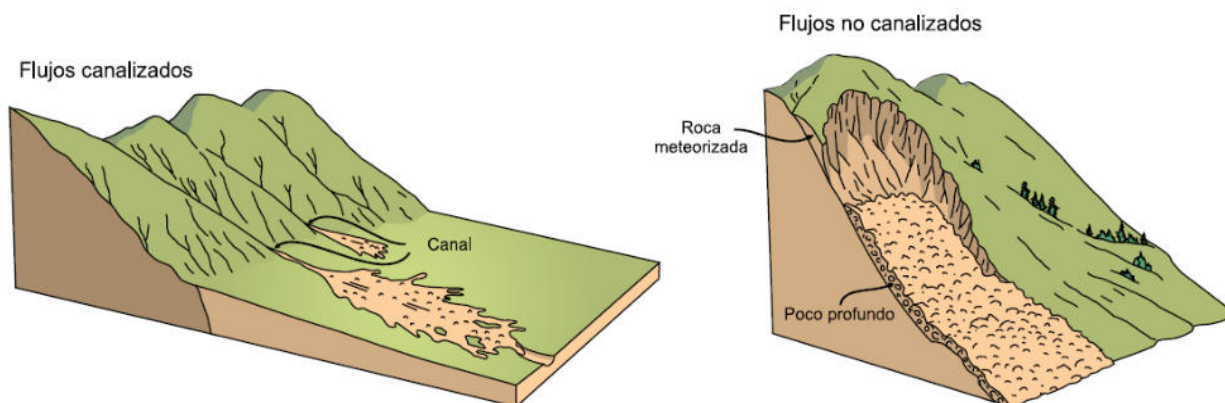
Origen	Carácter	Condición	Nombre
Clasificado (marino, lacustre, fluvial, volcánico, antropogénico)	No cohesivo (LP < 5 %)	Seco o saturado	Grava, arena, limo
	Cohesivo (LP > 5 %)	Plástico (IL < 0,5) Líquido (IL > 0,5)	Arcilla Arcilla sensitiva
No clasificado (residual, glacial, volcánico, antropogénico)	No cohesivo (LP < 5 %)	Seco o saturado	Detritos
	Cohesivo (LP < 5 %)	Plástico (IL < 0,5) Líquido (IL > 0,5)	Tierra Lodo
Turba	Orgánico	Saturado	Turba
Roca	Fragmentado	Seco o saturado	Roca

Nota. Tomado de A review of the classification of landslides of the flow type, por Hungr et al. (2001).

Cabe aclarar que la capacidad destructiva que tiene cada uno de los tipos de flujo no es la misma, por lo tanto, resulta indispensable poder distinguirlos en la práctica, ya que esto resultará beneficioso al momento de realizar el análisis de la amenaza que representa cada uno de estos fenómenos naturales, según el área donde ocurra. En el caso del flujo de detritos se debe tener bien claro su concepto, ya que muchas veces se suele confundir con una “avalancha de detritos”, siendo que el primero se caracteriza por desplazarse siguiendo un camino preestablecido, mientras que el segundo no necesariamente tiene que seguir un camino preestablecido, sino que puede desplazarse sobre áreas abiertas que poseen una pendiente pronunciada (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

Figura 2

Imagen ilustrativa de flujos canalizados y no canalizados



Nota. Tomado de Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas.

Así mismo se suele confundir al flujo de detritos con una “crecida de detritos”, siendo que el primero se caracteriza por tener un mayor poder destructivo que el segundo, ya que este último presenta una mayor carga de agua (Hunggr, 2005).

En ese sentido, el flujo de detritos puede definirse como una masa en movimiento, saturada de agua, donde el material sólido representa más del 50% del volumen y puede estar conformado por partículas muy pequeñas como las arcillas hasta por partículas de gran tamaño como rocas, también puede entenderse por flujo de detritos a aquella masa compuesta por rocas, sedimentos, agua y gases que se desplaza descendiendo por una pendiente debido a la fuerza de la gravedad (Sepúlveda, 1998).

Figura 3

Fotografía luego de la ocurrencia de un flujo de detritos



Nota. Tomado de Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas.

De acuerdo con Soncco et al. (2023), los flujos de detritos (huaycos) se generan principalmente por la ocurrencia de lluvias torrenciales, y si se cumplen ciertas condiciones, como la ocurrencia de estos eventos en quebradas, el agua empezará a discurrir desde la parte más alta de la cuenca y en su recorrido irá transportando partículas de diversos tamaños hasta depositarlas en las partes bajas (Bateman et al., 2007).

Al respecto, Sepúlveda et al. (2016) señala que, de los movimientos en masa aquel denominado flujo de detrito es uno de los más perjudiciales a nivel global, ya que estos fenómenos naturales representan una amenaza para población mal asentada en partes bajas de zonas montañosas o de laderas con alta pendiente.

Los diques transversales o también llamados diques de retención, debido a la capacidad que tienen para retener partículas sueltas originadas por el agua como factor erosionante, son

estructuras que ayudan a restaurar el equilibrio hidrológico-forestal en aquellas zonas donde por acción del hombre ha aumentado la probabilidad de que ocurran desbordamientos e inundaciones en las partes bajas de una determinada cuenca (Conesa, 2004).

Se debe precisar que la función de este tipo de estructuras no es retener o embalsar agua, ya que estas estructuras tienen como finalidad responder a situaciones que impliquen la retención de sedimentos (Conesa, 2004).

FLO-2D (2018), a través de pequeños mosaicos, asignando posiciones de elevación, cotas de terreno y un coeficiente de rugosidad (n de Manning). Este enfoque se centra en elementos uniformes en forma de cuadrículas y el método determina el flujo de tierra mediante el cálculo de la carga a través de ocho direcciones posibles, que incluyen tanto las cuatro posiciones cardinales como las diagonales.

INGEMET (2020) considera que, los peligros geológicos se deben analizar de manera particular donde se incluyan las caracterizaciones de una zona evaluada específicamente el comportamiento geodinámico, al igual que las erosiones fluviales para determinar el nivel de peligrosidad y con ello realizar propuestas con un carácter económico.

Mejía (2012) destaca que las cuencas hidrográficas presentan atributos físicos y operativos específicos que definen la naturaleza del cauce del agua. Estos factores relativos de la cuenca hidrográfica resultan cruciales para la disciplina de la hidrología en la región. Asimismo, este conocimiento desempeña un papel fundamental en el análisis del riesgo asociado al flujo de detritos en una cuenca hidrográfica, dado que dicho flujo sigue la misma trayectoria que los cauces de agua.

Definición de Términos Básicos

Dique transversal: Se refiere a una estructura o barrera construida perpendicularmente al caudal del flujo como masa líquida, como puede ser un río o arroyo. Este tipo de dique es utilizado para desviar, controlar o regular la corriente de agua, con el fin de prevenir inundaciones, controlar la sedimentación o mejorar la navegación. El principal propósito de un dique transversal es alterar el movimiento natural del agua, redistribuyendo su energía y modificando las condiciones hidráulicas en la zona. Estos diques son construidos con una variedad de materiales como hormigón, madera, piedra o tierra, y pueden tener diferentes formas y tamaños según su propósito específico.

Geomorfología de cuencas hidrográficas: La geomorfología de una cuenca hidrográfica influye en el comportamiento de los movimientos en masa que pueden ocurrir en la zona. Esta base teórica podría incluir conceptos sobre la topografía, la geología, la hidrología y la dinámica de los procesos fluviales.

Riesgo de desastres y vulnerabilidad: La evaluación del riesgo es fundamental para establecer medidas de remediación en desastres, para ello es necesario evaluar cultura de prevención e identificar los factores de exposición y los riesgos asociados a los flujos de detritos.

Cambio climático: el cambio climático es un factor que tiene un impacto significativo en los flujos de detritos y otros fenómenos geológicos. Esta base teórica incluiría temas como la sinergia en los cambios climáticos y los ciclos hidrológicos, la continuidad creciente de las lluvias en eventos atípicos.

Modelado matemático: Los modelos matemáticos, incluyendo los modelos de simulación, pueden ser herramientas valiosas para predecir, evaluar y mitigar el riesgo de desastres de flujos

de detritos. Esta base teórica podría incluir temas como la teoría de modelado, los métodos numéricos, la visualización de datos y los análisis estadísticos.

Flujo de detritos: Es un término que describe un tipo de movimiento en masa que involucra la rápida y peligrosa descarga de materiales sueltos, como lodo, rocas, suelo y agua, que ocurre en laderas empinadas, especialmente en áreas montañosas. Este evento puede ser desencadenado por factores como lluvias intensas, deshielo repentino, erupciones volcánicas, entre otros. La velocidad, viscosidad y volumen del flujo de detritos puede variar, y se clasifica en subtipos como la avalancha de escombros y el lahar. Estos eventos pueden tener consecuencias graves como destrucción de infraestructuras, pérdida de vidas y alteración del paisaje. Es importante evaluar cuidadosamente áreas propensas a este fenómeno y tomar medidas preventivas para minimizar el riesgo asociado.

Cuenca: Según la RAE el término cuenca hace referencia a aquella superficie sobre la cual discurren corrientes de agua que luego convergen en un mismo punto.

Cuenca hidrográfica: Es el término cuenca hidrográfica hace referencia a toda la superficie que es drenada por un río o una red de ríos que convergen en un punto de salida, conocido como punto de desfogue.

Propuesta de Solución

A medida que aumenta la frecuencia de intensidad pluvial, la gestión de los riesgos de desastres se torna crucial, como se evidenció durante el último evento de El Niño Costero en 2017 en los cauces que desembocan en todo Lurigancho. Por lo que es imperativo generar enfoques adecuados para el desarrollo integral de la mitigación, con el fin de hacer frente a los peligros derivados de las intensas lluvias, es por ello que se genera el análisis de los diques en la quebrada San Antonio de Pedregal.

El flujo de detritos representa un riesgo catastrófico en áreas con demasiadas pendientes y con ocupación informal como Lurigancho. La evaluación del riesgo asociado con este flujo es fundamental para mitigar los impactos negativos de tales fenómenos. La base de esta propuesta de solución radica en el análisis del peligro, que aborda la erosión, movilización del flujo y deposición vinculados a los huaicos, habiendo investigado previamente estos aspectos (Takahashi, 2015). Las investigaciones consideran las distintas variables para poder determinar en base de datos de información como los suelos y demás interferencias que ayuden a mejorar las áreas afectadas (Chen y Zhang, 2015).

Metodología de la solución

El término método hace referencia a los pasos o camino que sigue una persona para responder de manera lógica, y objetivamente, a las interrogantes que surgen como resultado de la necesidad de encontrar respuestas a un determinado problema, mientras se analicen ciertas soluciones que se utilizan en las diferentes investigaciones (Baena, 2017). Esta aclaración de conceptos es necesaria ya que muchos autores no explican con claridad la diferencia entre metodología y método (Gallardo, 2017).

Según Perico et al. (2020) los métodos que se elaboran para desarrollar las investigaciones científicas pueden ser de carácter cuantitativo o cualitativo, y de acuerdo con Cerda (2005) el método cuantitativo es utilizado para desarrollar investigaciones donde las variables en estudio son medibles.

La forma en la cual se lleve el desarrollo de la investigación, esta se puede clasificar como una investigación de nivel descriptivo, llamado así porque el objetivo principal de la investigación es caracterizar el hecho o fenómeno en estudio (Guffante et al., 2016), tal como en el presente trabajo.

Respecto al diseño de la investigación, esta puede ser de carácter experimental si se produce la manipulación de variables (Guffante et al., 2016), por lo tanto, el diseño de la investigación es cuantitativa ya que se realizó el análisis del dique sobre el comportamiento de los detritos en movimiento.

La metodología usada fue la de modelizaciones existentes y nuevas generaciones con datos obtenidos en los últimos periodos de lluvias con activación de la quebrada la cual aborda las visitas en campo donde inicia el flujo en todas sus avenidas. Se consideraron hidrogramas predefinidos, creados a partir de históricos como base fuente.

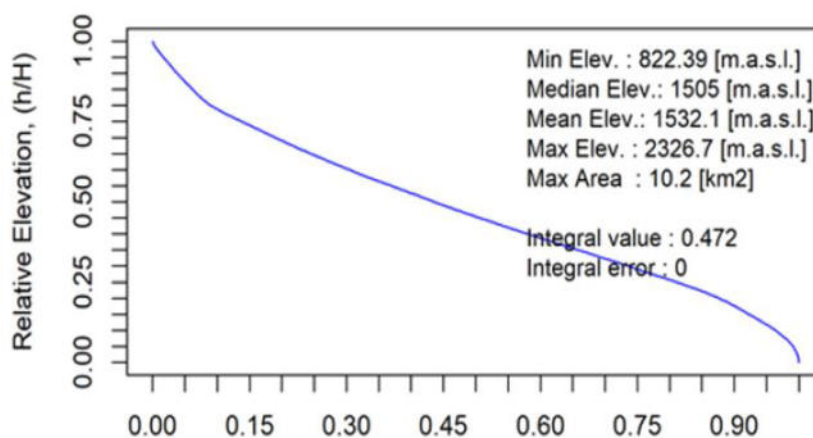
La quebrada San Antonio, también conocida como pedregal que desemboca en el río Rímac, tiene área de drenaje de 10,3 km², a nivel de perímetro 18,5 km y una altura distinta como unos 1504.6 m.

Tabla 4*Morfología de la quebrada Pedregal*

Parámetros		Parámetros de forma			Parámetros de relieve			Índice hipsométrico		
A (km ²)	P (km)	DA (m)	Cg	Lre (km)	Lre (km)	L (km)	J (%)	J (%)	Altitudinal (IHA)	Área (IHa)
10.29	18.54	1503.31	1.62	8.07	1.28	5.64	14.73	50.34	0.85	0.46

Nota. Elaboración de SENAMHI

Se realizó la curva hipsométrica, que representa la relación entre el área de drenaje y la altitud (Figura 4), se ha identificado que más del 80% del área de drenaje se sitúa en los 1197,5 sobre el nivel del mar. Además, se ha calculado la hipsometría (Areal) de 0,87 (0,47). Estos hallazgos sugieren que la cuenca exhibe características erosivas, con drenajes significativos, lo que posiblemente se traduzca en una elevada capacidad de carga, especialmente durante periodos de avenidas. Además, es probable que esta subcuenca se caracterice en los procesos geomorfológicos, así como el desgaste y erosión de los puntos ya identificados.

Figura 4*Curva hipsométrica de la quebrada Pedregal*

Nota. Elaboración SENAMHI

Desarrollo de la solución

Para el desarrollo del proyecto se ha requerido diversos estudios básicos los que se listan a continuación:

Hidrología

La microcuenca de la quebrada Pedregal pertenece geográficamente a la vertiente del pacífico y tiene sus límites por el norte con la subcuenca Huaycoloro, por el este con las microcuencas, Cachahuacra, Rayito de Sol, Libertad y Carosio, por el oeste con la microcuenca Quirio y desemboca por el sur al río Rímac. La quebrada tiene una longitud de 5.97 km y va desde los 832.3 hasta 2005 msnm. La microcuenca Pedregal comprende un área de 10.35 km² y un perímetro de 14.78 km, en la actualidad existe un cauce como parte del cono de deyección que llega directo al río Rímac. Esta quebrada por lo general es seca y se activa solo en épocas de lluvias de gran intensidad.

Características fisiográficas

La relación entre la hidrología y los patrones de una cuenca son directamente proporcionales o muy estrechos, lo que hace que conocer estas características sea muy útil. Al comparar esta información con datos hidrológicos conocidos, se pueden estimar valores hidrológicos en secciones de interés. Para este propósito, se utilizó la información de las cartas del Instituto Geográfico Nacional a escala 1/100 000. En las próximas líneas se describen las características fisiográficas y se explica cómo estimarlas.

Tabla 5*Resumen de los parámetros morfométricos de la microcuenca Pedregal*

Parámetro		Unidad	Cantidad	
Parámetros de forma	Área de la cuenca (A)	Km ²	10.29	
	Perímetro de la cuenca (P)	km	14.78	
	Longitud del cauce principal (L)	km	5.97	
	Longitud total de cauces	km	9.13	
	Longitud de la cuenca (Lc)	km	5.80	
	Ancho promedio de la cuenca (Ap)	km	1.73	
	Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius (Kc)	Adimensional	1.30	
	Factor de forma (Ff)	Adimensional	0.29	
	Rectángulo equivalente (RE)	Lado Mayor (L)	Km	5.59
		Lado Menor (l)	Km	1.85
Parámetros de relieve	Cota máxima	Msnm	2320.77	
	Cota mínima	Msnm	832.30	
	Desnivel máximo	m	1488.47	
	Pendiente media de la cuenca	m/m	0.55	
	Elevación media de la cuenca	msnm	1528.16	
Parámetros de la red hidrográfica	Número de orden de los ríos	-	2.00	
	Densidad de drenaje (Dd)	Adimensional	0.88	
	Extensión media del escurrimiento superficial	km ² /km	1.13	
	Tiempo de concentración	Horas	0.49	

Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia

Evaluación de información pluviométrica

Análisis de precipitación máxima en 24 horas

Se obtuvo información de precipitaciones máximas diarias mensualizadas provenientes del SENAMHI. En el estudio hidrológico de Formulación de Los Proyectos de Control de Inundaciones y Movimientos de Masas. En la Cuenca del Río Rímac usó información de 21 estaciones dentro de la cuenca, así como en zonas aledañas, dicho estudio sirvió como referencia para desarrollar este capítulo. Para la microcuenca Pedregal, las estaciones pluviométricas más influyentes son la estación de Chosica y Santa Eulalia. En la Tabla 6 se muestra las precipitaciones máximas anuales de las estaciones Chosica y Santa Eulalia.

Tabla 6

Precipitación máxima en 24 horas, estaciones Chosica y Santa Eulalia

Año	Chosica	Santa Eulalia	Año	Chosica	Santa Eulalia
	867 msnm	958 msnm		867 msnm	958 msnm
1964		5.4	1993	2.4	2
1965		15.3	1994	16	13.5
1966		26	1995	3	3.8
1967		29.8	1996	5.8	4.5
1968		3	1997		4.9
1969		10.6	1998		6
1970		30.8	1999	6.5	14.7
1971		14.5	2000	6	6.4
1972		20	2001	5.2	8
1973		19.2	2002	30.7	25.9
1974		6	2003	2.8	16.8
1975		14.5	2004	1.6	2.5
1976		30	2005	1.2	1.5
1977		8	2006	5.6	7.8
1978		6.8	2007	7.7	4.1
1979		10	2008	4	5.3
1980		10	2009	8	11.2
1981		10	2010	0.8	3.8
1982		6.3	2011	5.7	5
1983		10.2	2012		9.5
1984		10.5	2013	2.3	8.5
1985		0.4	2014	6.2	3.5

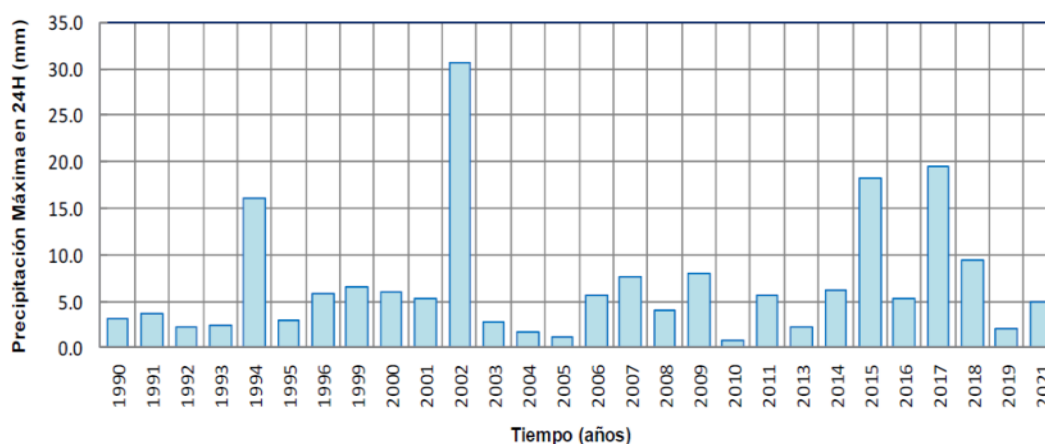
1986		2	2015	18.3	17.2
1987		36	2016	5.3	5.5
1988		9.7	2017	19.5	21.6
1989		27.6	2018	9.4	9.8
1990	3.2	6.5	2019	2	5.8
1991	3.7	3	2020		
1992	2.3	0.5	2021	5	5.4

Nota. Estudio Hidrológico - Elaboración propia

En los siguientes gráficos se muestra la información disponible en cada uno de las estaciones.

Figura 5

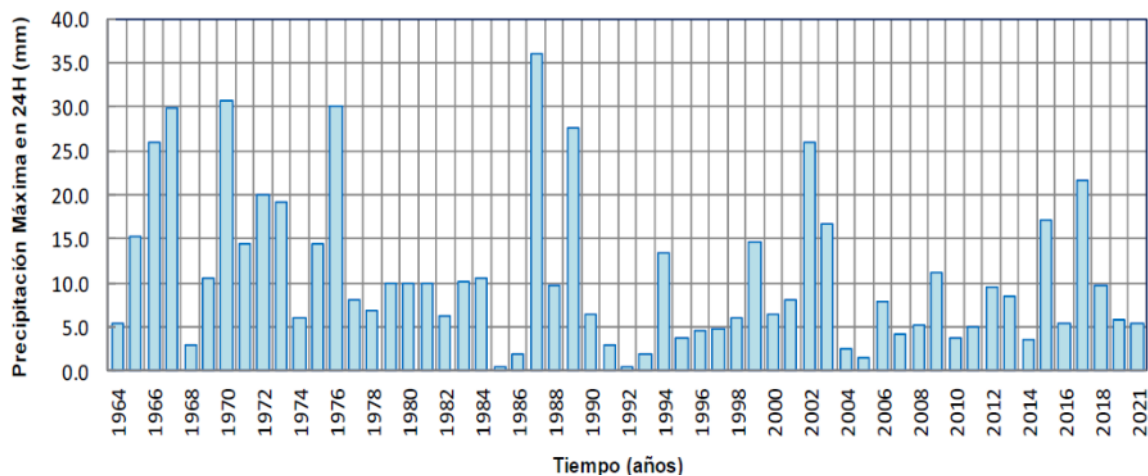
Histogramas de la Estación Chosica



Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia.

Figura 6

Histogramas de la Estación Santa Eulalia

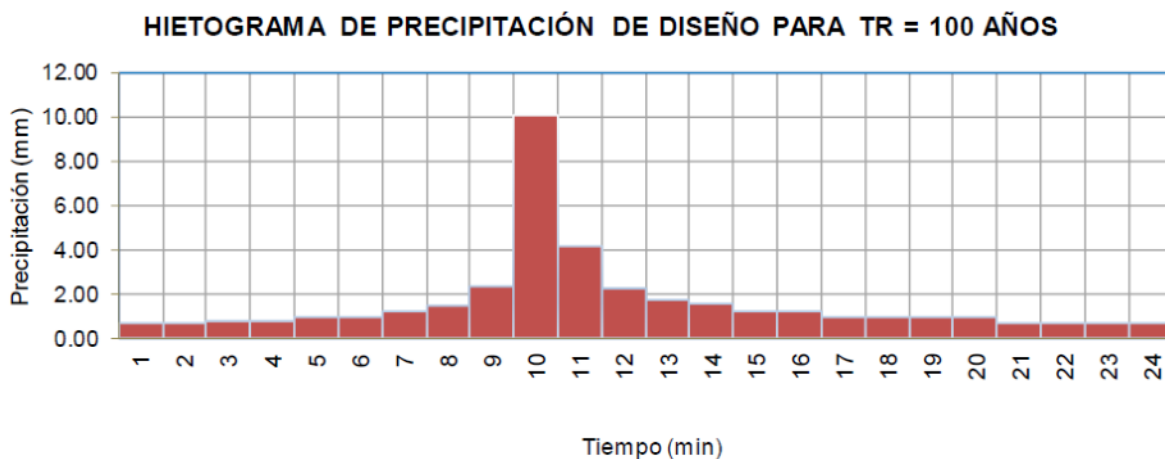
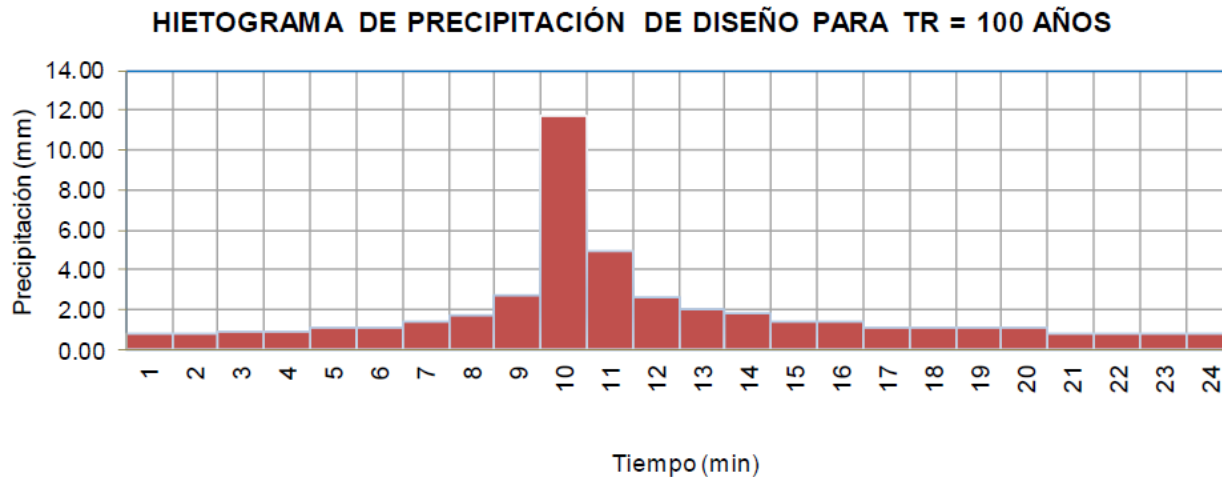


Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia.

El estudio hidrológico para las estaciones de Chosica y Santa Eulalia, se generó los hietogramas a diferentes periodos de retorno, como tal, el estudio hidrológico determina que en la Estación Santa Eulalia en el año 1985 se encuentra un dato dudoso, el cual no ha sido considerado para los análisis siguientes.

Generación de hietograma a diferentes periodos de retorno

Con los ajustes de distribución de probabilidad realizados a la información de cada una de las estaciones y la prueba de bondad de Ajustes, para verificar el nivel de grado de concordancia de la distribución de un conjunto de datos de una estación determinada, se generaron los hietogramas a diferentes periodos de retorno. En los gráficos siguientes se muestran los gráficos de hietograma de cada estación para un periodo de retorno de 100 años.

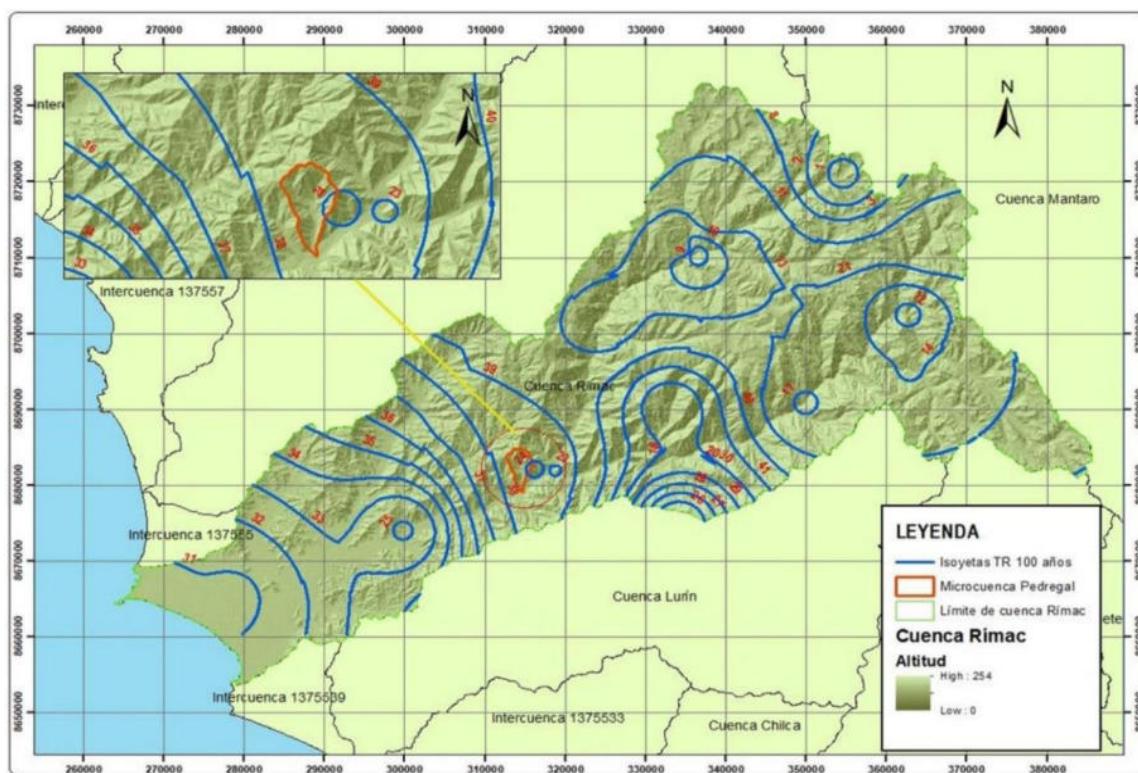
Figura 7*Hietograma de la Estación Chosica**Nota.* Estudio Hidrológico. Elaboración propia.**Figura 8***Hietograma de la Estación Santa Eulalia**Nota.* Estudio Hidrológico. Elaboración propia**Distribución de las precipitaciones máximas diarias**

La distribución y cálculo de las precipitaciones máximas a 24 horas en cada subcuenca se realizó por el método de isoyetas, para diferentes periodos de retorno. A continuación, se muestran las imágenes de las isoyetas generadas para toda la cuenca tomada del Estudio de Hidrología de la

formulación de los proyectos de control de inundaciones y movimientos de masas en la cuenca del río Rímac, donde se puede apreciar también a la microcuenca Pedregal.

Figura 9

Mapa de Isoyetas (TR 100 años) – Relacionada con la Microcuenca Pedregal



Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia

Modelo hidrológico con HEC – HMS para máximas avenidas

En el estudio Hidrológico se ha tenido en cuenta la incidencia del Cambio Climático, la modelación hidrológica se ha realizado, conservando los parámetros hidrológicos utilizados para la etapa de calibración. Con respecto a los datos de precipitación, se ha realizado un incremento de 6.78% a las precipitaciones máximas de 24 horas, para diversos periodos de retorno.

Determinación de hietogramas

Con la información de la precipitación máxima de 24 horas, se procede a realizar la generación de los hietogramas de diseño. Para tal fin, se utiliza como referencia el patrón de comportamiento de la lluvia determinado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1986). Los factores de los diversos tipos de precipitaciones se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 7

Hietograma adimensionales de tormenta típica 24 horas

Tiempo (h)	t/24	Factores adimensionales P_t/P_{24}			
		Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.000	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020
4.000	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043
6.000	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072
7.000	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089
8.000	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115
8.500	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130
9.000	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148
9.500	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167
9.800	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178
10.000	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189
10.500	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216
11.000	0.458	0.624	0.624	0.235	0.250
11.500	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298
11.800	0.490	0.669	0.655	0.357	0.339
12.000	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500
12.500	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702
13.000	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751
13.500	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785
14.000	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811
16.000	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886
20.000	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957
24.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Nota. Estudio Hidrológico. Adaptado de la Información de SENAMHI.

Determinación del Número de Curva

Se calcula con base a la condición hidrológica, grupo hidrológico, tasa de infiltración, condición de humedad antecedente, los cuales son desarrollados en el estudio hidrológico de la microcuenca Pedregal.

El estudio hidrológico de la cuenca Pedregal indica que, los datos del CN en cada una de las microcuencas, se ha tomado como referencia principal, el rango de valores que propone la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Estos valores de Número de Curva se calcularon por el método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) descrito en el estudio hidrológico. Para el caso de la cuenca en estudio, se tomó los rangos en condiciones medias. En la Tabla siguiente se observa los valores de CN y el cálculo de retención potencial máxima (S) y la abstracción inicial (Ia).

Tabla 8

Valores adoptado de CN y el cálculo de abstracción inicial

Microcuenca	Área (km²)	CN	S (mm)	Ia
M1	2.67	80.86	60.12	12.02
M2	3.56	80.86	60.12	12.02
M3	4.14	80.86	60.12	12.02

Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia

Transformación lluvia - escorrentía

Consiste en que el exceso de precipitación en la subcuenca conlleva a escorrentía directa en la salida. Tiene disponible los métodos agregados y distribuidos. En el método agregado, la escorrentía es determinada usando hidrogramas unitarios tales como: Clark, Snyder o SCS o métodos de onda cinemática.

Tiempo de retardo: El estudio hidrológico de la microcuenca Pedregal, realiza el cálculo del tiempo de concentración en la microcuenca, con los siguientes resultados.

Tabla 9*Cálculo del tiempo de concentración*

Código de Cuenca	Área (km ²)	Parámetros del río					Tiempo de concentración (Horas)			Tiempo de retardo
		Cota mín.	Cota Máx.	Longitud del río (km)	Dh	Pendiente (m/m)	Kirpich	Bransby Williams	Promedio	Tr (min)
M1	2.67	1183.12	2005.22	2.78	822.10	0.296	0.23	0.78	30.40	18.24
M2	3.56	1183.12	1795.12	2.07	612.00	0.296	0.18	0.57	22.50	13.50
M3	4.14	832.30	1183.12	3.19	350.82	0.110	0.38	1.05	42.73	25.64

Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia**Método de flujo base**

El estudio hidrológico, mediante el método de Recesión Constante, presenta el cálculo del flujo base, el cual se muestra en la

Tabla 10*Cálculo del flujo base*

Microcuenca	Área (km ²)	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesión)	Q inflexión (Threshold Q)
M1	2.67	0.60	0.85	0.0123
M2	3.56	0.60	0.85	0.0164
M3	4.14	0.60	0.85	0.0190

Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia

Tránsito del Cauce

El tránsito en cauces permite conocer el movimiento del flujo en el tramo del cauce desde la entra en la subcuenca hasta la salida de la cuenca. Las opciones para el tránsito son: Muskingum, el Pulso Modificado, la Onda Cinemática y el método de Muskingum-Cunge.

El estudio hidrológico se desarrolla en tránsito del cauce con el método de Muskingum, cuyos parámetros se muestran a continuación.

Tabla 11

Parámetros de Muskingum

Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	ΔT (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Muskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R1	4.00	3190.00	797.50	900	Muskingum	1.00	0.22	0.20

Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia

Resultados del modelamiento

Luego del ingreso de los datos al modelo, se ha procedido a realizar las corridas correspondientes para el periodo de retorno de 100 años.

Los resultados de la estimación de caudales líquidos máximos a nivel de la microcuenca Pedregal para un periodo de retorno de 100 años es de 29 m³/s, en tanto el caudal considerando caudal sólido es de 14.5 m³/s, con el cual se tiene un caudal total (flujos hiperconcentrados) de 43.5 m³/s.

Tabla 12

Estimación de caudales líquidos máximos a nivel de la microcuenca Pedregal

Microcuenca	Desembocadura río	Margen	Distrito	Caudal T=100 años (m ³ /s)		
				Caudal líquido	Caudal sólido	Total (líquido + sólido)
R1	4.00	Derecha	Lurigancho	29.0	14.5	43.5

Nota. Estudio Hidrológico. Elaboración propia

Diseño del dique

Donde se analizó la colocación del dique, se genera una idea clara para poder determinar la capacidad de retención que este se puede dar.

En primer lugar, es la ubicación debido a la pendiente donde las condiciones topográficas faciliten la realización de la estructura y esta pueda generar la mitigación esta se encuentra aguas arribas, considerando una altura de 6 metros partiendo del terreno natural usando diseños de desarrollo de diques, donde se encargue de generar la captación de la gran cantidad de detritos.

Ubicación del dique

Según el sistema UTM, el dique se ubica en las coordenadas 31,4761 E y 8,681,052 N.

Cálculo del aliviadero

La capacidad del rebose y su capacidad escurrimiento debe soportar la cantidad que se diseñe de acuerdo a la gran cantidad de material saturado que discurre por la quebrada, este se colocará en el centro de la corona de la estructura en la misma posición del eje del cauce natural de la quebrada donde:

$$H = \frac{Q^{2/3}}{CdxL}$$

Donde:

H : Tirante (m)

Q : Caudal de descarga (m³/s)

Cd : Coeficiente de descarga

L : Longitud de vertedero (m)

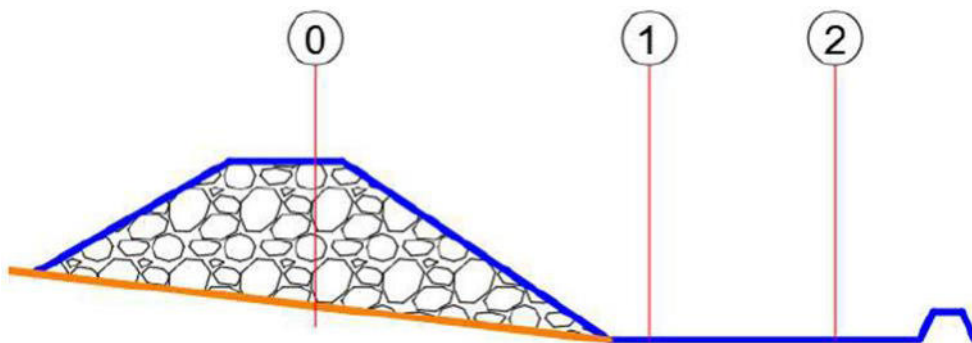
Para el caso del vertedero se tomó como altura 1.50 m.

Cálculo de la poza

Se presenta la idea de la poza disipadora para contener el resalto hidráulico planteado para la optimización de las posibles afectaciones aguas abajo.

Figura 10

Tipo de poza disipadora



Nota. Elaboración propia

$$Q = Cd \cdot L \cdot H^{3/2}$$

Donde:

Q : Caudal de descarga (m³/s)

Cd : 1.57

L : Ancho de vertedero (m)

H : Altura sobre el vertedero (m)

Donde se asume los valores porcentuales en un margen 11%.

Estructura del dique

El dique presenta una longitud de 35.00 metros y una anchura de corona de 1.50 metros. Escalonado aguas abajo. Su altura en el punto central, donde se encuentra el aliviadero, es de 34.50 metros, mientras que hacia los aleros alcanza los 35.00 metros. La construcción está realizada con concreto. En el lado aguas arriba, el dique es recto, y en el lado aguas abajo presenta un talud de 1:0.5, culminando en una poza de disipación de 3.0 metros de longitud y 8.0 metros de ancho con una profundidad de 0.50 metros.

La elevación máxima del vertedero de demasías se sitúa a 1083 metros sobre el nivel del mar, permitiendo la retención de un volumen equivalente a 313.97 metros cúbicos.

La pendiente compensada se dio con "Manual de Diseño de Estructuras de Corrección de Torrentes y Retención de Sedimentos" (Morasutti, 2016).

$$S_c = 0.65 S_o$$

Para los esfuerzos cortantes se tiene como partida.

$$\tau = \gamma Y S$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante actuante

γ : Peso específico del agua

Y : Tirante actuante

S : Pendiente del tramo

Volumen de detritos

Para poder determinar una ecuación definitiva aún no es clara ya que esta sería una ecuación dinámica es por ello que se usó el cálculo de Sedimentos de Takahashi (Takahashi, 1991) donde se prima la precipitación total de los volúmenes ya encontrados donde según el autor se describe a continuación:

$$V = 100 * R_t * A * F_r (C_d / C^* - C_d)$$

Donde:

- V : Volumen de lodo y piedras (m^3)
- R_t : Precipitación total durante la descarga de flujo de lodo y de piedras (mm)
- A : Área de la cuenca (km^2)
- F_r : Coeficiente de Escorrentía
- C_d : Densidad volumétrica del flujo de lodo y piedras
- C^* : Densidad volumétrica máxima del flujo de lodo y piedras

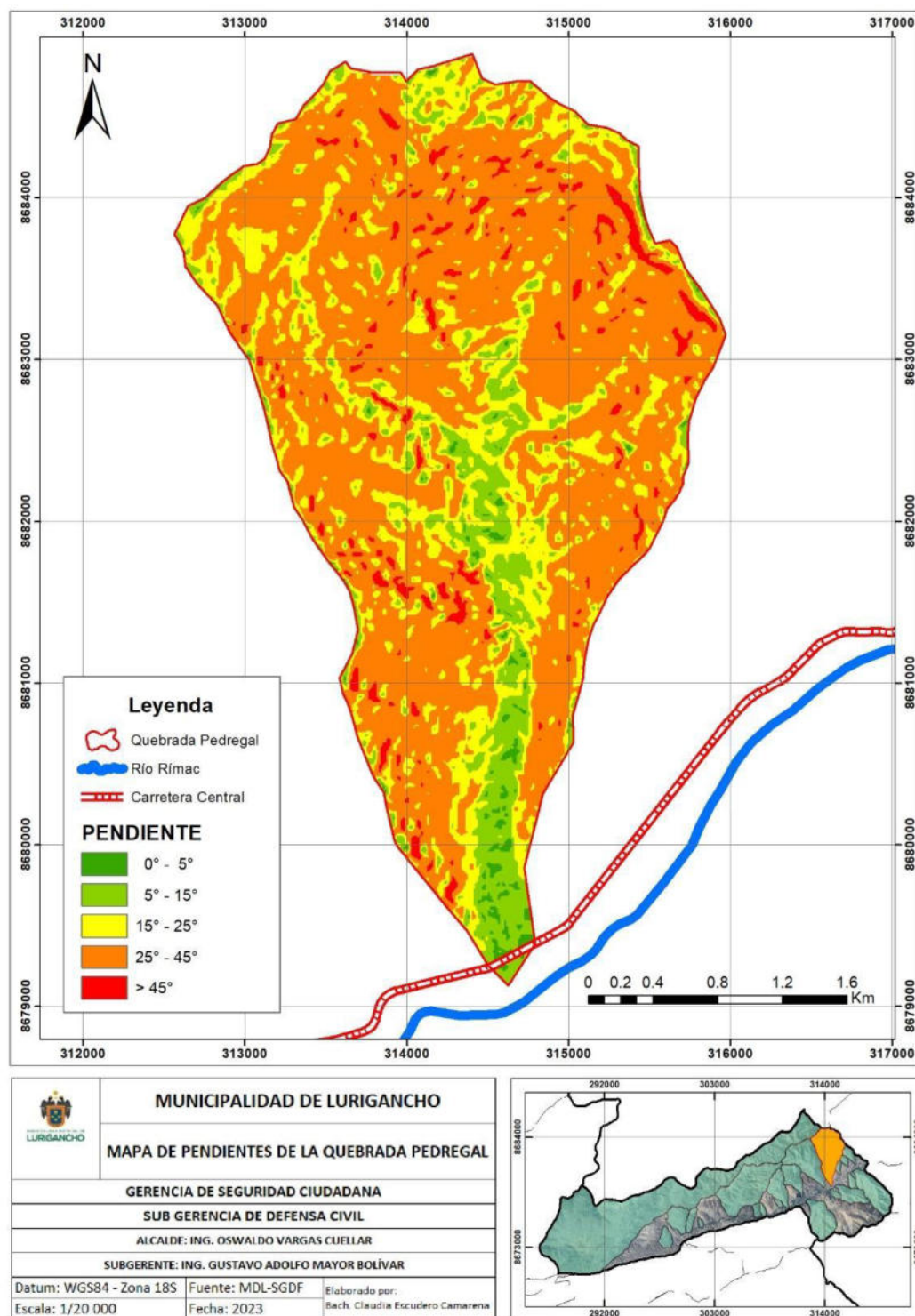
Las fuerzas

Para ambas fuerzas del diseño del dique tanto las verticales como las horizontales, se mantienen en relación directa sobre el cauce del caudal como las que se ejercen sobre su propio peso siendo esta la vertical mientras que la horizontal si sufre de fuerzas que serán producto del flujo y las fuerzas de sismos.

Para la capacidad portante del área de intervención se trabajó con $5k/cm^2$ ensayo sobre roca donde sería la base de la cimentación.

Figura 11

Distribución espacial de la pendiente de la quebrada Pedregal



Nota. Elaboración propia.

Figura 12

Representación del material aluviónico de la quebrada



Nota. Elaboración propia

Factibilidad técnica – operativa

La factibilidad técnica y operativa de un dique transversal en la Quebrada Pedregal de Lurigancho-Chosica requiere un análisis detallado de múltiples aspectos. Inicialmente, es esencial realizar un estudio hidrológico exhaustivo para comprender los patrones de lluvia, caudales máximos y mínimos, así como los riesgos de erosión y transporte de sedimentos en la zona. Además, se debe llevar a cabo un levantamiento topográfico y evaluar la geología local para

garantizar la estabilidad del terreno. El diseño del dique debe considerar factores como altura, longitud, sección transversal y materiales de construcción, cumpliendo con normativas de ingeniería. Un análisis de impacto ambiental integral debe abordar posibles consecuencias en la flora, fauna y entorno natural, proponiendo medidas de mitigación. La viabilidad técnica implica evaluar la capacidad de contratistas y proveedores, desarrollar un plan de ejecución y considerar la gestión de riesgos. Planificar la operación y mantenimiento es crucial, incluyendo protocolos de gestión, inspecciones regulares y costos asociados. La consulta comunitaria y el cumplimiento de aspectos legales y normativos son esenciales, al igual que un análisis costo-beneficio para evaluar la rentabilidad económica del proyecto a largo plazo. Este enfoque integral asegura una evaluación completa de los desafíos y oportunidades asociados con el dique transversal, incorporando tanto aspectos técnicos como operativos para garantizar la efectividad y sostenibilidad del proyecto.

Para ello se genera el análisis de las causas y los efectos del problema, para ver la factibilidad técnica en base a los criterios planteados sobre el dique transversal como infraestructura de protección al igual que las causas como la inadecuada cultura de prevención.

Los efectos que apertura esta búsqueda de solución producto de los daños a las unidades productoras como la vía en este caso, la carretera central generan altos costos para la rehabilitación al igual que las viviendas de los pobladores alojados en las zonas de riesgo como interrupción del flujo natural de la quebrada, a ello se suma que se pueden dar pérdida de vidas humanas y algunos medios de vida. En ese sentido, el efecto directo sobre la población se puede definir mediante la caída de flujo de detritos sobre la quebrada pedregal.

Figura 13*Árbol de causas y efectos*

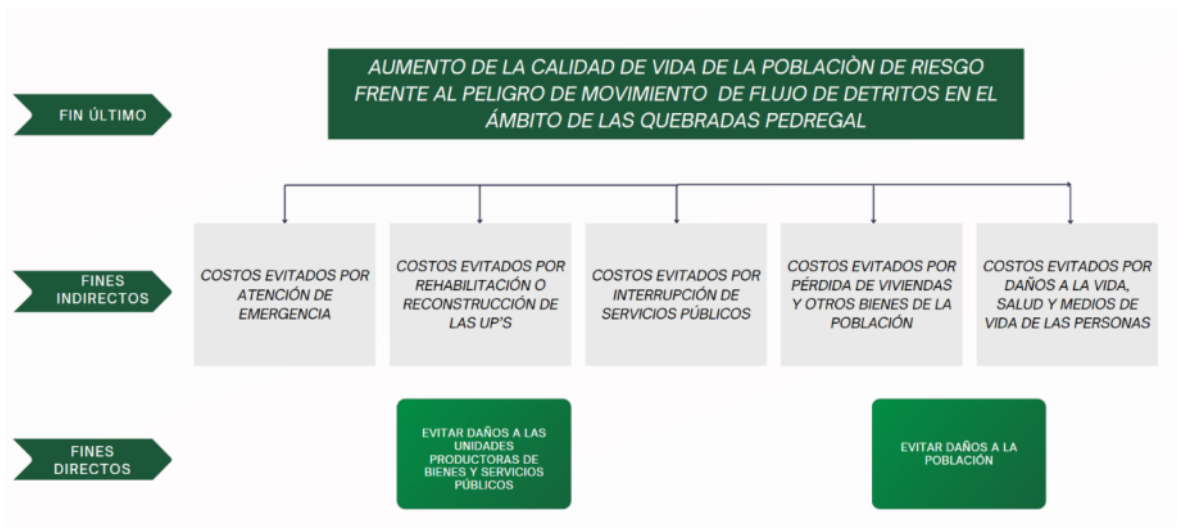
Nota. Elaboración propia.

Análisis final del proyecto

Para alcanzar el objetivo final se identificaron con indicadores de primer orden y de segundo orden, toda vez que se precise sobre los flujos de detritos y la eficacia del dique transversal.

Figura 14

Finalidad del Proyecto



Nota. Elaboración propia

Se verificó del análisis medios y acciones para el proyecto donde se arrojó las opciones como objetivo principal del proyecto de inversión.

Figura 15

Síntesis del proyecto

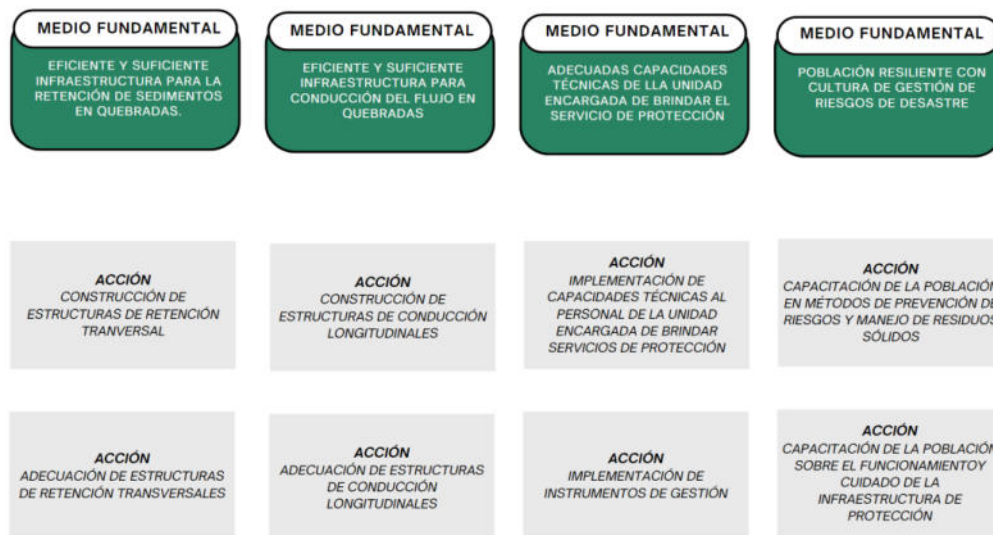
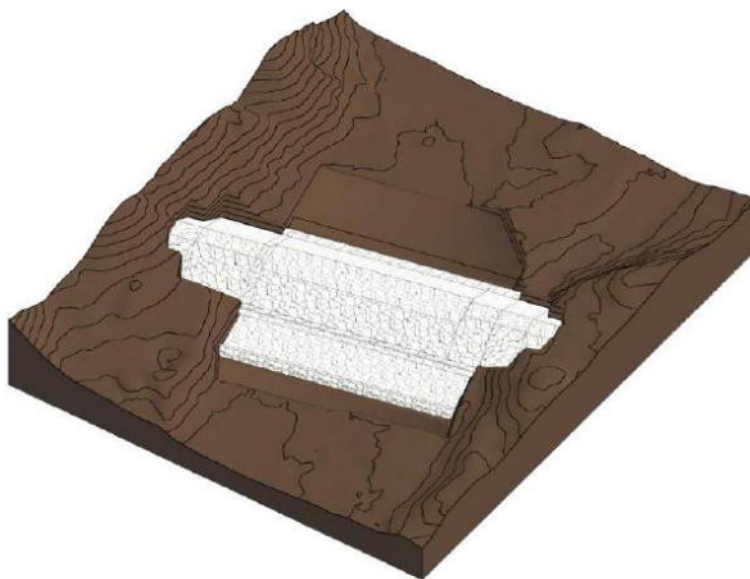


Figura 16

Modelo de dique transversal en 3D



Nota. Realizado por el equipo de la SGDC.

Cuadro de Inversión

La inversión en la construcción de un dique transversal es crucial debido a la importancia estratégica que tiene en términos de mitigación de riesgos y protección de la comunidad local frente a eventos hidrológicos extremos. El costo-beneficio de este proyecto se manifiesta en diversos aspectos. En primer lugar, el dique contribuiría significativamente a la reducción de inundaciones y deslizamientos de tierra, salvaguardando vidas humanas y propiedades, así como preservando la infraestructura vital. Además, al prevenir daños causados por eventos climáticos extremos, se minimizan los costos asociados con la recuperación y reconstrucción post desastre.

Además de los beneficios directos en términos de seguridad y bienestar de la población, el dique podría tener impactos positivos en la economía local al mantener la funcionalidad de infraestructuras críticas, como carreteras y redes de servicios públicos. Asimismo, la reducción de

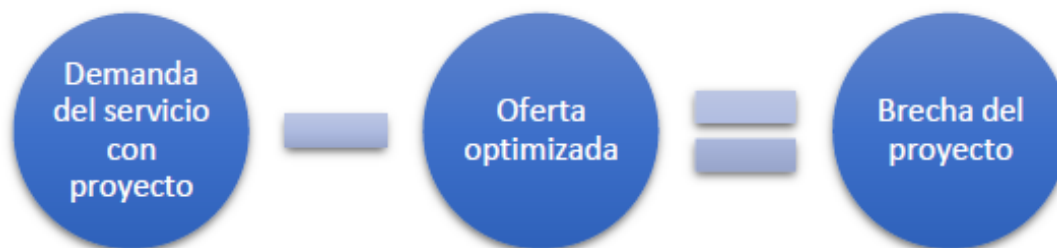
riesgos ambientales y la preservación de la biodiversidad en la quebrada pueden ser considerados beneficios intangibles, pero de gran valor.

Es fundamental llevar a cabo un análisis de costo-beneficio que no solo considere los gastos de construcción y mantenimiento del dique, sino que también evalúe los beneficios a largo plazo en términos sociales, económicos y ambientales. La inversión en la construcción del dique debe compararse con los costos asociados a posibles eventos catastróficos y las consecuencias económicas y humanitarias derivadas de ellos. Un enfoque equilibrado y cuidadoso en la toma de decisiones, considerando la seguridad de la población, la sostenibilidad ambiental y los impactos económicos, garantizará que la inversión en el dique sea justificada y beneficie de manera integral a la comunidad y al entorno.

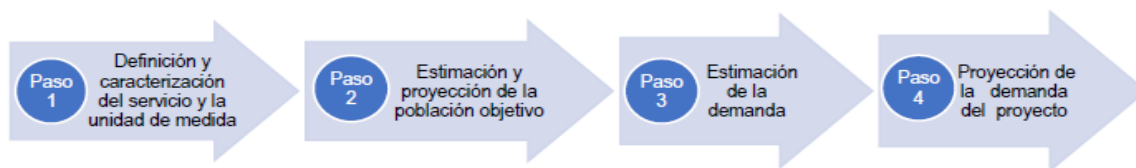
La estimación presupuestal sobre el proyecto como alternativa única responde a un cierre de brecha para salvaguardar las viviendas.

Figura 17

Fases de la evaluación de la demanda



Nota. Realizado por el equipo de la SGDC

Figura 18*Fases de proyección*

Nota. Realizado por el equipo de la SGDC

Es fundamental llevar a cabo un análisis de costo-beneficio que no solo considere los gastos de construcción sino los de mantenimiento periódico.

Análisis de Resultados

Análisis costos - beneficio

El costo estimado para la construcción del dique transversal se fijó en S/. 500,000.00 nuevos soles durante la fase de ejecución. No obstante, es importante señalar que hubo un anteproyecto que generó un impacto significativo, especialmente debido a la densidad poblacional en la quebrada Pedregal. Este factor ha llevado a un aumento en los presupuestos del proyecto. Es crucial destacar que estos análisis se centran en aspectos hidrológicos y geológicos.

La responsabilidad financiera del proyecto recae en diversas entidades científicas, entre las que se incluyen CENEPRED, INDECI y varias ONGs. Estas organizaciones llevaron a cabo modelamientos hidráulicos y la obtención de Modelos Digitales del Terreno (DEM, por sus siglas en inglés), cumpliendo así con los objetivos del trabajo. Dichos objetivos se enfocan en el análisis de la eficacia de los diques transversales para retener los flujos de detritos, con miras a mitigar los riesgos asociados en la quebrada Pedregal.

Beneficios de la implementación

El dique transversal ofrece diversos beneficios en cuanto al control de los flujos de detritos, siendo uno de los principales la gestión de inundaciones. Este tipo de estructura contribuye a reducir el riesgo de inundaciones al dirigir el flujo de agua hacia áreas específicas o al elevar el nivel del agua aguas arriba, lo que puede prevenir inundaciones en zonas bajas con presencia de viviendas sin un adecuado ordenamiento territorial.

Adicionalmente, la regulación de los flujos de detritos se ve mejorada significativamente con la presencia del dique transversal. Esta estructura, al ubicarse estratégicamente en la quebrada Pedregal, permite un control más efectivo a lo largo del cauce principal, disminuyendo la posibilidad de eventos no deseados.

Otro beneficio importante es la protección contra la erosión de los taludes del vaso hidráulico de la quebrada. Los diques transversales contribuyen al mejoramiento de la estabilidad de los taludes, reduciendo así el riesgo de erosión y posibles deslizamientos.

En resumen, los beneficios analizados están directamente alineados con el objetivo principal del proyecto, que es la optimización de la retención de los flujos de detritos, ofreciendo soluciones integrales para la gestión de riesgos en la quebrada Pedregal, velando por la población asentada en la zona de intervención.

Figura 19

Proceso de determinación de la población objetivo



Nota. Guía General para la Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión, MEF.

Como síntesis de costo y beneficio se toma la data del 2017 proporcionada por el INEI, donde la población total asentada sobre la quebrada Pedregal asciende a 16000 habitantes, se verá

reflejada en los costos sociales y beneficios que se puedan generar después de una realización de este tipo de obras.

Aportes más destacables a la institución

La institución ha logrado incorporar de manera efectiva los valores fundamentales de respeto, responsabilidad, sinceridad y colaboración en la ejecución de las tareas asignadas por el subgerente, lo que ha creado un ambiente laboral propicio para el crecimiento profesional. Gracias a este enfoque, se ha fomentado la confianza entre los miembros de la subgerencia, lo que ha facilitado una mayor apertura a nuevas ideas y procesos de trabajo, contribuyendo al desarrollo continuo y a la realización exitosa de investigaciones y proyectos.

En cuanto a los aspectos técnicos, se ha implementado eficientemente el uso de herramientas como el software de modelamiento hidráulico, lo que ha permitido verificar de manera rápida y precisa la propuesta de los diques transversales de contención, utilizando datos básicos obtenidos del estudio de suelos y datos pluviométricos.

La institución también ha implementado una estrategia de enfoque consultivo y participativo en la toma de decisiones, lo que ha permitido una mayor colaboración entre los miembros de la subgerencia, tanto en el ámbito técnico como en el organizativo. Se han llevado a cabo reuniones y sesiones informativas para promover la discusión y la cooperación entre los diferentes departamentos, consolidando así la visión y los objetivos de la organización.

En el ámbito técnico, la implementación del software de modelamiento hidráulico ha resultado en la optimización de los procesos de cálculo, reduciendo el tiempo y mejorando la precisión de los resultados. La organización sistemática de la información y la utilización de fórmulas ha permitido una verificación rápida y precisa de los esfuerzos activos y pasivos, así como de los factores de seguridad, asegurando la conformidad con las normativas establecidas.

En cuanto al equipo de proyectos de la subgerencia de Defensa Civil, se ha logrado una identificación y divulgación efectiva de las áreas más vulnerables del entorno municipal, gracias

a la elaboración de mapas de inundación. Se han identificado áreas que se beneficiarían de obras de mitigación y se han priorizado en función de su nivel de riesgo. Estas acciones promueven la seguridad y el bienestar de los residentes, así como la protección del medio ambiente.

En resumen, todas estas iniciativas reflejan un compromiso continuo por parte de la institución en la mejora de sus procesos y procedimientos, así como en la consecución de los objetivos establecidos. La participación en los equipos de proyectos, el fomento de un ambiente laboral propicio para el crecimiento profesional y la implementación de herramientas tecnológicas han permitido una mayor eficiencia y eficacia en la realización de las tareas asignadas por el subgerente.

Conclusiones

Partiendo de la premisa de que los diques transversales pueden desempeñar un papel crucial en la disminución de la velocidad del flujo de agua en la quebrada, se concluyó que el diseño realizado se centra en analizar los flujos más significativos que evita afectar las viviendas ocupadas de manera informal. Esta consideración es esencial para retener los detritos y sedimentos que podrían ser arrastrados por las corrientes de agua, especialmente durante las intensas lluvias que se esperan en los próximos meses, lo que, en última instancia, contribuiría a mejorar la calidad de vida de las personas.

Además, la instalación estratégica de diques transversales logró desempeñar un papel crucial en la regulación del flujo de agua durante eventos de lluvia intensa que ayuda prevenir inundaciones aguas abajo. Al reducir la velocidad del agua y permitir la acumulación controlada de sedimentos, se minimiza la posibilidad de que los detritos fluyan libremente. Este enfoque, también disminuyó el riesgo de obstrucción de puentes modulares y otras infraestructuras críticas, conocidas como activos expuestos, durante situaciones de emergencia. En consecuencia, se reforzó la resiliencia de la zona frente a eventos climáticos extremos.

La ubicación estratégica de los diques transversales desempeñó un papel crucial en su eficacia para retener flujos de detritos. A través del modelado, se identificó la ubicación óptima de los diques para maximizar la retención de material detrítal. Este proceso implicó tener en cuenta la topografía local, la velocidad del flujo de agua y la carga sedimentaria. Se determinó que ciertas ubicaciones a lo largo de la quebrada son más efectivas que otras para instalar diques, lo que conduce a recomendaciones específicas para la planificación y ejecución de medidas de control de detritos en la quebrada San Antonio de Pedregal.

El diseño de los diques transversales incluyó aspectos como su altura, longitud y tipo de estructura, también influyó significativamente en su capacidad para retener flujos de detritos. Se basó en la simulación hidráulica que reveló diferentes diseños que responden a variaciones en las condiciones del flujo. En otras palabras, un diseño específico puede ser más eficiente en la retención de detritos en comparación con otros. Esto conlleva a recomendaciones específicas sobre los parámetros de diseño que deben considerarse al construir diques en la quebrada San Antonio de Pedregal, proporcionando una guía valiosa para ingenieros y planificadores encargados de implementar medidas de gestión de riesgos.

Las pendientes presentes en la quebrada San Antonio de Pedregal desempeñan un papel crucial en la efectividad de los diques transversales. En casos donde las pendientes son excesivamente pronunciadas, existe el riesgo de un aumento significativo en la velocidad del flujo de agua durante eventos de lluvias intensas, lo cual podría comprometer la capacidad de los diques para retener sedimentos y controlar la erosión.

Se adoptó el diseño de los diques transversales a las condiciones específicas de pendiente en la quebrada, que implicó ajustes en la altura, el espaciamiento y la resistencia de los diques con el objetivo de garantizar una retención efectiva de sedimentos y una reducción significativa en la velocidad del agua, mitigando así el riesgo de erosión y crecidas.

La eficacia de los diques transversales logró experimentar variaciones a lo largo del tiempo debido a cambios en las condiciones hidrológicas, la vegetación y otros factores ambientales. Por esta razón, resultó crucial establecer un programa de monitoreo continuo para evaluar el desempeño de los diques en relación con las pendientes de la quebrada.

Además, es necesario el mantenimiento regular de los diques para garantizar su funcionalidad a lo largo del tiempo. Factores como lluvias intensas, acumulación de sedimentos y

otros eventos pueden afectar la capacidad de los diques para cumplir su función de mitigación, subrayando la importancia de una gestión activa y preventiva para preservar la integridad y eficacia de estas estructuras.

Recomendaciones

Se enfatiza la necesidad de adoptar un enfoque integral para el diseño de diques transversales en la quebrada San Antonio de Pedregal, que incluya una evaluación exhaustiva de los riesgos hidrológicos y geológicos. La implementación de un monitoreo continuo y la participación activa de la comunidad son aspectos cruciales para asegurar la efectividad a largo plazo de las estructuras. Se recomienda establecer programas regulares de mantenimiento, involucrando a la población local, lo que contribuirá a la sostenibilidad de las medidas de gestión de riesgos.

La integración de medidas adicionales, como la reforestación, se sugiere como un complemento importante para mejorar la retención de sedimentos y la regulación del flujo de agua. Es esencial desarrollar planes de evacuación eficientes y coordinar con autoridades locales. La investigación continua para mejorar la adaptabilidad de los diques debe ser una prioridad, y la comunicación transparente de resultados y beneficios es esencial para sensibilizar a otras comunidades.

Además, se destaca la importancia de la educación ambiental y la promoción de prácticas seguras en la gestión del agua. Se sugiere considerar la reubicación de viviendas informales en áreas menos propensas a riesgos y la implementación de medidas de protección para infraestructuras críticas aguas abajo. Se busca sinergias con enfoques innovadores y sostenibles para una gestión integral del agua.

En relación al diseño específico de los diques transversales, se recomienda emplear modelado detallado para identificar la ubicación óptima, considerando la topografía, velocidad del flujo y carga sedimentaria. La eficacia de los diques depende del diseño, y las simulaciones hidráulicas pueden ser herramientas valiosas para seleccionar estructuras que maximicen la

retención de detritos. La adaptación de parámetros de diseño según las condiciones específicas del lugar proporciona una guía valiosa para ingenieros y planificadores en la ejecución de medidas de gestión de riesgos.

En cuanto a la adaptación del diseño a las características de pendiente, se destaca la importancia de ajustar la altura, espaciamiento y resistencia de los diques para garantizar una retención efectiva de sedimentos y controlar la velocidad del agua durante lluvias intensas. La implementación de un programa de monitoreo continuo y un plan de mantenimiento regular son acciones esenciales para evaluar y ajustar el desempeño de los diques en relación con las pendientes, asegurando así su funcionalidad a largo plazo en condiciones cambiantes y eventos climáticos extremos.

Referencias

- Aristizábal, E., Arango Carmona, M. I., & García López, I. K. (2020). Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 242–258.
<https://doi.org/https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.72612>
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Bateman Pinzón, A., Medina Iglesias, V. C., Hürlimann Ziegler, M., & Velasco, D. (2007). Modelo bidimensional para simulación de flujos detríticos: FLATModel. Aplicación a una cuenca del Pirineo Catalán. *Ingeniería Hidráulica En México*, 22(4), 5–20.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4505231>
- Centro Nacional de Estimación, P. y R. del R. de D. [CENEPRED]. (2015). *Informe de evaluación de riesgos por flujo de detritos en el área de influencia de las quebradas: Carossio y Libertad - Lurigancho Chosica*.
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/EVAR.Chosica%20actualizado.pdf>
- Cerda Gutiérrez, H. (2005). *De la teoría a la práctica: El pensar y el hacer en la ciencia y en la educación / Hugo Cerda Gutiérrez*. (Cooperativa Editorial Magisterio, Ed.).
- Conesa García, C. (2004). Los diques de retención en cuencas de régimen torrencial: diseño, tipos y funciones. *Nimbus*, 125–142. <http://hdl.handle.net/10835/1448>
- Duque Escobar, G. (2022). Movimientos masales. In *Manual de geología para ingenieros* (3rd ed.). Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145>
- FLO-2D. (2018). *Manual FLO-2D*. <https://flo-2d.com/qgis-plugin/>

- Gallardo Echenique, E. E. (2017). *Metodología de la Investigación: manual autoformativo interactivo*. Universidad Continental. <http://www.continental.edu.pe/>
- Guffante Naranjo, T., Guffante Naranjo, F., & Chávez Hernández, P. (2016). *Investigación científica. El proyecto de investigación*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Hungr, O. (2005). Classification and terminology. In B. H. Springer (Ed.), *Debris-flow Hazards and Related Phenomena* (pp. 9–23). Springer Praxis Books. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5_2
- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. J., & Hutchinson, J. N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, 7(3), 221–238. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.7.3.221>
- Hutchinson, J. N. (1989). General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology: Proc 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, 10–15 July 1988V1, P3–35. Publ Rotterdam: A A Balkema, 1988. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 26(2), 88. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(89\)90310-0](https://doi.org/10.1016/0148-9062(89)90310-0)
- Maza Sócola, J. P. (2019). *Análisis del comportamiento hidráulico del Río Piura, en el tramo Los Ejidos - Puente Independencia* [Tesis, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/183b3fe5-b2e4-487f-a63a-bee4d88ec554>
- Millán Arancibia, C. E. (2018). *Modelación del flujo de detritos para el análisis del riesgo en la quebrada Los Cóndores, provincia de Lima, Perú* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3733>

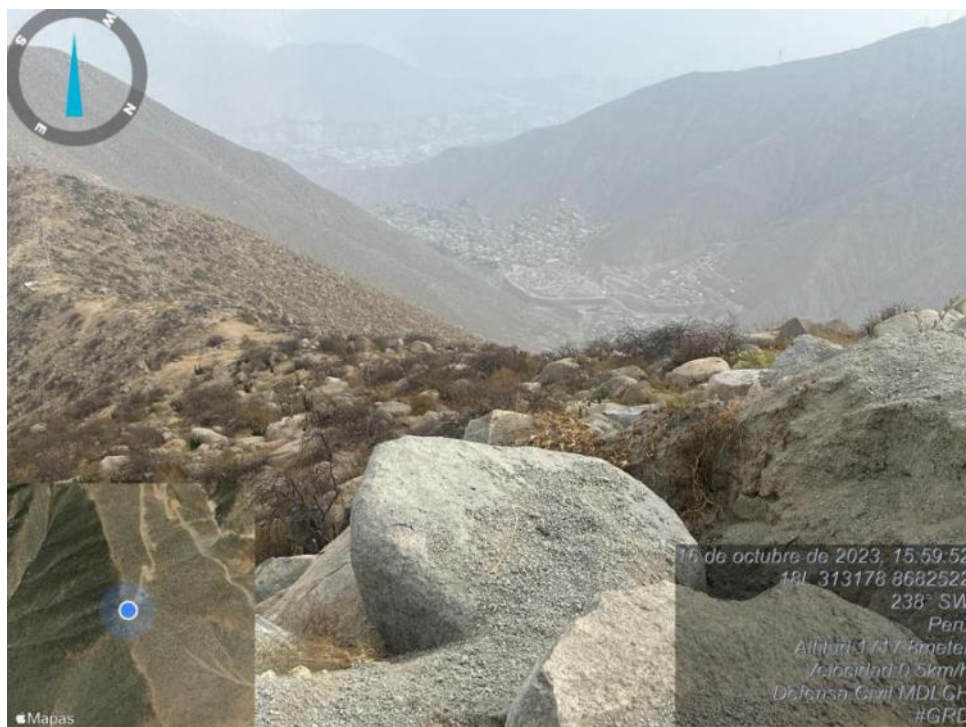
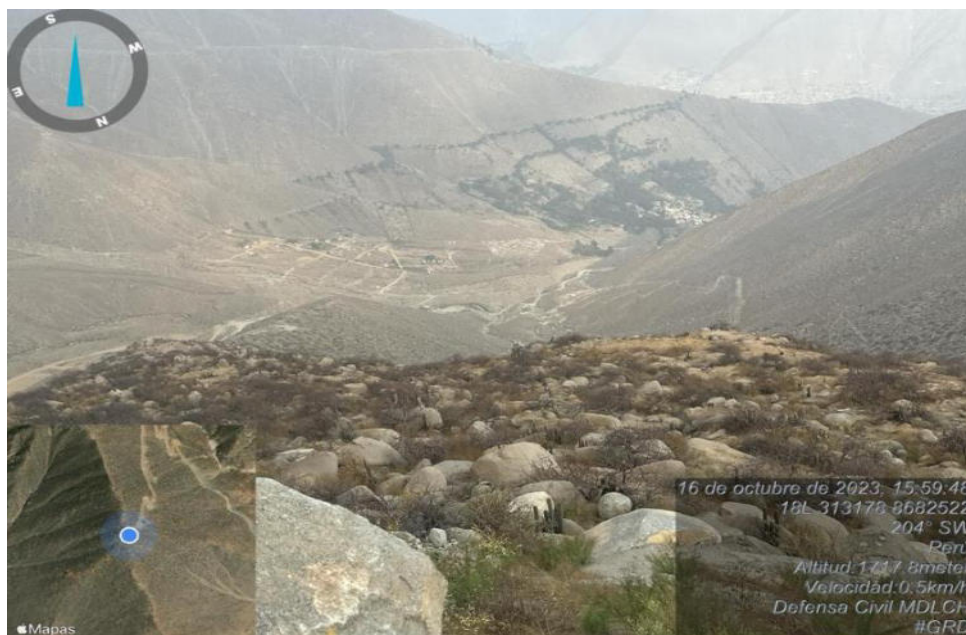
- Montero Olarte, J. (2017). *Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. Servicio Geológico Colombiano. <https://doi.org/https://doi.org/10.32685/9789585978218>
- Montserrat Michelini, S. R. (2005). *Estudio Experimental de Obras de Protección Contra Aluviones* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102803>
- Perico Granados, N. R., Galarza, E. Y., Díaz Ochoa, M. L., Arévalo Algarra, H. M., & Perico Martínez, N. R. (2020). *Guía práctica de investigación en ingeniería: apoyo a la formación de docentes y estudiantes*. Corporación Universitaria Minuto de Dios. <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/10822>
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). *Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Servicio Nacional de Geología y Minería. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>
- Romero Díaz, M. A. (2008). Los diques de corrección hidrológica como instrumentos de cuantificación de la erosión. *Cuadernos de Investigación Geográfica: Geographical Research Letters*, 34, 83–99. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2762776>
- 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. (1998). *Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: aplicación en la quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana* [Tesis]. Universidad de Chile.
- Soncco Calsina, Y. H., Cuno Bayta, J. J., Núñez Juárez, S., & Cueva Sandoval, K. A. (2023). Cálculo de volumen de flujo de detritos (huaicos) y lahares secundarios. Considerando la infiltración según

la teoría del número de curva (CN). *IX Foro Internacional de Peligros Volcánicos – IX FIPVO*, 188–191. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4513>

Villasante Escalante, A. B. (2022). *Evaluación de niveles de riesgos por flujo de detritos en la quebrada Chinchiña localidad Pacsica, distrito Justo Apu Sahuaraura, Aymaraes, Apurímac 2021*". [Universidad Tecnológica de los Andes]. <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/476>

Anexos

Anexo 1: Panel fotográfico

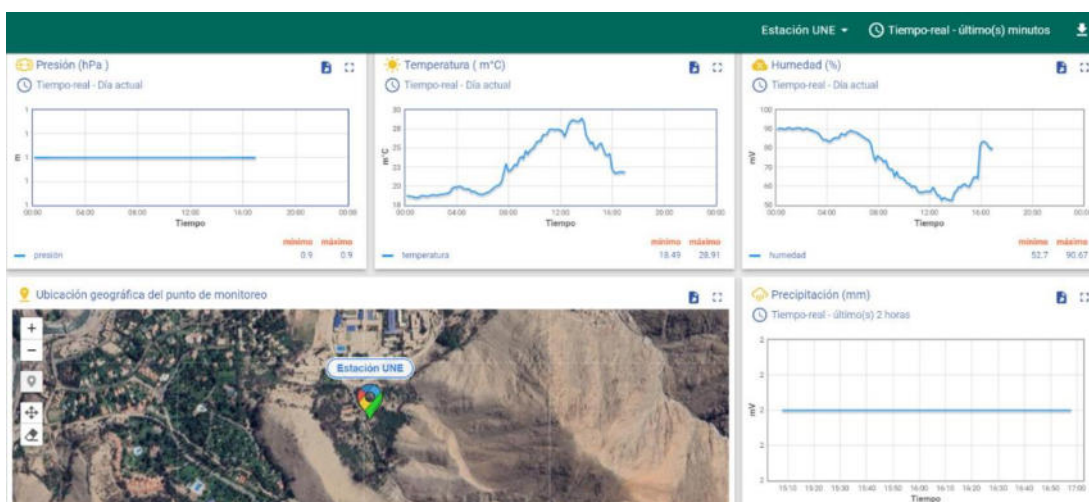
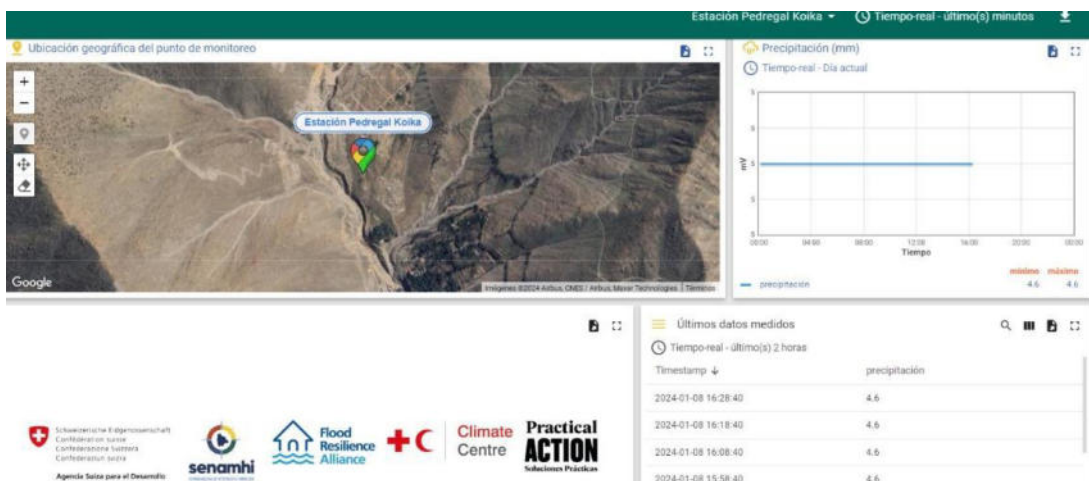
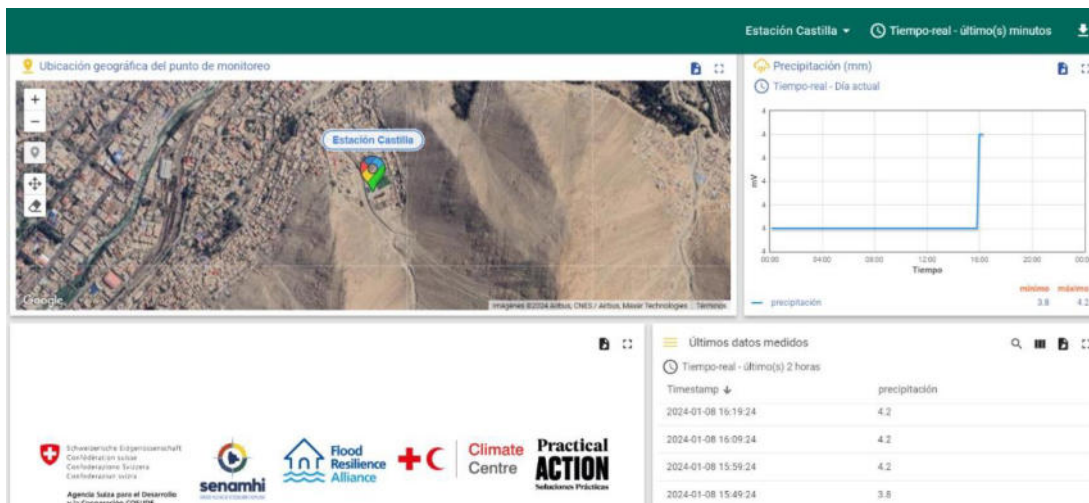








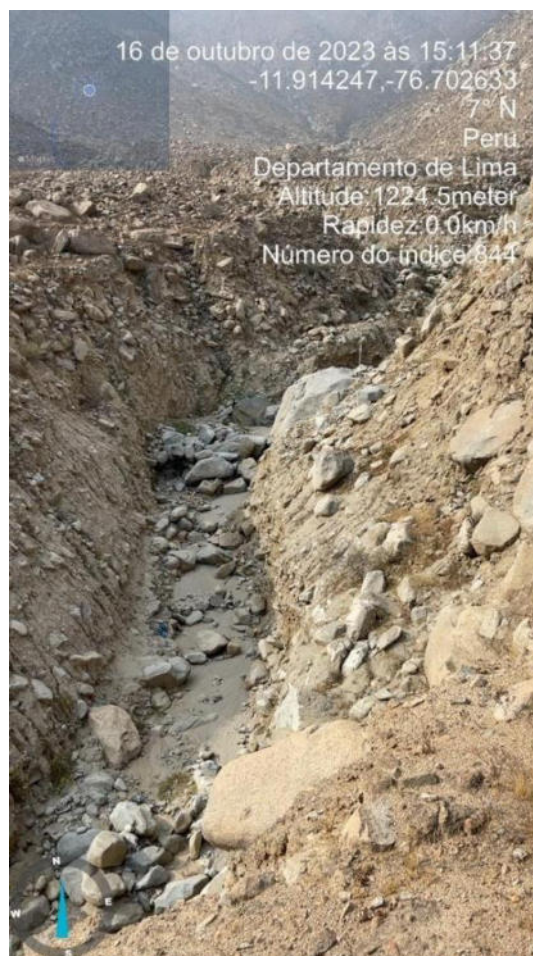








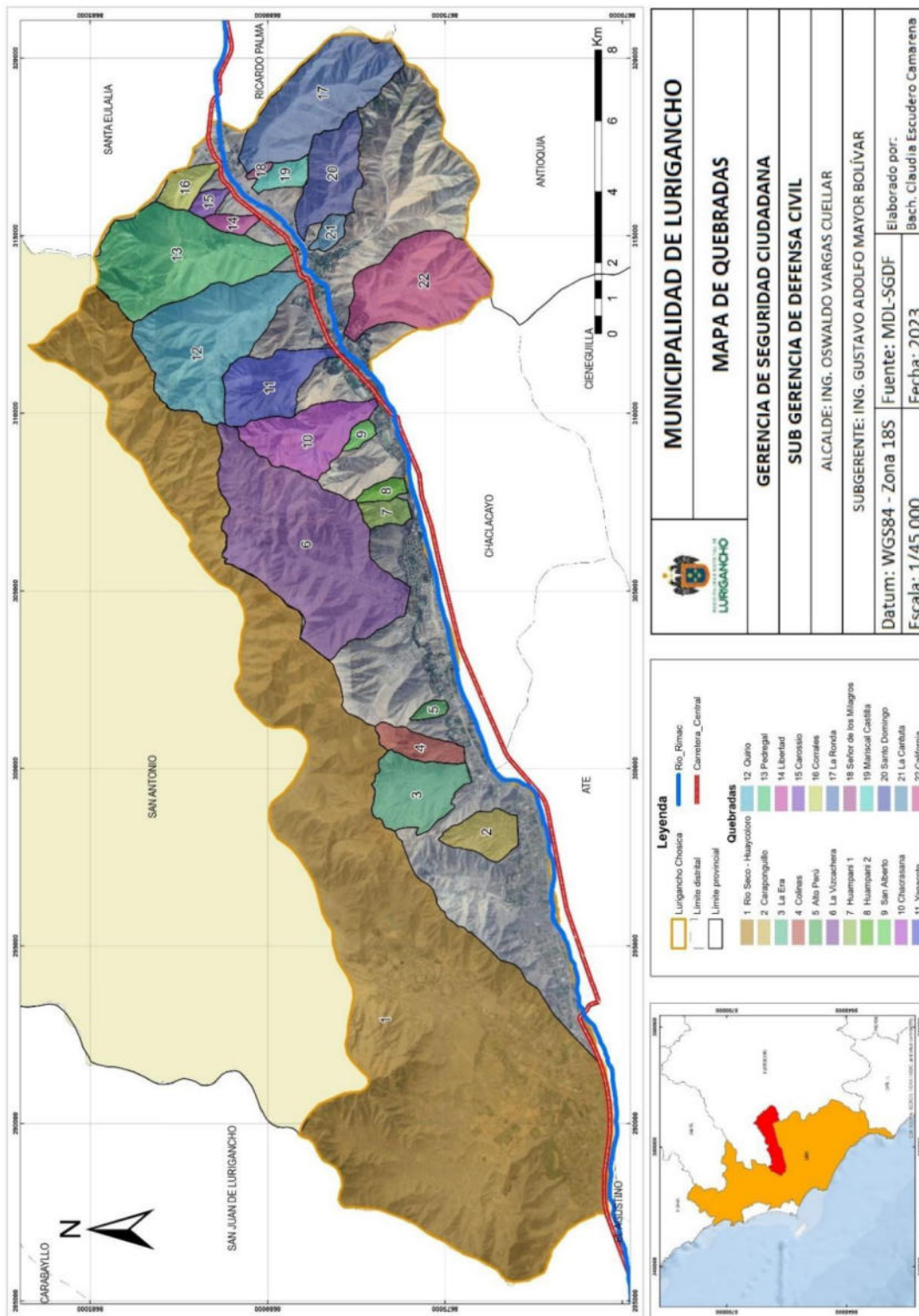


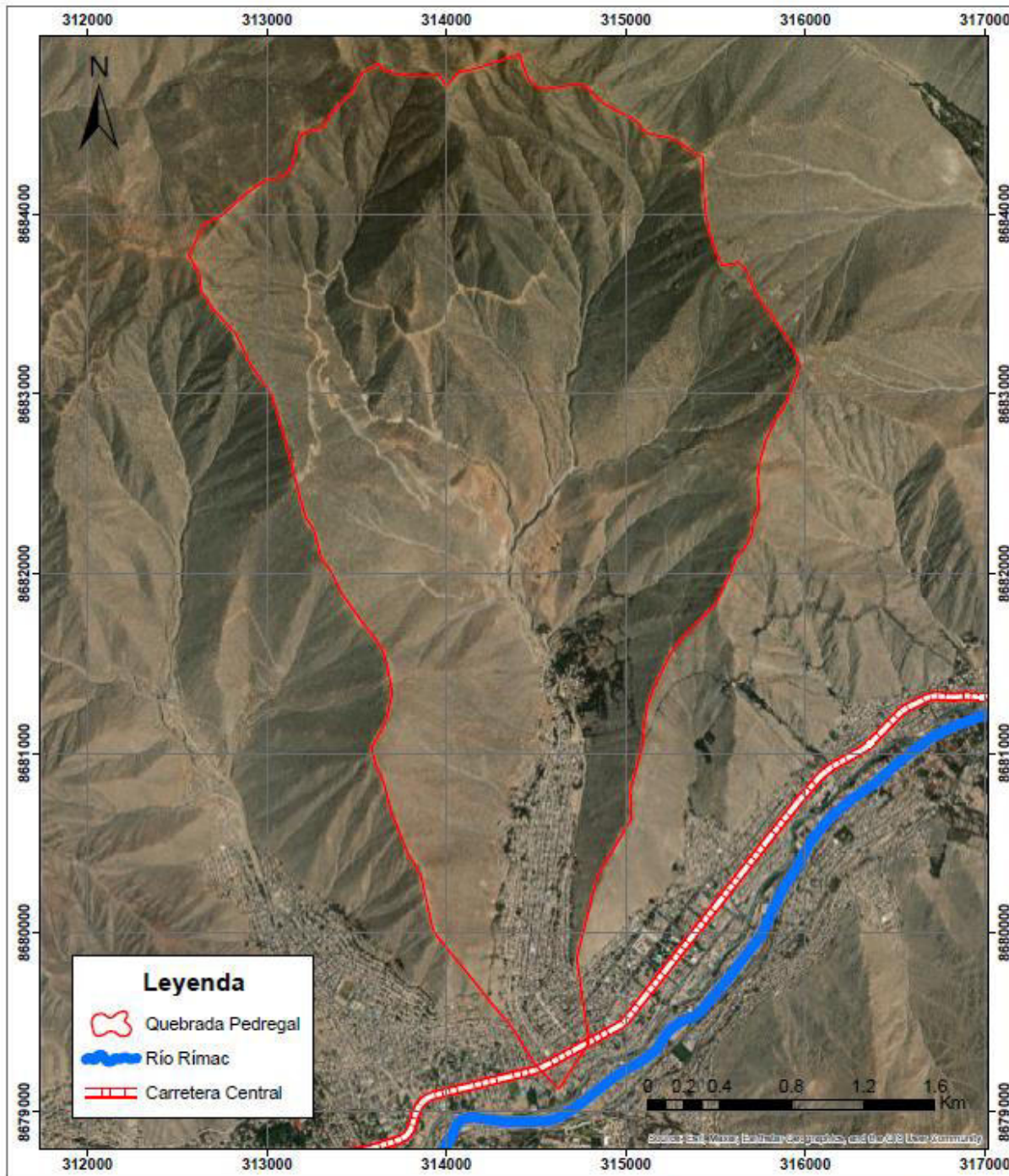




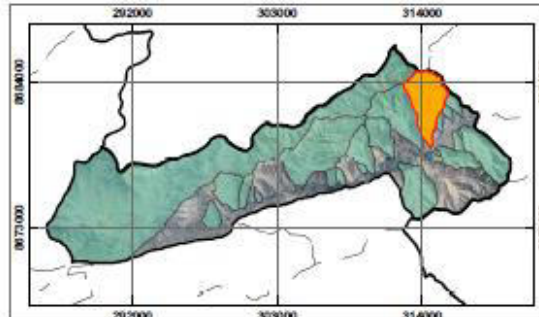


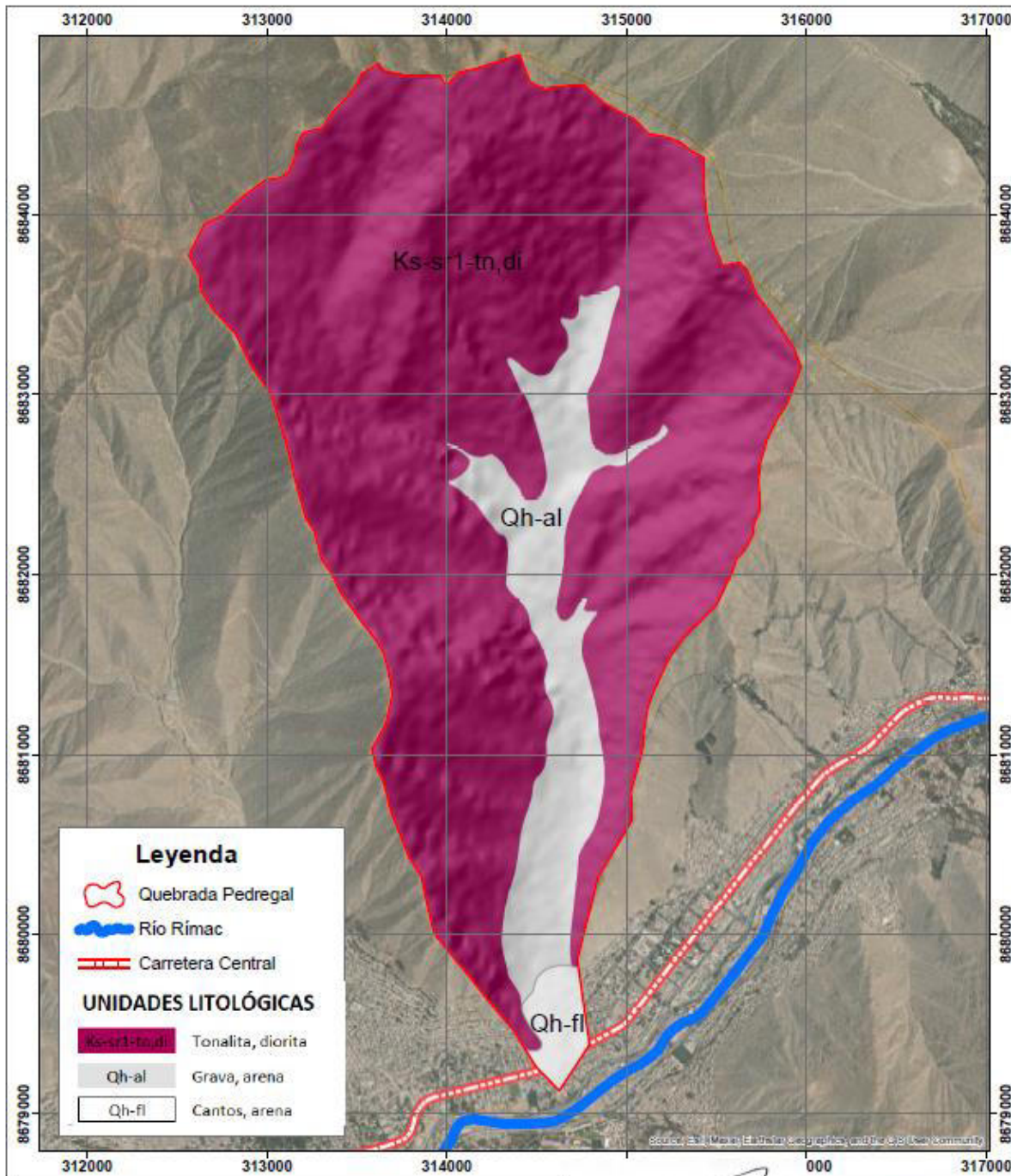
Anexo 2: Mapas Temáticos



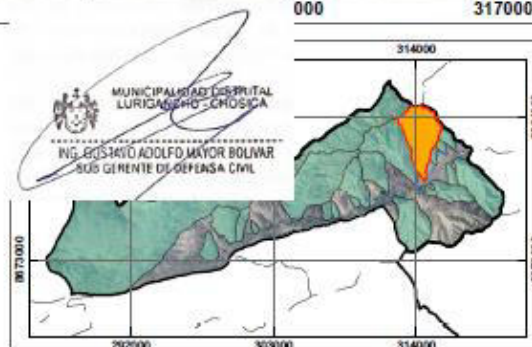


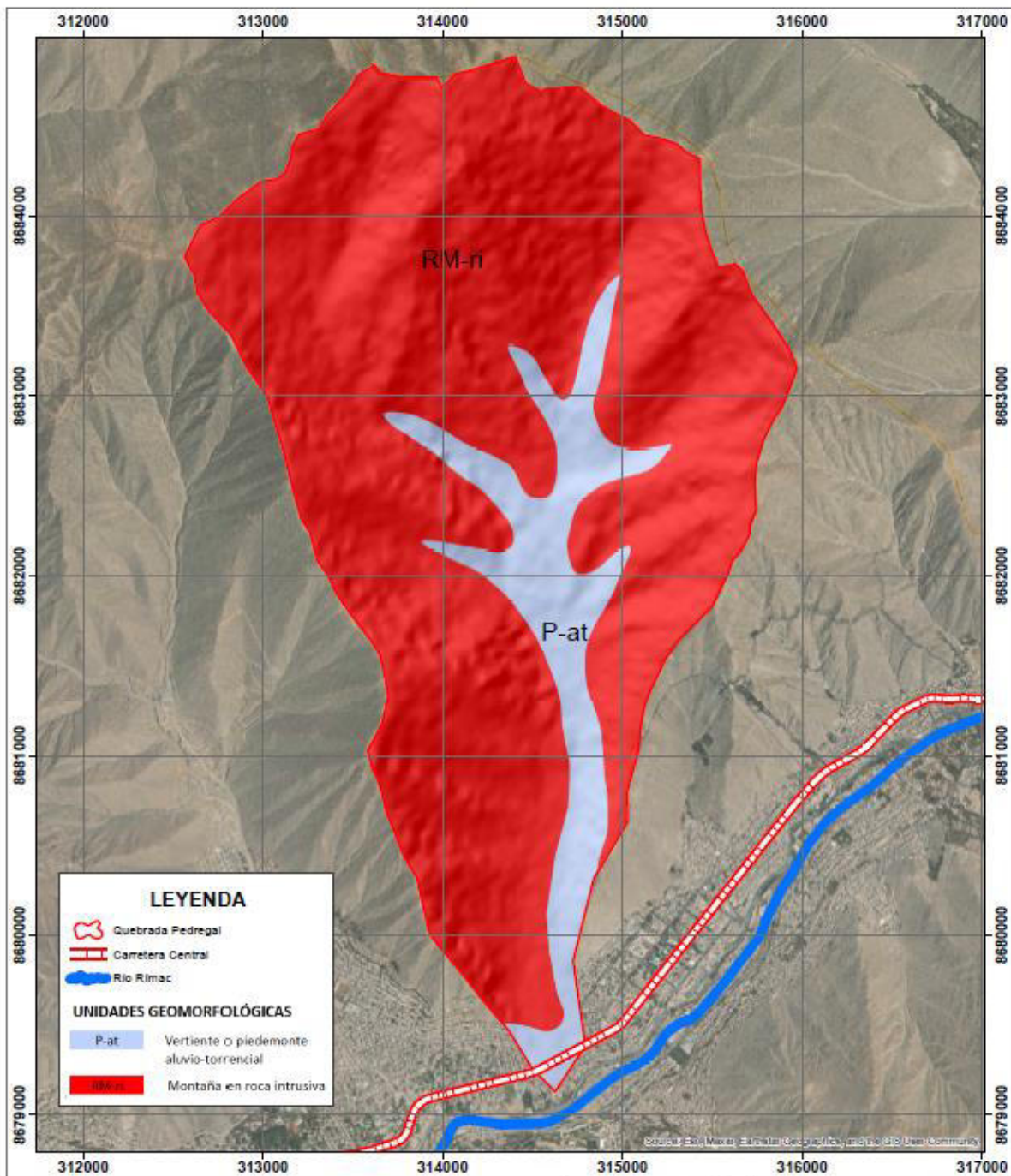
	MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO	
	MAPA DE UBICACIÓN DE LA QUEBRADA PEDREGAL	
GERENCIA DE SEGURIDAD CIUDADANA		
SUBGERENCIA DE DEFENSA CIVIL		
SUBGERENTE: ING. GUSTAVO ADOLFO MAYOR BOLÍVAR		
Datum: WGS84 - Zona 18 S	Fuente: INGEMET	Elaborado por:
Escala 1/20 000	Fecha: 2023	Bach: Jesús Velásquez



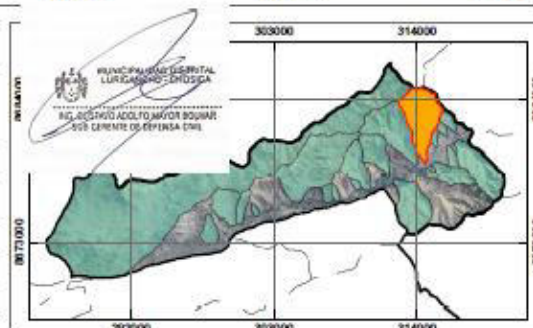


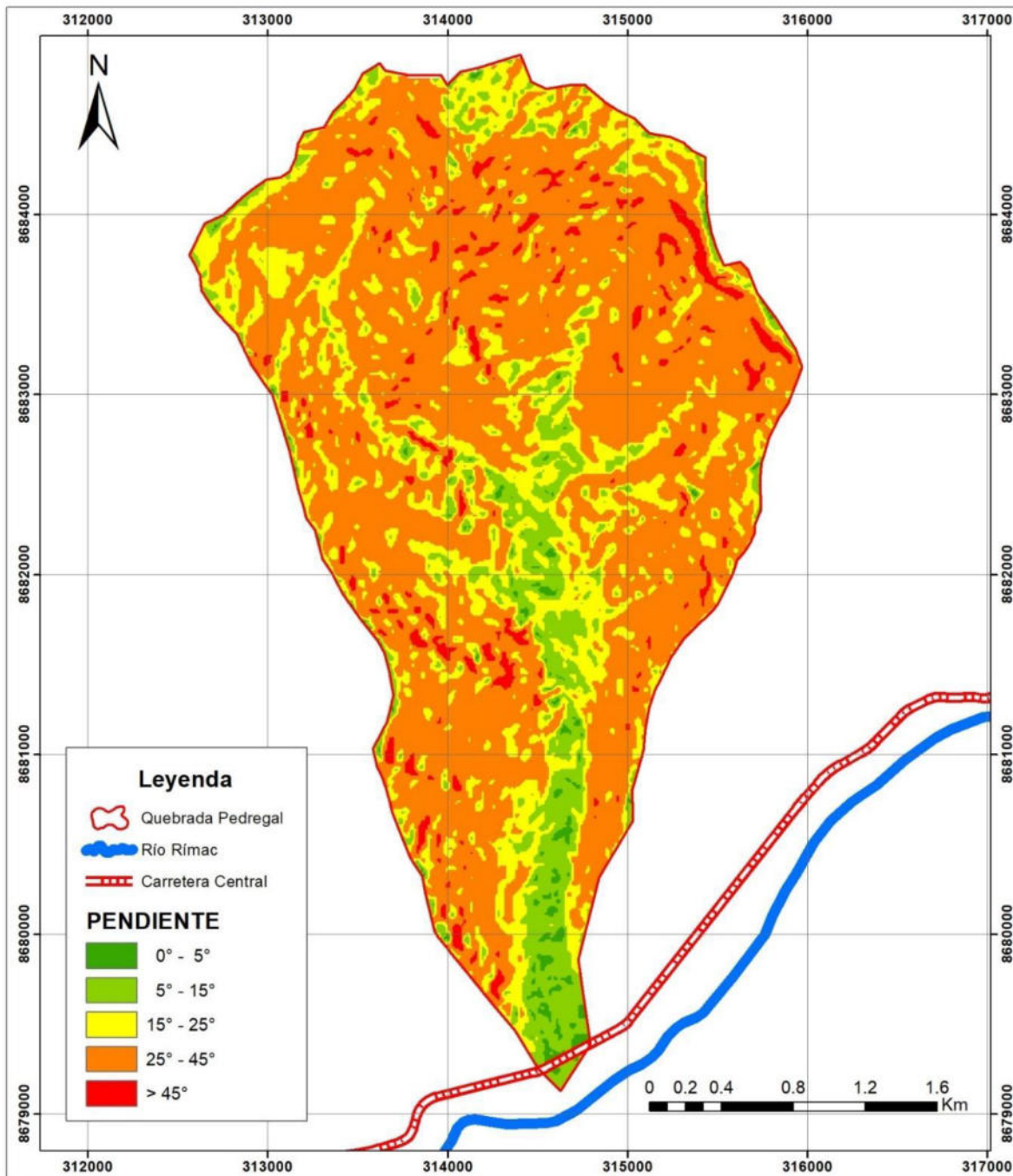
	MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO	
	MAPA GEOLÓGICO DE LA QUEBRADA PEDREGAL	
GERENCIA DE SEGURIDAD CIUDADANA		
SUBGERENCIA DE DEFENSA CIVIL		
SUBGERENTE: ING. GUSTAVO ADOLFO MAYOR BOLÍVAR		
Datum: WGS84 - Zona 18 S	Fuente: INGEMET	Elaborado por:
Escala 1/20 000	Fecha: 2023	Bach: Jesús Velásquez




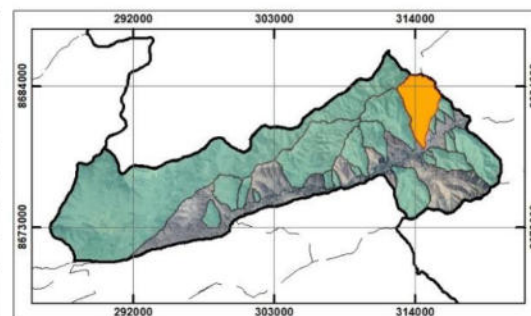


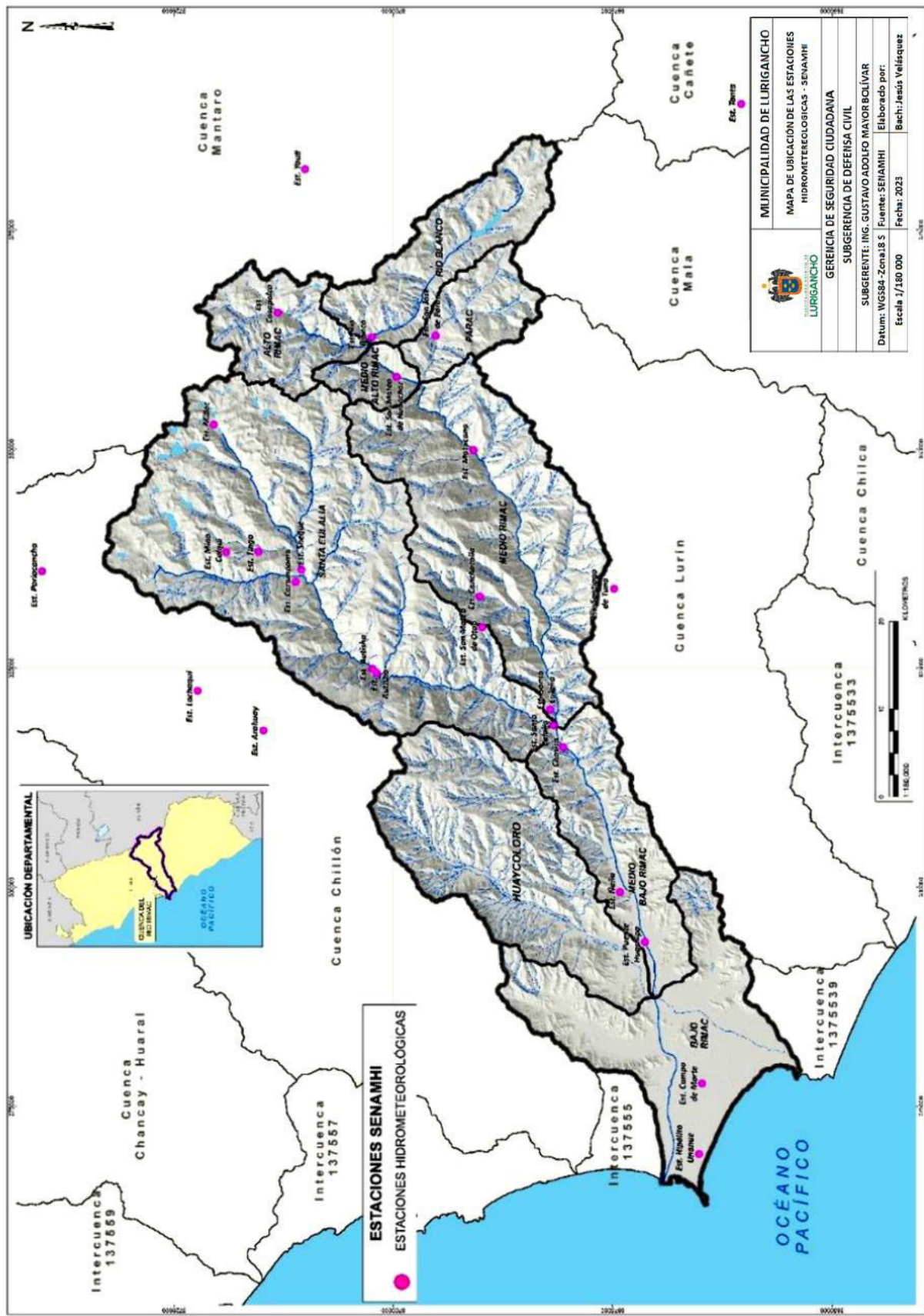
	MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO	
	MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA QUEBRADA PEDREGAL	
GERENCIA DE SEGURIDAD CIUDADANA		
SUBGERENCIA DE DEFENSA CIVIL		
SUBGERENTE: ING. GUSTAVO ADOLFO MAYOR BOLÍVAR		
Datum: WGS84 - Zona 18 S	Fuente: INGEMET	Elaborado por:
Escala 1/20 000	Fecha: 2023	Bach: Jesús Velásquez





	MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO	
	MAPA DE PENDIENTES DE LA QUEBRADA PEDREGAL	
	GERENCIA DE SEGURIDAD CIUDADANA	
	SUB GERENCIA DE DEFENSA CIVIL	
	ALCALDE: ING. OSWALDO VARGAS CUELLAR	
SUBGERENTE: ING. GUSTAVO ADOLFO MAYOR BOLÍVAR		
Datum: WGS84 - Zona 18S	Fuente: MDL-SGDF	Elaborado por:
Escala: 1/20 000	Fecha: 2023	Bach. Claudia Escudero Camarena

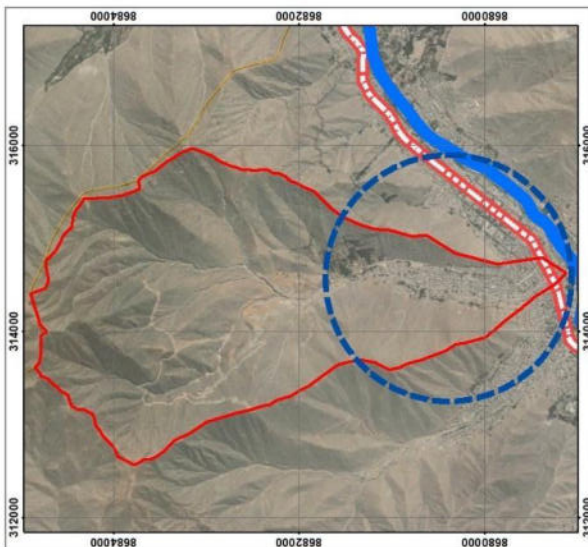
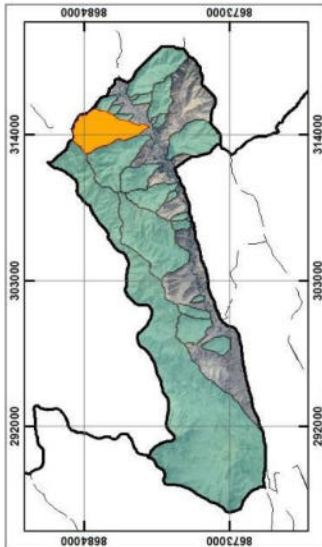





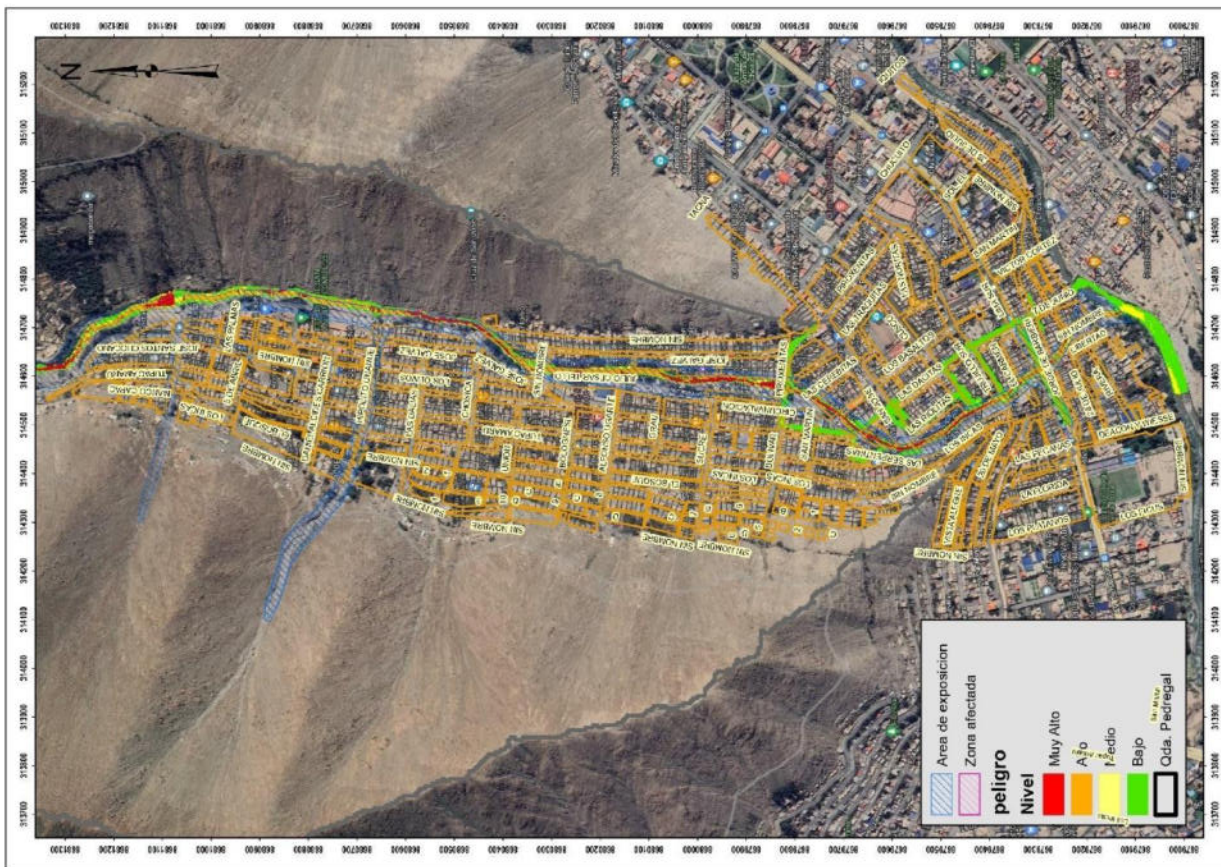
ESTACIONES SENAMHI
ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

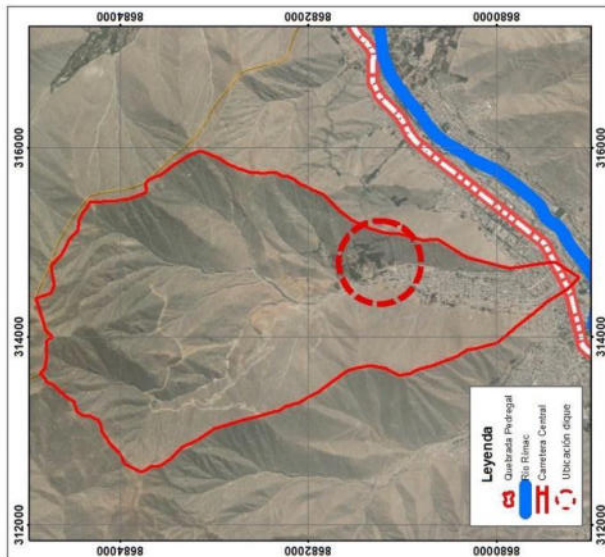
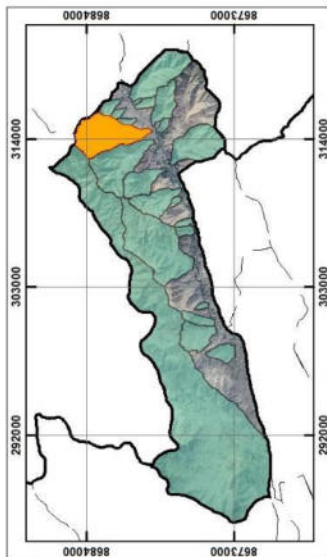
 MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO	MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS - SENAMHI
	SUBGERENCIA DE DEFENSA CIVIL
GERENCIA DE SEGURIDAD CIUDADANA	
SUBGERENTE: ING. GUSTAVO ADOLFO MAJORQUELIVAR	
Datum: WGS84 - Zona 18 S Fuente: SENAMHI Elaborado por:	
Escala: 1/100 000 Fecha: 2023	
Elaborado por: Ing. Jesús Velásquez	





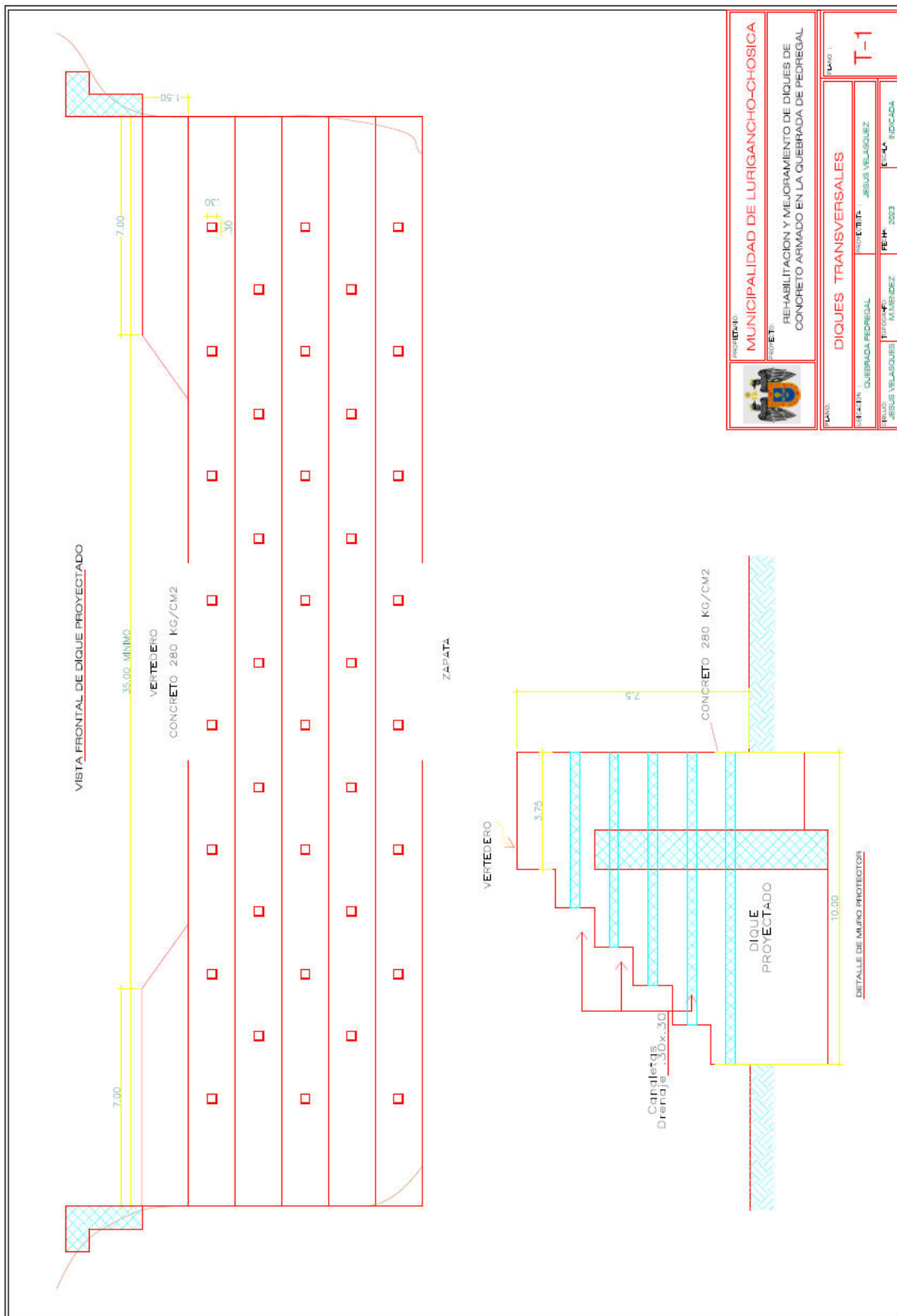
	MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO	
	MAPA DE MODELAMIENTO HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA PEDREGAL	
GERENCIA DE SEGURIDAD CIUDADANA		
SUB GERENCIA DE DEFENSA CIVIL		
ALCALDE: ING. OSWALDO VARGAS CUELLAR		
SUBGERENTE: ING. GUSTAVO ADOLFO MAYOR ROLIVAR		
Datum: WGS84 - Zona 18S		Fuente: INGEVMIET
Escala: 1/70 000		Fecha: 2024
Elaborado por: Bach. Claudia Escudero Camarena		





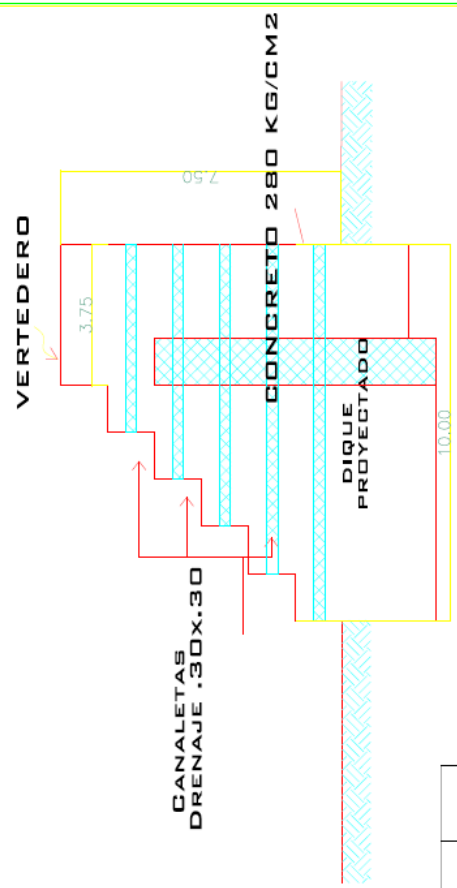
	MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO
	MAPA DE UBICACIÓN DIQUE PEDREGAL
	GERENCIA DE SEGURIDAD CIUDADANA
	SUB GERENCIA DE DEFENSA CIVIL
	ALCALDE: ING. OSWALDO VAÑEGAS CUELLAR
	SUBGERENTE: ING. GUSTAVO ADOLFO MAYOR BOLIVAR
	Fuente: MDI-SGDF
	Elaborado por: [Name]
	Fecha: 2023
	Datum: WGS84 - Zona 18S
	Escala: 1/20 000





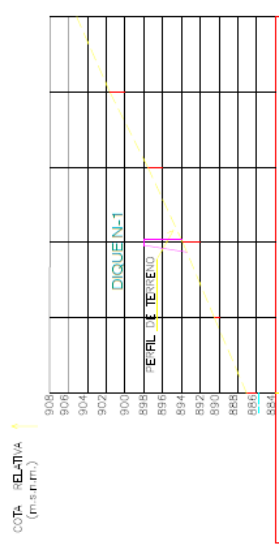
		MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO-CHOSICA	
PROYECTO		REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE DIQUES DE CONCRETO ARMADO EN LA QUEBRADA DE PEDREGAL	
LUGAR	QUEBRADA PEDREGAL	PROYECTISTA	JESUS VELASQUEZ
PROYECTADO POR	VELASQUEZ	FECHA	2023
TIPO DE OBRA		E-M-O INDICADA	
LADO 1			
T-1			

DIQUE PROYECTADO



DETALLE DE MURO PROTECTOR

DIMENSIONES DEL DIQUE	
Ancho de base	10.00 mts.
Ancho en cima	3.75 mts.
Longitud	35.00 mts.
Altura desde NT	7.50 mts.



PENDIENTE	COTA RASANTE	COTA TERRENO	DIST. ACUMULADA	DIST. PARCIAL	PROGRESIVA
		986.537	0+000	20.00m	0+000
		890.248	0+020	20.00m	0+020
		893.925	0+040	20.00m	0+040
		897.783	0+060	20.00m	0+060
		900.797	0+080	20.00m	0+080
		905.565	0+100	20.00m	0+100

PERFIL LONGITUDINAL - CAUCE DE HUAYCO (lado derecho)

ES: H=1/1,000
V= 1/400

		PROPIETARIO: MUNICIPALIDAD DE LURIGANCHO-CHOSICA	
PROYECTO: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE DIQUES DE CONCRETO ARMADO EN LA QUEBRADA DE PEDREGAL.		PLANO: T-3	
PLANO: DIQUES TRANSVERSALES		PROYECTISTA: JESUS VELASQUEZ	
UBICACION: QUEBRADA PEDREGAL		TOPOGRAFIA: JESUS VELASQUEZ	
DISEÑO: JESUS VELASQUEZ		FECHA: 2023	
REGALADO: JESUS VELASQUEZ		REGALADO: JESUS VELASQUEZ	

