UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Plan de gestión integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada

El Pedregal, Chosica

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(AS)

Delgado Ascarza, Carol Janet ([0000-0003-3777-2867](#))

Tamayo López, Guiliana Andrea ([0000-0002-5134-3295](#))

ASESORA

Silva Dávila, Marisa Rosana ([0000-0003-4910-5252](#))

Lima, 10 de diciembre de 2020

DEDICATORIA

A mis padres Hernán y Janet, por ser mi fortaleza y los pilares fundamentales de mi formación personal y profesional, por brindarme su amor, apoyo incondicional y su motivación eterna para levantarme ante las adversidades, nunca rendirme y luchar por alcanzar mis metas y sueños.

A mi hermano Jesús, mi ángel que está en el cielo.

A mis abuelitos, mi familia en general y amigos que me apoyaron y confiaron siempre en mí durante el desarrollo de la presente tesis.

Carol

La presente tesis está dedicada de manera especial a mis padres Walter Tamayo e Ysabel López, porque siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo y consejos para ser una mejor persona. Han contribuido incondicionalmente a lo largo de mi formación personal y profesional, por lo que estaré infinitamente agradecida.

A mis abuelos, familia en general, profesores y amigos, por estar presente en esta etapa tan importante de mi vida.

Guiliana

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por acompañarnos y guiarnos a lo largo de nuestra carrera y por darnos la fuerza para poder superar los obstáculos y dificultades a lo largo de nuestras vidas.

Agradecemos a nuestros padres por su infinito apoyo, por los valores inculcados y por darnos la oportunidad de tener una excelente educación.

Agradecemos especialmente a nuestra asesora MSc. Ing. Marisa Silva por brindarnos sus conocimientos, su experiencia, paciencia y motivación para el desarrollo de la presente investigación.

Agradecemos a nuestros jurados los ingenieros Sissi Santos, Fernando Montesinos y Mitchel Jara por contribuir con sus sugerencias a la mejora continua de la presente investigación.

Y agradecemos a todas las personas que apoyaron de forma directa o indirecta para el desarrollo y culminación de la presente investigación.

Carol y Guiliana

RESUMEN

La quebrada El Pedregal viene siendo afectada por la generación de flujo de escombros o huaicos que ocasionan pérdida de vida, daños a la infraestructura, a la salud y medioambientales. En 1987 un huaico provocó aproximadamente 100 fallecidos y 1000 viviendas fueron destruidas (Abad, 2009). Los huaicos son originados por las fuertes y/o constantes precipitaciones, el Fenómeno del Niño y condiciones naturales desfavorables de pendiente, geología, drenaje y forma de la subcuenca. Adicionalmente, el establecimiento de población en zonas de riesgo, el déficit de las medidas de prevención y mitigación e inadecuada planificación ante la ocurrencia de huaicos reflejan la vulnerabilidad existente, lo que generan el problema principal que es el alto riesgo que hay en la quebrada El Pedregal por ocurrencia de huaicos.

Ante esta problemática, el objetivo general de la presente tesis es formular un plan de gestión integral de riesgo de desastre conformado por medidas de corrección y prevención tanto estructurales como no estructurales, para contribuir a la reducción de daños ocasionados por los huaicos. Para lo cual, se estudió el marco teórico, se recolectó y/o procesó información hidrológica, topográfica, geológica, geomorfológica, geotécnica, climatológica, e información de la ocurrencia de huaicos extraordinarios para el estudio básico de la quebrada. Se analizó la eficacia de medidas estructurales existentes como diques de mampostearía, dique de concreto ciclópeo y barreras dinámicas; y medidas no estructurales como la delimitación de la faja marginal y el sistema de alerta temprana piloto, siendo estas acciones aisladas no conformantes de un plan. Puesto que, no es posible actuar sobre el peligro natural se actúa sobre la vulnerabilidad, revirtiendo o mitigando las causas que la genera y de esta manera reducir el alto riesgo de la zona.

En base a este diagnóstico se formuló y evaluó alternativas de medidas de corrección y prevención, para seleccionar y proponer las más adecuadas que conformen el plan. Es así como se realizó un análisis comparativo de cuatro medidas estructurales como la barrera dinámica, el dique de mampostería, el dique de concreto ciclópeo y la presa SABO, como alternativas de solución para revertir el déficit de las medidas de prevención y mitigación.

Se seleccionó la barrera dinámica como la estructura más eficiente debido a sus características de funcionamiento, construcción, su capacidad de retención y su menor costo por cada m³ de volumen de material de huaico retenido. Asimismo, se estimó el volumen de producción y retención para un futuro huaico y comprobado el predimensionamiento y la estabilidad de las barreras en el software DEBFLOW, se propone como medida estructural de prevención la implementación de dos nuevas barreras dinámicas N°05 y N°06. Además se propone como otra medida estructural de prevención la incorporación de sensores de alerta temprana en la barrera dinámica N°03 y N°06. Sobre las medidas de prevención no estructurales para revertir la inadecuada planificación ante la ocurrencia de huaicos se proponen las capacitaciones periódicas de resiliencia, de seguridad y salud, con la intención de preparar a la población para una respuesta más efectiva ante eventos de huaicos y el fortalecimiento de la institucionalidad local y cofinanciamiento para el plan. Respecto a la ocupación del territorio por parte de la población para establecer sus viviendas en zonas de riesgo, se propone como medida no estructural de corrección el desarrollo de charlas de sensibilización y concientización sobre la preservación y cuidado de la faja marginal. Estas medidas se establecieron en el plan de gestión integral que, a su vez, está estructurado por los subplanes de acciones de prevención, de emergencia, de recuperación y rehabilitación y de monitoreo. Esta propuesta engloba la gestión integral y la gestión de riesgo de desastres, que busca la integración, articulación y coordinación de las acciones, recursos y participantes con la finalidad de contribuir a la reducción del riesgo, esperando reducir las pérdidas de vidas (de 100 a 0 fallecidos), daños a la infraestructura (de 1000 a 0 viviendas dañadas) y entre otros daños sociales, económicos y ambientales.

La validación para determinar la viabilidad y fiabilidad para la implementación del Plan de Gestión Integral se desarrolló a través del método de juicio de expertos. Asimismo, se realizó una evaluación económica para verificar la viabilidad y factibilidad de la inversión del Plan de Gestión Integral. Y finalmente se realiza la validación del contenido del plan mediante el uso de herramientas modernas de ingeniería que incluyen, entre otras, las experiencias de entidades especialistas que cuentan con leyes, reglamentos, guías técnicas y planes estratégicos a nivel macro.

Palabras clave: Flujo de escombros; riesgo de desastre; vulnerabilidad; peligro; barrera dinámica; plan de gestión integral de riesgo de desastre; quebrada El Pedregal

Integrated Management Plan to reduce damage caused by debris flow, El Pedregal creek,
Chosica

ABSTRACT

El Pedregal Creek has been affected by the generation of debris flow that causes loss of life, damage to infrastructure, health and environment. In 1987, one of the most catastrophic landslide in the area appeared, with approximately 100 deaths and 1000 destroyed homes (Abad, 2009). Debris flow are caused by heavy and/or constant rainfall, the El Niño phenomenon and unfavorable natural conditions of slope, geology, drainage and shape of the sub-basin. In addition, the establishment of settlements in risk areas, the deficit of adequate prevention and mitigation measures and uncoordinated and uncertain planning for the occurrence of debris flow, reflect the existing vulnerability, which generates the main problem that is the high risk that exist in El Pedregal Creek.

Faced with this problem, the general objective of this thesis is to formulate an integral management plan for disaster risk, made up of structural and non-structural correction and prevention measures, in order to contribute to the reduction of damages caused by debris flow. For this reason, the theoretical framework was studied, hydrological, topographical, geological, geomorphological, geotechnical and climatological information was collected and/or process, as well as a historical series of the occurrence of extraordinary floods the basic study of the stream. The effectiveness of existing structural measures such as masonry dikes, cyclopean concrete dikes and dynamic barriers was analyzed; and non-structural measures such as the delimitation of the marginal strip and the pilot early warning system, being these isolated actions not part of a plan. Since it is not possible to act on the natural danger, vulnerability will be carried out, reversing or mitigating the causes that generate it and in this way efforts will be made to reduce the high risk of the area.

On the basis of this diagnosis, alternatives to correction and prevention measures were formulated and evaluated, to select and propose the most appropriate ones to make up the plan. This is how a comparative analysis of four structural measures was carried out, the

dynamic barrier, the masonry dyke, the cyclopean concrete dyke and Sabo dam, as solution alternatives to revert the deficit of prevention and mitigation measures. The dynamic barrier was selected as the most efficient structure due to its performance characteristics, construction, its retention capacity and its lower cost per m³ of volume of retained leached material. Likewise, the production and retention volume was estimated for a future shaft and the pre-dimensioning and stability of the barriers in the DEBFLOW software was verified. The implementation of two new dynamic barriers, No. 05 and No. 06, was proposed as a structural prevention measure. In addition, it is proposed as another structural prevention measure the incorporation of early warning sensors in the dynamic barrier N°03 and N°06. Regarding the non-structural prevention measures to reverse the inadequate planning for the occurrence of debris flow, periodic training on resilience, safety and health is proposed, with the intention of preparing the population for a more effective response to debris flow events and the strengthening of local institutions and co-financing for the plan. Regarding the occupation of the territory by the population to establish their homes in risk areas, it is proposed as a non-structural measure of correction the development of talks of sensitization and awareness about the preservation and care of the marginal strip. These measures were established in the integral management plan which, in turn, is structured by the sub-plans of prevention, emergency, recovery and rehabilitation actions and monitoring. This proposal encompasses integrated management and disaster risk management, which seeks the integration, articulation and coordination of actions, resources and participants in order to contribute to risk reduction, hoping to reduce loss of life (from 100 to 0 deaths), damage to infrastructure (from 1000 to 0 damaged homes) and among other social, economic and environmental damage.

The validation to determine the viability and reliability for the implementation of the Integral Management Plan was developed through the expert judgment method. Likewise, an economic evaluation was carried out to verify the viability and feasibility of the investment of the Integral Management Plan. And finally, the validation of the content of the plan is carried out through the use of modern engineering tools that include, among others, the experiences of specialized entities that have laws, regulations, technical guides and strategic plans at the macro level.

Keywords: Debris flow; disaster risk; vulnerability; hazard; dynamic barrier; integrated disaster risk management plan; El Pedregal creek

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	19
ANTECEDENTES	19
REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	20
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	23
HIPÓTESIS.....	23
OBJETIVO GENERAL.....	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
1. MARCO TEÓRICO.....	24
1.1 Flujo de escombros	24
1.2 Peligro.....	25
1.3 Vulnerabilidad	25
1.4 Riesgo de desastre	26
1.5 Causas naturales	27
1.5.1 Fuertes Lluvias	27
1.5.2 Fenómeno El Niño.....	28
1.5.3 Pendientes fuertes	29
1.5.4 Tipos de suelos y rocas	30
1.6 Causas Antrópicas	30
1.7 Medidas de Corrección.....	30

1.8	Medidas de Prevención.....	30
1.9	Medidas estructurales	31
1.10	Medidas no estructurales	31
1.11	Gestión Integral	31
1.11.1	Plan Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)	32
1.11.2	Gestión de Riesgo de Desastres (GRD).....	33
1.11.3	Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD	35
1.11.4	Metodología CENEPRED	37
1.12	Términos Hidrológicos	38
1.12.1	Subcuenca.....	38
1.12.2	Precipitación máxima anual en 24 horas	38
1.12.3	Periodo de Retorno	39
1.12.4	Hietograma	39
1.12.5	Precipitación efectiva	39
1.12.6	Caudal máximo.....	39
1.12.7	Hidrograma Unitario.....	39
2	MATERIAL Y MÉTODOS.....	41
2.1	Material.....	41
2.1.1	Población	41
2.1.2	Muestra	41
2.2	Método.....	41
2.2.1	Nivel de Investigación	41
2.2.2	Diseño de Investigación.....	42
2.2.3	Variables de estudio y operacionalización	44
2.2.4	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	45
2.2.5	Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos	46
3	ESTUDIO DE LA QUEBRADA EL PEDREGAL.....	49

3.1	Revisión de la información básica.....	49
3.1.1	Ubicación.....	49
3.1.2	Topografía	51
3.1.3	Clima y Vegetación	52
3.1.4	Geología y Geomorfología	53
3.1.5	Geotecnia	56
3.1.6	Hidrología.....	56
3.1.7	Estudio de flujo de escombros extraordinarios.....	94
3.1.8	Población	102
3.2	Análisis de la Eficacia de las medidas existentes	107
3.2.1	Análisis de las medidas estructurales existentes.....	109
3.2.2	Análisis de las medidas no estructurales existentes	123
3.2.3	Análisis Institucional	132
3.2.4	Análisis Económico.....	133
3.2.5	Análisis Social	135
3.3	Evaluación del Riesgo frente a los efectos del huaico.....	136
3.3.1	Evaluación del Peligro.....	136
3.3.2	Evaluación de la Vulnerabilidad	139
3.3.3	Evaluación de Riesgo	142
4	FORMULACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL.....	147
4.1	Medidas de Corrección.....	147
4.1.1	Medidas Estructurales de Corrección	147
4.1.2	Medidas No Estructurales de Corrección	149
4.2	Medidas de Prevención.....	151
4.2.1	Medidas Estructurales de Prevención.....	152
4.2.2	Medidas No Estructurales de Prevención.....	174
4.3	Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada El Pedregal, Chosica	179
4.3.1	Participantes y Roles	182

4.3.2	Estructura del Plan.....	183
4.3.3	Etapas del Plan	184
4.3.4	Plan de Acciones de Prevención.....	184
4.3.5	Plan de Emergencia	187
4.3.6	Plan de Rehabilitación y Recuperación	189
4.3.7	Plan de Monitoreo	192
4.3.8	Presupuesto del Plan.....	194
4.3.9	Cronograma de ejecución del Plan	195
5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	196
5.1	Verificación de Resultados.....	196
5.1.1	Validación mediante el método de Juicio de Expertos.....	196
5.1.2	Validación mediante evaluación económica	200
5.1.3	Validación en base a la normativa vigente y el uso de herramientas de ingeniería 203	
5.2	Discusión	205
6	CONCLUSIONES	215
7	RECOMENDACIONES	222
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	223
9	ANEXOS	241

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Rangos respectivos para clasificar la precipitación acumulada diaria (mm) en la zona de Chosica	28
Tabla 2: Categorización de la pendiente por Van Zuidam	29
Tabla 3: Medidas del Eje de política 5 de adaptación al cambio climático y eventos extremos.	33
Tabla 4: <i>Variables de estudio y operacionalización</i>	44
Tabla 5: <i>Coordenadas UTM de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.</i>	49
Tabla 6: <i>Zonificación de la subcuenca El Pedregal</i>	51
Tabla 7: <i>Parámetros Geotécnicos del cauce de la quebrada El Pedregal.</i>	56
Tabla 8: <i>Clasificación del índice de Compacidad o Gravelius</i>	59
Tabla 9: <i>Determinación de la pendiente media de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.</i>	60
Tabla 10: <i>Cálculos de la curva hipsométrica y frecuencia de altitudes y altitud media.</i> ...	63
Tabla 11: <i>Cálculo de la relación de bifurcación de la subcuenca de la quebrada El Pedregal</i>	66
Tabla 12: <i>Rangos de la densidad de drenaje de una cuenca</i>	67
Tabla 13: <i>Resumen de resultados del cálculo del Tiempo de Concentración</i>	68
Tabla 14: <i>Tiempo de Concentración determinado</i>	69
Tabla 15: <i>Resumen de parámetros geomorfológicos calculados</i>	69
Tabla 16: <i>Coordenadas geográficas de 5 estaciones.</i>	70
Tabla 17: <i>Precipitación máxima anual en 24 horas.</i>	70
Tabla 18: <i>Precipitación anual máxima en 24 horas.</i>	72
Tabla 19: <i>Datos de las estaciones meteorológicas.</i>	73
Tabla 20: <i>Resultados obtenidos de la ecuación característica</i>	75
Tabla 21: <i>Calculo de Precipitaciones Máximas en 24 h para cada periodo de retoro mediante el método de Gumbel.</i>	76
Tabla 22: <i>Valores del parámetro n que junto a otros parámetros definen las curvas de probabilidad pluviométrica en cada punto de las sub zonas.</i>	77
Tabla 23: <i>Valores del coeficiente K determinado para cada periodo de retorno.</i>	79
Tabla 24: <i>Datos para la determinación de la precipitación máxima en intervalos de tiempo de media hora para un periodo de retorno de 100 años</i>	79

Tabla 25: <i>Resultados para la determinación de la precipitación máxima en 24 hr en intervalos de tiempo de media hora para un periodo de retorno de 100 años.</i>	80
Tabla 26: Grupo Hidrológico de la quebrada El Pedregal	82
Tabla 27: Números de Curvas para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo – vegetación.....	83
Tabla 28: <i>Resultados del cálculo de la precipitación efectiva para diferentes periodos de retorno</i>	84
Tabla 29: <i>Resultados del cálculo de la precipitación efectiva para un periodo de retorno de 100 años</i>	85
Tabla 30: <i>Resumen de los resultados obtenidos de precipitación efectiva parcial para cada periodo de retorno.</i>	86
Tabla 31: <i>Precipitación neta para cada periodo de retorno ordenado.</i>	87
Tabla 32: <i>Coordenadas UTM en sistema WGS 84, de punto referencial del tramo en el que se ubica la sección de control de calibración.</i>	91
Tabla 33: Valores seleccionados para cálculo del coeficiente de rugosidad.....	92
Tabla 34: <i>Valores empleados y caudal máximo obtenido en la sección de control de calibración a partir de la ecuación de Manning</i>	92
Tabla 35: <i>Resultados de caudales máximos calculados para la subcuenca de la quebrada El Pedregal en el punto de salida para periodos de retorno de 100 y 500 años</i>	93
Tabla 36: <i>Resultados de caudales máximos calculados, en el punto referencial de la sección de control de calibración</i>	93
Tabla 37: <i>Análisis de frecuencia.</i>	99
Tabla 38: <i>Estimación de periodo de Retorno Observado de eventos de huaicos en la quebrada El Pedregal</i>	100
Tabla 39: <i>Coordenadas UTM de las Barreras Dinámicas instaladas en la quebrada El Pedregal</i>	116
Tabla 40: <i>Características de las Barreras Geodinámicas de la Quebrada El Pedregal</i> ...	117
Tabla 41: <i>Coordenadas del dique halladas en campo</i>	122
Tabla 42: <i>Ancho mínimo de faja marginal en cuerpos de agua</i>	125
Tabla 43: <i>Relación de hitos georreferenciados para la señalización de la faja Marginal, margen derecha.</i>	126
Tabla 44: <i>Relación de hitos georreferenciados para la señalización de la faja Marginal, margen izquierda.</i>	127

Tabla 45: <i>Resumen de inversión total en obras de mitigación de desastres ejecutadas por entidades del estado y privadas en la quebrada El Pedregal en el periodo 2014 – 2019</i>	134
Tabla 46: Presupuesto del Proyecto JICA	134
Tabla 47: <i>Niveles de Peligrosidad</i>	137
Tabla 48: Niveles de Vulnerabilidad.....	140
Tabla 49: <i>Matriz de Zonificación de Riesgos</i>	142
Tabla 50: <i>Niveles de Riesgo</i>	143
Tabla 51: <i>Viviendas y Habitantes en riesgo en la quebrada El Pedregal por ocurrencia de huaico</i>	145
Tabla 52: <i>Resumen de presupuestos totales y reajustados al año 2019 de alternativas..</i>	153
Tabla 53: <i>Tabla comparativa de las cuatro alternativas</i>	159
Tabla 54: <i>Coordenadas de ubicación de BM y barreras dinámicas futuras</i>	161
Tabla 55: <i>Dimensiones y tipos de barreras proyectadas</i>	162
Tabla 56: <i>Capacidad de retención estimado para barreras N°01 – N°04</i>	163
Tabla 57: <i>Capacidad de retención observada en el año 2017</i>	163
Tabla 58: <i>Volumen de retención estimado para barreras N°05 y N°06</i>	164
Tabla 59: <i>Volumen estimado de producción de sedimentos en la quebrada El Pedregal mediante la fórmula empírica de JICA</i>	167
Tabla 60: <i>Correcciones de volúmenes de producción estimados de sedimentos máximos en la quebrada El Pedregal.</i>	168
Tabla 61: <i>Resumen de volúmenes de producción y retención calculados en la quebrada El Pedregal</i>	168
Tabla 62: <i>Resumen de resultados obtenidos en software DEBFLOW</i>	169
Tabla 63: <i>Datos técnicos de la barrera geodinámica UX180-H6</i>	170
Tabla 64: <i>Interpretación de la señal emitida por los verniers con sensores</i>	173
Tabla 65: <i>Presupuesto resumen del Plan</i>	194
Tabla 66: <i>Resumen de información básica de expertos participantes de la primera y segunda ronda</i>	197
Tabla 67: <i>Resumen de información básica de expertos participantes de la segunda ronda</i>	198
Tabla 68: <i>Análisis estadísticos de juicio de expertos</i>	199
Tabla 69: <i>Resultados de Evaluación Económica de Alternativa 1: Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos quebrada El Pedregal</i>	202

Tabla 70: <i>Resultados de Evaluación Económica de Alternativa 2: Plan Maestro sobre el proyecto de prevención de desastres en la cuenca del Rio Rímac, por JICA – Presa SABO</i>	202
Tabla 71: <i>Detalle de lineamientos que el Plan de Gestión integral cumple en su contenido</i>	203
Tabla 72: <i>Resultados estimados y obtenidos por el software DEBFLOW</i>	207
Tabla 73: <i>Resumen de resultados de Evaluación Económica de Alternativa 1 y 2</i>	214

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1. Diagrama secuencial de Objetivos Específicos.....	43
Figura. 2. Ubicación Geográfica de la subcuenca El Pedregal.....	50
Figura. 3. Matorral arbustivo obstruido por viviendas construidas en la zona media de la quebrada.....	53
Figura. 4. Macizo rocoso ubicada en los cerros de la quebrada El Pedregal.....	54
Figura. 5. Bloques de roca en cauce de la quebrada, zona media.	55
Figura. 6. Gravas y cantos de formas angulosas a redondeada de diversos tamaños.	55
Figura.7. Curva Hipsométrica, frecuencia de altitudes y altitud media de la quebrada El Pedregal.	64
Figura. 8. Representación gráfica de los métodos de Horton y Strahler para el cálculo del orden de corrientes.....	65
Figura. 9. Ajuste de la media y la desviación típica de las series anuales por longitud de registro.	73
Figura. 10. Relación entre el promedio de la precipitación máxima en 24hr y la altitud de las 05 estaciones.	74
Figura. 11. Relación entre desviación típica con la altitud de cada estación de las 05 estaciones.....	74
Figura. 12. Hietograma de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.....	88
Figura. 13. Hidrograma de Caudales máximos calculados de la Subcuenca de la quebrada El Pedregal para un periodo de retorno de 100 años.	89
Figura. 14. Hidrograma de Caudales máximos calculados de la subcuenca de la quebrada El Pedregal para un periodo de retorno de 500 años.	89
Figura. 15. Zona afectada del sector San Antonio de Pedregal.....	95
Figura. 16. Viviendas afectadas por el impacto de grandes bloques en la quebrada El Pedregal en 1987. Fuente: Huaycos en 1987 en el distrito de Luriganchos- Chosica (Lima-Perú), por Abad, 2009	95
Figura. 17. Viviendas arrasadas por el flujo del huaico en la Quebrada el Pedregal en 1987.	95
Figura. 18. Vivienda dañada por huaico en la quebrada el Pedregal en 2017.....	98
Figura. 19. Damnificados por huaico en la quebrada el Pedregal en 2017.	98
Figura. 20. Contaminación ambiental en la quebrada el Pedregal después de huaico del 2017.	98

Figura. 21. Vivienda e infraestructura afectada en la quebrada el Pedregal después de huaico del 2017.	98
Figura. 22. Infraestructura colapsada después de huaico del 2017.	98
Figura. 23. Imagen satelital de la quebrada El Pedregal en el año 2003.	103
Figura. 24. Imagen satelital de la quebrada El Pedregal en el año 2019.	103
Figura. 25. Mapa de la zonificación vigente de la zona urbana de la quebrada El Pedregal	105
Figura. 26. Construcciones de ladrillo confinado en la de la quebrada El Pedregal (zona media)	106
Figura. 27. Construcciones precarias en zonas de riesgo cerca al cauce de la quebrada El Pedregal.	106
Figura. 28. Muro de contención de mampostería de piedra proyectado en la quebrada. .	109
Figura. 29. Muro de contención de mampostería de piedra en la quebrada El Pedregal destruido y socavado.	110
Figura. 30. Mapa de Ubicación de los 15 diques de la quebrada El Pedregal.....	111
Figura. 31. Dique N°15 colmatado y dañado en la quebrada El Pedregal	112
Figura. 32. Dique N°12 colapsado en la quebrada El Pedregal.....	112
Figura. 33. Descolmatación en cauce de la quebrada El Pedregal	114
Figura. 34. Componentes de Barrera Dinámica típica.....	115
Figura. 35. Ubicación de las barreras dinámicas instaladas en la quebrada El Pedregal .	116
Figura. 36. Muestra de la terraza sedimentada aguas arriba de la barrera N° 02.	118
Figura. 37. Desprendimiento de concreto y proceso de corrosión de los dados de concreto de barreras dinámicas N°02.....	118
Figura. 38. Desprendimiento de malla de la barrera dinámica N°04	119
Figura. 39. Camino de acceso en la quebrada El Pedregal.....	120
Figura. 40. Barrera dinámica N° 03 colmatada, 2017	121
Figura. 41. Barrera dinámica N° 03 descolmatada, 2019.....	121
Figura. 42. Dique en la quebrada El Pedregal	122
Figura. 43. Ubicación de dique en la quebrada El Pedregal.....	122
Figura. 44. Vista en planta y frontal del área de la faja marginal.....	124
Figura. 45. Delimitación de la Faja Marginal.....	129
Figura. 46. Mapa de peligro de la quebrada el Pedregal	138
Figura. 47. Mapa de Vulnerabilidad de la quebrada El Pedregal	141

Figura. 48. Mapa de Riesgo en la quebrada El Pedregal	144
Figura. 49. Piedras y bolones en la parte lateral del cauce del huaico en la Quebrada El Pedregal	148
Figura. 50. Delimitación de la Faja Marginal de la Quebrada El Pedregal	150
Figura. 51. Imagen satelital y volumen retenido estimado de dique de mampostería.....	154
Figura. 52. Imagen satelital y volumen retenido estimado de dique seco de concreto ciclópeo en la quebrada El Pedregal.	154
Figura. 53. Imagen satelital y volumen retenido estimado de Barrera Dinámica N°03 en la quebrada El Pedregal.	155
Figura. 54. Impacto y deterioro de talud aguas debajo de dique de mampostería o de concreto ciclópeo.....	157
Figura. 55. Flexibilidad de la barrera dinámica N°03 después del huaico 2017	157
Figura. 56. Proceso de impacto de material rocoso con el cauce, sin dañar el talud aguas abajo de la barrera dinámica.	158
Figura. 57. Drenaje de huaico en las barreras dinámicas	158
Figura. 58. BM establecido para el estudio, ubicación de la barrera N°05	161
Figura. 59. Ubicación de la barrera N°06.....	161
Figura. 60. Ubicación de las Barreras dinámicas implementadas y propuestas en la Quebrada El Pedregal.....	161
Figura. 61. Mapa de áreas que ocuparía el material de huaico que permite determinar los volúmenes de retención estimados para Barreras N°01 – N°06.....	165
Figura. 62. Esquema de las componentes de la barrera UX.....	171
Figura. 63. Detalle de la sección transversal de barrera UX	171
Figura. 64. Esquema de vernier con sensor instalado en barrera dinámica.....	173
Figura. 65. Esquema de vernier con sensor activado indicando colmatación de la barrera.	173
Figura. 66. Esquema de conceptos, antecedentes y metodologías considerados para la formulación del Plan.....	180
Figura. 67. Esquema de enfoques del Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada El Pedregal, Chosica.	181
Figura. 68: Participantes y roles del Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada El Pedregal, Chosica.....	182

Figura. 69. Estructura del plan de gestión integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada El Pedregal, Chosica.	183
Figura. 70. Etapas del plan	184
Figura. 71. Plan de Acciones de Prevención para la quebrada El Pedregal.	186
Figura. 72. Plan de Emergencia para la Quebrada El Pedregal.	188
Figura. 73. Plan de rehabilitación y recuperación	191
Figura. 74. Plan de rehabilitación y recuperación	193
Figura. 75. Valoración promedio de Expertos.....	199

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Las áreas andinas de Perú, presentan una serie de fenómenos y peligros naturales que generan un gran impacto en la sociedad y en la economía, siendo el flujo de escombros un desastre que se da con mayor frecuencia.

El flujo de escombros, conocido como huaico en el Perú, usualmente se relaciona con fuertes lluvias de índices pluviométricos excepcionales muy altos y aunque la ausencia de vegetación es un factor influyente, no necesariamente es un requisito para que ocurran. Los huaicos forman una masa de sedimentos no consolidados que son transportados a lo largo de un cauce y al disminuirse la pendiente o al ampliarse el ancho del cauce, los sedimentos del flujo se depositan formando abanicos (Suarez, 2009).

Gallarday y Malca (2014) mencionan que una de las metodologías para obtener inicialmente una percepción del alcance que tienen y tuvieron en el pasado estos eventos de huaicos es la inspección ocular, basándose en la verificación in situ de la zona de estudio y así se evalúan las ocurrencias en el espacio y tiempo de los flujos de escombros y los registros meteorológicos de la zona.

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), como órgano rector del Sistema Nacional de Defensa Civil encargado de las acciones de prevención y atención de desastres para la protección de la población y el patrimonio de nuestro país, menciona que estos fenómenos son una amenaza para la zona urbana de Chosica y su entorno (INDECI, 2005).

En la quebrada El Pedregal perteneciente al distrito de Lurigancho- Chosica existen referencias sobre eventos de huaicos desde 1909, entre los cuales uno de los más catastróficos fue el ocurrido el 9 de marzo de 1987 debido a que se reportaron aproximadamente 100 fallecidos y 1000 viviendas destruidas (Abad, 2009). También se reportaron daños notables en 1998, 2015 e incluso en el año 2017. Antes de que ocurriera el evento de 1987, en la quebrada El Pedregal no se habían reportado eventos de huaicos

significativos y muchos pobladores se apropiaron de terrenos de manera formal e informal, obstruyendo el cauce natural de la quebrada. Por tal motivo, a partir del año 1987, la quebrada presentó mayores registros de daños (Guadalupe y Carrillo, 2012).

Entidades públicas y privadas realizaron estudios en la quebrada y construyeron diques de disipación de energía y muros de contención que ayudaron a reducir el peligro y mitigar los daños durante la ocurrencia del huaico del 2012 (Guadalupe y Carrillo, 2012).

Sin embargo, en el año 2015 nuevamente se presentaron daños, por lo que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) junto a entidades internacionales desarrolló ensayos experimentales con este tipo de eventos y pusieron en marcha la instalación de barreras dinámicas.

Por otro lado para finales del 2016 INDECI, junto a ONG implementaron el proyecto piloto de un Sistema de Alerta Temprana ante huaicos en la quebrada El Pedregal. No obstante en el huaico del 2017 siguieron presentándose daños pese a las obras y SAT implementado (ANA, 2016).

En el transcurso de la presente tesis se investigará y se detallará las obras realizadas indicando la fecha en que se implementaron, el organismo o institución responsable así como su eficacia durante los eventos pasados y su estado actual.

Realidad Problemática

La quebrada El Pedregal, que es el escenario a investigar, está ubicada en el distrito de Lurigancho - Chosica, en la margen derecha del río Rímac. El problema principal y actual es el “Alto riesgo en la quebrada El Pedregal por ocurrencia de huaicos”.

El huaico se genera en forma natural y está relacionado con las fuertes precipitaciones pluviales y las características de la subcuenca como su forma, su pendiente y el material que la conforma. Sin embargo, el riesgo de la zona y los desastres ocurridos están directamente

relacionados al desarrollo urbano que no presenta una adecuada planificación y que por mucho tiempo no ha tomado en cuenta los peligros (Abad, 2009).

En el anexo 1 se presenta el árbol de causas y efectos del problema principal de la zona de estudio. Las causas primarias determinadas en el árbol de causas y efectos son las siguientes:

- **Ocupación del territorio por parte de la población para establecer sus viviendas en zonas de riesgo**

Es una causa antrópica que influye en la vulnerabilidad de la zona, se debe a causas secundarias como el incremento de la población migrante (personas que por falta de oportunidades en provincias buscan establecerse en zonas cercanas a la capital Lima) que invade y establece sus viviendas en zonas de riesgo, la falta de recursos económicos de los pobladores que dificulta su instalación en zonas más seguras y la falta de concientización de los pobladores sobre la vulnerabilidad, peligro y el riesgo de la zona. Otra causa secundaria es la debilidad institucional del Gobierno Local por no hacer cumplir las leyes y permitir que los pobladores se instalen en zonas inadecuadas.

- **Déficit de medidas de prevención y mitigación e inadecuada planificación por ocurrencia de huaicos**

Es otra causa antrópica que influye en la vulnerabilidad de la zona, se debe a causas secundarias como la falta de concientización y capacitación de los pobladores sobre cómo actuar antes, durante y después de la ocurrencia de un huaico, el déficit de obras de mitigación dado que en los últimos eventos de huaicos ocurridos continuaron generándose daños, las acciones de mitigación aisladas no planificadas de entidades públicas y privadas que no son coordinadas ni integradas para alcanzar mejores resultados y el insuficiente financiamiento por parte del gobierno para la construcción de obras de mitigación de gran envergadura.

- **Condiciones naturales desfavorables de la quebrada El Pedregal**

Por otro lado, el peligro de la zona (probabilidad de ocurrencia de huaicos) se origina por causas naturales desfavorables como el fenómeno El Niño que generan lluvias fuertes y persistentes, generalmente en los meses de diciembre a marzo; pendientes fuertes que pueden generar deslizamientos y erosión del suelo ; fuertes lluvias generados en temporada de lluvias anuales, y por el tipo de suelo y roca que permiten la rápida meteorización, alteración y desintegración que forman acumulaciones de material suelto (suelos) que se localizan en las quebradas y que se saturan y son arrastrados por las lluvias.

Las consecuencias del problema principal descrito son los daños sociales, económicos y ambientales que se describen a continuación

- **Daños sociales**

La salud de la población se ve afectada por el estrés, la propagación de enfermedades como la gripe, infecciones gastrointestinales por cortes de servicio de agua y desagüe y las lamentables pérdidas humanas.

- **Daños económicos**

Las pérdidas económicas se deben a la destrucción de bienes y de infraestructura como edificaciones, carreteras, vías urbanas y agropecuarias, puentes, etc; a la interrupción de tránsito en la minería, productos agrícolas perecibles y pérdidas de horas hombre y el corte de servicios públicos como agua potable, luz y alcantarillado.

- **Daños ambientales**

Referidos principalmente a la contaminación por el arrastre de escombros, piedras y basura que genera el huaico y a la consecuente destrucción o alteración del hábitat.

Conocidas las causas y consecuencias del problema se pretende revertir la situación existente mediante la implementación de medidas de corrección y prevención estructurales y no estructurales que serán articuladas y formuladas en un Plan de Gestión Integral que permita la disminución de la vulnerabilidad, que a su vez reducirá el riesgo y por consiguiente contribuirá a la reducción de los daños.

Formulación del problema

¿Será posible reducir los daños causados por huaicos en la quebrada El Pedregal- Chosica a través de la implementación de un Plan de Gestión Integral de riesgo?

Hipótesis

Es posible contribuir a la reducción de daños producidos por huaicos mediante la implementación de medidas correctivas y preventivas estructurales y no estructurales tomando en cuenta un Plan de Gestión Integral de riesgo que se planteará en esta investigación.

Objetivo General

Formular el Plan de Gestión Integral de riesgo incluyendo las medidas de corrección y prevención estructurales y no estructurales para reducir los daños ocasionados por los huaicos en la quebrada El Pedregal, Chosica.

Objetivos Específicos

- Analizar la información básica y cuantificar las causas naturales (lluvias fuertes, pendientes fuertes, etc.).
- Analizar la falta o ineficacia de las medidas estructurales y no estructurales existentes y evaluar la vulnerabilidad, el peligro y el riesgo asociado a la ocurrencia de huaicos.
- Formular y evaluar las alternativas de corrección y prevención para seleccionar las más adecuadas.
- Establecer los planes de acciones de prevención, de respuesta a la emergencia y acciones post-evento así como el mecanismo de implementación.

1. MARCO TEÓRICO

Antes de proponer el Plan de Gestión Integral para reducir los daños ocasionados por huaicos en la zona de estudio, es necesario analizar ciertos fundamentos teóricos y diferentes puntos de vista de otros estudios que aportaran a la investigación. En el presente capítulo se desarrolla conceptos que serán tratados a lo largo de la tesis.

1.1 Flujo de escombros

La presente tesis se centra en el flujo de escombros que también es conocido como huaico en el Perú. Se define como un fenómeno geológico de drenaje natural que durante las fuertes lluvias produce erosión, transporte y depósitos rápidos y violentos de material suelto, en una cuenca con pendiente pronunciada (Guadalupe y Carrillo, 2012). El flujo de escombros puede ser considerado como una mezcla de tres componentes principales: agua, material fino y material granular (Rickenmann, 2016). Los efectos principales causados por los huaicos son: la erosión que se produce en el cauce de una cuenca y el enterramiento por depósitos de materiales, que generan como consecuencia destrucción de edificaciones, pérdidas humanas, daños en los medios de producción, infraestructura y salud. Su estudio es de vital importancia (Guadalupe y Carrillo, 2012).

Asimismo según Guadalupe y Carrillo (2012), en el área geográfica en la que se presenta el huaico se identifican las siguientes partes:

- **Cuenca de recepción:** Es la parte más grande y la parte alta de la cuenca, se caracteriza por tener pendientes empinadas que condicionan el flujo a través de pequeñas quebradas que se ubican en la parte más alta. En esta parte no se encuentran construcciones, por lo que usualmente no se generan daños.
- **Canal:** Las pequeñas quebradas que se encuentran en la cuenca de recepción se unen aguas abajo formando el canal de transporte, cuya característica es tener pendiente menos empinada por donde se desplaza el flujo del huaico. El canal baja en forma ondulada y sus paredes laterales son casi erguidas. En esta parte, en muchos lugares, la población invade el canal construyendo sus casas cerca de él y en máximas avenidas las construcciones son destruidas.

- **Conoide de deyección:** es denominado también abanico del huaico por su forma y corresponde a la parte final del huaico, donde se depositan los sedimentos. Esta parte cuenta con poca pendiente y grandes áreas, por lo tanto, allí es donde se agrupan las diversas edificaciones, carreteras, colegios, entidades públicas y privadas; las cuales pueden ser destruidas o enterradas con este tipo de evento.

1.2 Peligro

El peligro, es la probabilidad de que un fenómeno de origen natural o provocado por la actividad del hombre, ocurra en un determinado lugar, período de tiempo y frecuencia, que puede dañar un área poblada, infraestructura física o el medio ambiente. En otros países los documentos técnicos referidos al estudio de los fenómenos de origen natural utilizan el término amenaza, para referirse al peligro (CENEPRED, 2015).

Según CENEPRED (2015), el peligro se clasifica según su origen en:

- Peligros generados por fenómenos de origen natural, los cuales pueden subdividirse en aquellos originados por la geodinámica interna (sismos, tsunamis, etc.), los de geodinámica externa (movimientos de masa como caídas, deslizamientos de roca o suelo, flujo, etc.) y los hidrometeorológicos y oceanográficos (inundaciones, las granizadas, los oleajes anómalos, la sequía, el descenso de temperatura, las tormentas eléctricas, los vientos fuertes, etc.)
- Peligros generados por actividad del hombre, los cuales se subdividen en peligros físicos (exposición a radiación, a energía nuclear, etc), químicos (residuos y materiales peligrosos) y biológicos (residuos sanitarios, agentes biológicos, etc).

Para el desarrollo de la presente tesis solo se considera el estudio de peligros de origen natural (geodinámica externa).

1.3 Vulnerabilidad

Se define como la susceptibilidad de elementos como la población, estructura física o actividades socioeconómicas de sufrir daños por acción de un peligro de origen natural o causado por el ser humano, debido a la mala utilización de recursos, la excesiva

concentración poblacional, viviendas mal situadas, construcciones mal hechas, falta de seguridad, etc. Es importante recalcar que a diferencia del peligro, es más factible disminuir la vulnerabilidad de los elementos expuestos al peligro (CENEPRED, 2015).

Según CENEPRED (2015), la vulnerabilidad tiene tres dimensiones:

- Vulnerabilidad social: Refleja a la población expuesta en la zona de influencia del peligro de origen natural o antrópico.
- Vulnerabilidad económica: Referido a las actividades económicas o infraestructura expuesta en la zona de influencia del peligro de origen natural o antrópico.
- Vulnerabilidad ambiental: Asociado a la sensibilidad del medio ambiente a los daños de eventos extremos.

1.4 Riesgo de desastre

La palabra riesgo está ligada al peligro y la vulnerabilidad, por lo que se encuentra involucrada directamente con procesos naturales y estructuras sociales (Cubero y Carbajal, 2014).

El desastre es el conjunto de daños y pérdidas que ocurre a consecuencia del impacto de un peligro o amenaza cuya intensidad desestabiliza y altera el funcionamiento de una sociedad. (CENEPRED, s.f, p.1).

El riesgo de desastre se entiende como " la probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas a consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro " (CENEPRED, s.f, p.6).

Según CENEPRED (2015) la ecuación adaptada a la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres, manifiesta que el riesgo es una función $f(x)$ del peligro y la vulnerabilidad

$$R_{ie}|i_t = f(P_i, V_e)|i_t \quad (1)$$

Dónde:

R: Riesgo

f : En Función

P_i : Peligro con intensidad mayor o igual durante el periodo de exposición

V_e : Vulnerabilidad de un elemento expuesto

Los componentes del riesgo como el peligro y la vulnerabilidad, se representan por separado y son dinámicos, según las variaciones que sufren en el tiempo, en el territorio, en el ambiente y en la sociedad. El riesgo puede ser reducido en la medida que la sociedad procure cambios en alguno de sus componentes, no activando nuevos peligros, no generando nuevas condiciones de vulnerabilidad o reduciendo las vulnerabilidades existentes (CENEPRED, 2015).

1.5 Causas naturales

Es el conjunto de agentes o factores naturales que influyen de manera directa e indirecta sobre el riesgo de las poblaciones ante la generación de desastres. En el Perú existen zonas sensibles y vulnerables a estos agentes naturales. Los más resaltantes son mencionados a continuación:

1.5.1 Fuertes Lluvias

Se denomina precipitación a toda forma de humedad que originándose en las nubes caen a la superficie de la tierra y pueden presentarse en forma de lluvia, granizadas, garúas y nevadas. Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre y sus mediciones y análisis forman el punto de partida de los estudios respecto al uso y control del agua. Se denomina lluvia a la precipitación de agua líquida en la que las gotas son más grandes que las de una llovizna, generalmente con diámetros mayores a 0.5 mm (Villón, 2002).

Por otro lado, según Senamhi (2013) el régimen de precipitación y los rangos respectivos para clasificar o categorizar las precipitaciones o lluvias son distintas para un determinado lugar debido a sus características climáticas. De esta manera, en un estudio para la cuenca del río Rímac, Senamhi ha establecido rangos en los cuales la precipitación puede considerarse ligera hasta los rangos que corresponden a extraordinaria. En la tabla 1 se

muestra los rangos respectivos para clasificar la precipitación acumulada diaria específicamente en la zona de Chosica.

Tabla 1:

Rangos respectivos para clasificar la precipitación acumulada diaria (mm) en la zona de Chosica

Zona	Ligera	Moderada	Fuerte	Muy Fuerte	Extraordinaria
Chosica	$1.0 \leq$	1.1-5.0	5.1-7.8	7.9-17.6	≥ 17.7

Fuente: “Evaluación Climática de la precipitación en la cuenca del río Rímac y establecimiento de umbrales”, por Senamhi, 2013

Durante el período lluvioso y/o temporada de lluvias, se puede generar en una cuenca el arrastre de materiales hacia los cauces de las quebradas tributarias. Sin embargo, cuando se incrementan las lluvias, aumenta la potencia y velocidad de las corrientes y la saturación hídrica de los cauces, lo que contribuye a la generación de inundaciones o huaicos (Carhuayal, 1992).

1.5.2 Fenómeno El Niño

El Niño es un fenómeno natural océano atmosférico que se refiere al cambio de la dirección y la velocidad de los vientos que produce cambios en los patrones de movimiento de las corrientes marinas, generando una superposición de aguas cálidas procedentes de la zona del hemisferio norte hacia el norte del Ecuador sobre las aguas frías que afloran y que caracterizan la corriente de Humboldt (SGRD, 2014).

Por consiguiente, se genera el incremento de la temperatura de las aguas superficiales del Océano Pacífico ecuatorial, frente a las costas del Perú, ocasionando abundante formación de nubes, que junto al efecto orográfico de los andes peruanos dan origen a intensas lluvias generalmente en los meses de diciembre a marzo. (CENEPRED, 2018b).

En el verano de 2017, la costa norte y central del Perú soportó lluvias como no se habían registrado hace muchos años debido a la imprevista ocurrencia del evento denominado “El Niño costero 2017” que provocó huaicos e inundaciones, considerado como el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú. (ENFEN, 2017).

Este fenómeno es un factor climatológico que contribuye a la generación de inundaciones o de movimientos de masa como los huaicos que causan impactos, afectando las condiciones de vida de la población.

1.5.3 Pendientes fuertes

La pendiente se refiere al grado de inclinación de un terreno respecto a la horizontal y su valor se expresa utilizando el sistema sexagesimal (grados, minutos y segundos) o en porcentaje (Alcántara, 2011).

Van Zuidam propuso en 1989 una categorización de la pendiente la cual se muestra en la tabla 2 (como es citado en ANA y TDM PERÚ, 2016, p.37).

Tabla 2:

Categorización de la pendiente por Van Zuidam

Clase de Pendiente		Condiciones del terreno
(°)	(%)	
0-2	0-2	Planicie, sin denudación apreciable.
2-4	2-7	Pendiente muy baja, peligro de erosión.
4-8	7-15	Pendiente baja, peligro severo de erosión.
8-16	15-30	Pendiente moderada, deslizamiento ocasionales, peligro de erosión severo
16-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensas (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramiento rocoso, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.
>55	>140	Extremadamente fuerte, afloramiento rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada.

Fuente: “Expediente Técnico. Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contra fluio de escombros – Quebrada San Antonio de Pedregal”, por ANA y TDM PERÚ, en 2016

Como se observa, según Van Zuidam, se considera fuertes pendientes a aquellas que tienen un valor mayor a 30%. Existen fuertes pendientes en diversas zonas del país que constituyen el factor topográfico que influye en la generación de huaicos (Carhuayal, 1992).

Según Beláustegui (1999), la pendiente es un parámetro que condiciona el proceso erosivo ya que mientras más fuerte es una pendiente, la velocidad del agua de escorrentía será mayor, no permitiendo la infiltración del agua en el suelo y generando desprendimientos de bloques sueltos y lodo (como es citado en INGEMMET, 2018, p.13).

1.5.4 Tipos de suelos y rocas

Los tipos de rocas y suelos representan un factor geológico que influye en la generación de huaicos porque algunos tipos de rocas pasan por procesos de rápida meteorización, alteración y desintegración que forman acumulaciones de material suelto (suelos) situadas en las quebradas y que son fácilmente arrastradas por las lluvias (Carhuayal, 1992).

El estudio de tipos de suelo y roca se detallará con mayor énfasis en capítulo 3, en el estudio geológico y geomorfológico de la zona de estudio.

1.6 Causas Antrópicas

Es el conjunto de acciones humanas que influyen de manera directa e indirecta sobre el riesgo de las poblaciones ante la generación de desastres. Entre las acciones más resaltantes se puede mencionar el asentamiento de poblaciones en zonas de riesgo que provoca la modificación del cauce natural de una quebrada (Carhuayal, 1992). Otro ejemplo de causa antrópica es la falta de planificación ante la generación de desastres. Las causas antrópicas que influyen en la problemática actual de la zona de estudio, serán analizadas con mayor énfasis en el capítulo 3 de la presente tesis.

1.7 Medidas de Corrección

Acciones orientadas a corregir o reparar los impactos o problemas generados e identificados después de la ocurrencia de un evento, de esta manera contribuir a la reducción del riesgo existente (CENEPRED, 2018 a).

1.8 Medidas de Prevención

Acciones orientadas a reducir las condiciones o causas de la inestabilidad o vulnerabilidad, actuando antes de la ocurrencia de un evento futuro, para proteger la vida humana y de los elementos que sean posibles. (Carhuayal, 1992).

1.9 Medidas estructurales

Engloban todas aquellas infraestructuras de ingeniería que se implementan en forma física para reducir el riesgo, estas medidas representan técnicas de ingeniería para lograr la resistencia de las estructuras frente a los peligros, y de esa manera proteger a la población y sus bienes (CENEPRED, 2015 a).

1.10 Medidas no estructurales

“Cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, capacitación y educación” (CENEPRED, s.f, p.4).

1.11 Gestión Integral

La gestión integral es el conjunto de medidas o acciones determinadas que están interconectadas y donde cada uno de los participantes aplican sus conocimientos y actúan de forma coordinada para alcanzar el éxito previsto (UCC, 2019).

La gestión integral es considerada un proceso sistemático que busca el desarrollo sostenible y fomenta el empleo de estrategias o adopción de medidas ante una determinada situación donde cada una de sus partes se combinan en un todo armónico. La gestión integral evade perspectivas aisladas y considera la situación como un todo, evalúa y selecciona la medida o combinación de medidas que mejor se adecúe a una determinada situación (OMM, 2009).

La gestión integral alienta un enfoque participativo, abierto, transparente, integrador y comunicativo entre los participantes como usuarios, planificadores y las instancias normativas en todos los niveles. Entre los cuales se encuentran el Gobierno Nacional, Ministerios, el Gobierno local, empresas privadas, ONG, la población, etc. (OMM, 2006).

Para que la aplicación de la gestión integral sea eficaz es necesaria la sinergia entre las actividades a realizar y la interacción, coordinación y cooperación entre todas las partes interesadas (OMM, 2009).

El Perú enfrenta serios dilemas para una buena gestión, las metas perseguidas son muy amplias, poco operativas y existe una descoordinación institucional. Se debe tomar conciencia de la importancia de la Gestión Integral y la necesidad de buscar caminos para lograr aquella gestión (GWP, 2001).

Se presenta a continuación un antecedente de enfoque de gestión integrada de recursos hídricos implementados en Perú.

1.11.1 Plan Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)

El D.S. N° 013-2015-MINAGRI aprobó el Plan Nacional de Recursos Hídricos el cual es un instrumento de planificación de gestión de los recursos hídricos del Perú que tiene como propósito contribuir a la gestión integrada de recursos hídricos en el ámbito nacional para satisfacer las demandas presentes y futuras y así garantizar la conservación, la calidad y la disponibilidad del recurso hídrico (ANA, 2013).

La ley N°29338, Ley de Recursos Hídricos establece que la Autoridad Nacional del Agua (ANA); entidad adscrita al Ministerio de Agricultura y Riego, es la máxima autoridad responsable de la elaboración y ejecución del PNRH por lo que establece medidas para la gestión integrada y sostenible de recursos hídricos (ANA, 2013).

Entre las instituciones que la apoyan se encuentra la Asociación Mundial para el agua (Global Water Partnership-GWP según su sigla en inglés), que es una red internacional abierta a todas las organizaciones relacionadas al agua, a través del foro Peruano para el agua GWP (ANA, 2017).

En el PNRH se analizó la situación y la problemática actual de los recursos hídricos en el país y se determinó las posibles soluciones que resolverán los problemas. El PNRH propone medidas de acción y para ordenarlas ha generado 5 ejes de política y estrategias de intervención. El último eje, el Eje de Política 5, consiste en el estudio del clima y los efectos sobre los recursos hídricos de las cuencas y en la planificación de medidas para disminuir los efectos de las inundaciones, sequías, huaicos, etc. (ANA, 2013).

La presente tesis está enmarcada y busca el cumplimiento parcial de las medidas propuestas en el PNRH aprobado mediante Decreto Supremo N°013-2015-MINAGRI. Específicamente las medidas pertenecen al Eje de Política 5: Adaptación al cambio climático y eventos extremos; en la estrategia de intervención 11: Gestión del riesgo por eventos extremos; programa 29 denominado: Gestión de los riesgos de inundación, huaicos y deslizamientos. En este programa se menciona la importancia de la obtención del mejor conocimiento posible del problema y, posteriormente, la aplicación de un conjunto de medidas más convenientes para contrarrestarlo (ANA, 2017a). En la tabla 3 se muestra las medidas del Eje de política 5 de adaptación al cambio climático y eventos extremos.

Tabla 3:

Medidas del Eje de política 5 de adaptación al cambio climático y eventos extremos.

Estrategia de Intervención		Programa		Medidas
11	Gestión del riesgo por eventos extremos	29	Gestión de riesgos de inundación, huaicos y deslizamientos	Llevar a cabo programas integrales de control de avenidas. Medidas estructurales en los programas integrales de control de avenidas. Medidas no estructurales en los programas integrales de control de avenidas. Planificación de emergencias para huaicos.

Adaptado de “Riesgos Climático en el Perú Lima– Plan Nacional de Recursos Hídricos”, por ANA, 2017

1.11.2 Gestión de Riesgo de Desastres (GRD)

La gestión del riesgo de desastre “es un proceso social cuyo fin es la prevención, la reducción y el control de los factores de riesgo de desastre en la sociedad, así como la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de desastre” (CENEPRED, s.f, p.3).

En el año 2010, fue emitida la Política de Estado N° 32: Gestión del Riesgo de Desastres. Está basada en la investigación científica y registro de informaciones, y orienta acciones en todos los niveles de Gobierno y de la sociedad con el fin de proteger la vida de la población, el patrimonio público y privado, considerando una perspectiva de procesos que comprenda: la estimación y reducción del riesgo, la respuesta ante emergencias y desastres y la reconstrucción. (CENEPRED, 2018 c).

Por otro lado la Ley N° 29664, establece en su artículo 5 la definición de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres como un conjunto de orientaciones para “impedir o reducir los riesgos de desastres, evitarla generación de nuevos riesgos y efectuar una adecuada preparación, atención, rehabilitación y reconstrucción ante situaciones de desastres, así como a minimizar sus efectos adversos sobre la población, la economía y el ambiente” (Ley N° 29664, 2011).

Asimismo establece la importancia de “la generación de una cultura de la prevención en las entidades públicas, privadas y en la ciudadanía en general, como un pilar fundamental para el desarrollo sostenible, y la interiorización de la Gestión del Riesgo de Desastres.” (Ley N° 29664, 2011).

Según la Ley N° 29664 (2011), la Política Nacional de la GRD se establece sobre la base de 3 componentes:

- Gestión prospectiva, conjunto de acciones que se planifican y realizan con el fin de evitar el riesgo futuro.
- Gestión correctiva, conjunto de acciones que se planifican y realizan con el objeto de corregir el riesgo existente.
- Gestión reactiva, conjunto de acciones y medidas des tinadas a enfrentar los desastres.

Según la Ley N° 29664 (2011), la Política Nacional de la GRD comprende 7 procesos:

- Estimación del riesgo: Conocimiento de los peligros, analizar la vulnerabilidad y los niveles de riesgo.
- Prevención del riesgo: Acciones que se orientan a reducir la generación de nuevos riesgos.
- Reducción del riesgo: Acciones orientadas a reducir las vulnerabilidades y riesgos existentes.
- Preparación: Acciones con el fin de procurar una óptima respuesta de la sociedad en caso de desastres.
- Respuesta: Acciones que se ejecutan ante un desastre.

- **Rehabilitación:** Acciones para reparación del daño físico, ambiental, social y económico en la zona afectada por una emergencia o desastre.
- **Reconstrucción:** Acciones para establecer condiciones sostenibles de desarrollo en las áreas afectadas, reduciendo el riesgo anterior al desastre y asegurando la recuperación.

A continuación se presentan los antecedentes referentes a la gestión de riesgo de desastres implementados en el Perú.

1.11.3 Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) creado por la Ley N° 29664, es un sistema funcional que tiene la finalidad de identificar el riesgo de desastre, así como la preparación y atención ante situaciones de desastre a través del establecimiento de componentes, procesos, instrumentos de la Gestión del Riesgo de Desastres, etc (Ley N° 29664,2011).

Según la Ley N° 29664 (2011), los participantes del SINAGERD son:

- El Consejo Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres es el órgano de decisión política y de coordinación estratégica, para la funcionalidad de los procesos de la Gestión del Riesgo de Desastres en el Perú. Lo conforman el presidente de la Republica y ministerios.
- La Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), que asume la función de ente rector tiene la finalidad de conducir, supervisar y fiscalizar el adecuado funcionamiento del SINAGERD.
- El Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) es el órgano del Poder Ejecutivo responsable del financiamiento necesario para la atención de desastres naturales así como también su reconstrucción posterior.
- Organismos adscritos a la Presidencia del Consejo de Ministro (PCM) y al Ministerio de Defensa (MINDEF), organismos del Poder Ejecutivo.

- El Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN) es un organismo adscrito a la PCM, se encarga de incorporar la Gestión de Riesgo de Desastres en el Plan Estratégico de Desarrollo Nacional, otros de sus fines es promover el fortalecimiento de planeamiento estratégico mediante la participación y acuerdos entre los sectores públicos y privados (Congreso, 2011).
- El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) es una entidad adscrita al MINDEF encargada de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación de la Política Nacional y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación a fin de proteger la vida y el patrimonio de las personas y del Estado (INDECI, 2019).
- El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) es una entidad adscrita al MINDEF que plantea y brinda asesoramiento técnico sobre procesos de estimación, prevención y reducción de riesgo al gobierno nacional, gobierno regional y local (CENEPRED, 2019).

El CENEPRED, INDECI Y CEPLAN cumplen un rol de asesoramiento para el uso de un plan de gestión de riesgo, estas entidades coordinan, participan y promueven elementos de gestión para corregir el riesgo de desastre, es por eso que es de gran importancia contar con su asesoramiento, cabe recalcar que su rol no es presupuestar y ejecutar una obra, si no brindar información clave y adecuada para reducir el riesgo.

- Los Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales formulan, aprueban normas y planes, evalúan, dirigen, organizan, supervisan, fiscalizan y ejecutan los procesos de la Gestión del Riesgo de Desastres
- Organizaciones no gubernamentales (ONG) , las Fuerzas Armadas, la Policía Nacional del Perú y otras entidades privadas o públicas que se encargan de promover el uso de la prevención a través de la gestión de riesgo de desastre con la finalidad de crear un espacio seguro y saludable (Predes, 2019).

Según la Ley N° 29664 (2011) entre los principales instrumentos del SINAGERD se tiene:

- Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres-PLANAGERD 2014-2021

El PLANAGERD aprobado por Decreto Supremo N°34-2014-PCM, se constituye en el documento de planificación estratégica del SINAGERD para el cumplimiento de la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres en nuestro país (DS-034-2014-PCM, 2014). Tiene como objetivo principal la reducción de la vulnerabilidad de la población y sus medios de vida, ante el riesgo de desastres, asimismo una de sus acciones es establecer planes específicos de gestión de riesgo, elaborar estudios o informes de análisis, desarrollar investigaciones especializadas evaluando el peligro en la zona e infraestructuras y propagar la gestión de riesgo de desastres (SGRD, 2014).

Actualmente existe una débil articulación interinstitucional al interior de SINAGERD, presenta una limitada capacidad operativa de las entidades así como una escasa articulación de las empresas, las organizaciones de la sociedad civil y la población, lo que dificultan su gestión eficiente y oportuna y generan un lento proceso de incorporación de la GRD en la planificación y el desarrollo de actividades (SGRD, 2014).

La presente tesis está enmarcada parcialmente en la Políticas de Estado N° 32 de la Gestión del Riesgo de Desastres, de la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - SINAGERD, y del Decreto Supremo N°34-2014-PCM que aprobó el PLANAGERD. Dando mayor énfasis en el cumplimiento de los componentes, procesos, y participantes de la GRD.

1.11.4 Metodología CENEPRED

CENEPRED presenta la “Guía Metodológica para formulación de Planes de Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres a nivel cuenca” que es una metodología que orienta a la gran multiplicidad de profesionales que tienen interés en el estudio y/o aplicación de los procedimientos metodológicos de evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales y que forma parte de la gestión de riesgo de desastres, con el propósito de sistematizar estrategias de prevención y reducción (CENEPRED, 2017).

Para la presente tesis se tomará en cuenta parcialmente los procedimientos metodológicos que plantea CENEPRED en la guía, entre los cuales se puede mencionar los más resaltantes: la descripción general de la cuenca de estudio ,el diagnóstico del riesgo; es decir la identificación de peligro, análisis de vulnerabilidad; zonas y puntos prioritarios para prevención en la cuenca , medidas estructurales y no estructurales a implementarse, programación de medidas y acciones , evaluación de capacidades institucionales, estrategias para la implementación del plan y finalmente el seguimiento y la actualización del plan (CENEPRED, 2017).

1.12 Términos Hidrológicos

Se definen términos hidrológicos más importantes que serán mencionados en el estudio hidrológico de la presente tesis.

1.12.1 Subcuenca

Es una superficie de terreno cuya escorrentía superficial, que proviene de la precipitación que no se infiltra y que escurre sobre la superficie del suelo, fluye a través de una serie de corrientes, hacia un determinado punto de un curso de agua que por lo general es una confluencia de ríos (MTC, 2019).

1.12.2 Precipitación máxima anual en 24 horas

Es el total acumulado de precipitaciones parciales en 24 horas registradas en las estaciones meteorológicas. Corresponde a la precipitación ocurrida entre las 07 horas de un cierto día y las 07 horas del día siguiente. A partir de las cantidades diarias, se selecciona el valor máximo que representa la máxima precipitación mensual en 24 horas y de los valores máximos mensuales, se selecciona el valor máximo anual para el cálculo de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas (Sánchez, 2016).

En el Perú, la información de la precipitación es recolectada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), mediante su red de estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio peruano.

1.12.3 Periodo de Retorno

Se define como el intervalo de tiempo promedio (T_r) para la ocurrencia de un evento igual o mayor al especificado. Además mediante el periodo de retorno se puede determinar la probabilidad anual de igualdad o superación del evento que es la inversa del T_r (Chow et al., 1994).

1.12.4 Hietograma

“Gráfico que permite conocer la precipitación de un lugar a través del tiempo de la tormenta.” (MTC, 2019).

1.12.5 Precipitación efectiva

Llamado también exceso de precipitación, es aquella precipitación que “no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca” (Chow et al., 1994).

1.12.6 Caudal máximo

Se denomina caudal al volumen de agua que fluye por una determinada sección transversal de un río, cauce o canal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m^3/s (GWP, 2011).

Se denomina caudal máximo al caudal de diseño para obras hidráulicas, su magnitud va en función directa con el periodo de retorno que se le asigne, y que a la vez depende de la importancia de la obra (Villón, 2002).

1.12.7 Hidrograma Unitario

El hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica; siendo el hidrograma unitario de una cuenca, el hidrograma de escorrentía directa resultante de 1 pulg o 1 cm de exceso de lluvia o precipitación neta generada uniformemente sobre el área de la cuenca a una intensidad constante a lo largo de una duración efectiva. La obtención de los hidrogramas unitarios se parte de valores naturales registrados o se pueden generar hidrogramas sintéticos (Chow et al., 1994).

Los hidrogramas unitarios sintéticos se obtienen empleando información de las características fisiográficas y parámetros de la cuenca. Son simulados con el fin de obtener un hidrograma representativo del fenómeno hidrológico de la cuenca para determinar el caudal pico o máximo para diseñar (MTC, 2019).

2 MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Población

La población o universo representa el conjunto de elementos o unidades involucradas en la investigación. Para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan. Particularmente es demasiado grande para poder abarcarlo (UPC, 2018).

Para la presente tesis, la población es el conjunto de quebradas que se encuentran en riesgo por la ocurrencia de huaicos en Chosica.

2.1.2 Muestra

Es una representación de la población, sobre la cual se realizan las observaciones y se recolectan datos, de esta manera los resultados observados en la muestra logren generalizarse o extrapolarse a la población (UPC, 2018).

Para la presente tesis, la muestra representativa será la quebrada El Pedregal ubicada en la margen derecha del río Rímac, perteneciente al distrito de Lurigancho – Chosica.

2.2 Método

2.2.1 Nivel de Investigación

El grado de profundidad del estudio será exploratorio y descriptivo:

- **Exploratorio:**

Es aquella investigación que se genera ante un tema u objeto poco conocido o estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto (UPC, 2018). Es decir, cuando sólo existe guías o ideas vagamente relacionadas con el problema de estudio, o bien, si se desea indagar sobre temas y áreas desde nuevas perspectivas (Hernández et al., 1998).

El nivel de investigación de la presente tesis es exploratorio debido a que la investigación se generó ante la necesidad de reducir daños ocasionados por huaicos en la quebrada El Pedregal mediante el establecimiento de un plan que englobe la gestión integral y la gestión de riesgo de desastres. En la actualidad es un tema poco estudiado, no se realiza ni en cantidad ni en calidad requerida a pesar de que se reconoce que la ocurrencia del huaico es de origen natural y que tiene consecuencias graves en las poblaciones asentadas en zonas de riesgo.

- **Descriptiva:**

Consiste en caracterizar a un hecho, fenómeno o en establecer su estructura o comportamiento (UPC, 2018).

En la presente tesis parte del nivel de investigación en menor preponderancia descriptivo ya que se realiza la caracterización de la subcuenca de estudio, se describe y analiza la eficacia de las medidas de mitigación aisladas existentes y se describe el contexto social, económico e institucional de la zona de estudio.

2.2.2 Diseño de Investigación

Las estrategias adoptadas para la presente investigación serán de campo y documental.

- **Campo:** Esta investigación usa datos recolectados directamente de la realidad tales como coordenadas GPS, pendientes, altura, áreas, distancias, mediciones, fotografías propias de la quebrada el Pedregal.
- **Documental:** Puesto que se reconoce investigaciones anteriores en las cuales se pueden usar como insumos para nuestra investigación entre ellas se tiene documentos, expedientes e informes, asignados por distintas entidades, como por ejemplo: SENAMHI, ANA, INDECI, Municipalidades y empresas.

En la figura 1 se muestra el diseño de la investigación que consisten en el análisis de la investigación básica, la evaluación del riesgo existente, la identificación y análisis de las medidas de control y mitigación y el planteamiento del Plan de Gestión Integral.

Figura. 1. Diagrama secuencial de Objetivos Específicos
Fuente: Elaboración Propia

2.2.3 Variables de estudio y operacionalización

Tabla 4:

Variables de estudio y operacionalización

VARIABLE	DIMENSION	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN
INDEPENDIENTE :Causas Naturales	Régimen de precipitaciones en la quebrada El Pedregal	Máximas precipitaciones en 24 horas	Precipitaciones máximas en 24 hrs (mm) Periodo de retorno (años)	Datos pluviométricos
	Caudal máximo del cauce de la quebrada el Pedregal	Caudales Máximos	Caudal (m ³ /s)	Software HEC - HMS
	Huaicos extraordinarios	Recurrencia de máximos eventos de huaicos en las últimas décadas	Cantidad de eventos máximos de huaicos ocurridos	Encuestas, noticias pasadas y actuales
	Geomorfología de la quebrada	Tipo de suelo y rocas	Clasificación SUCS y clasificación litoestratigráfica	Expendieres técnicos, mapas geológicos, observación directa
		Pendiente	%	Mapas cartográficos y planos topográficos, software ArcGIS
INDEPENDIENTE : Causas antrópicas	Establecimiento de viviendas en zonas de riesgo	Faja Marginal	Área (m ²) Longitud (km)	Estudio de ANA
	Déficit de medidas de prevención y mitigación e inadecuada planificación por ocurrencia de huaicos	Eficacia de medidas existentes	Funcionalidad, duración y/ o estado actual	Observación directa expedientes técnicos, encuestas
DEPENDIENTE: Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos	Medidas Estructurales	Volumen excedente de huaicos futuros	m ³	Estimación de volúmenes de producción y retención y software DEBFLOW
		Dimensiones	m	Dimensionamiento
		Costo	S/.	Análisis de precios unitarios, metrados y presupuestos
	Medidas No Estructurales	Protección a la vida y salud	Número de personas afectadas	Observación directa registros de daños , encuestas

Fuente: Elaboración Propia

2.2.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos en el presente estudio están basadas en la observación y las entrevistas. Se aplica la técnica de observación indirecta obteniendo información de los antecedentes de huaicos y estudios previos de la zona a través de libros, revistas académicas e informes de instituciones y entidades, además de información de la situación actual de la quebrada El Pedregal por medios de comunicación como televisión y periódicos.

Asimismo se aplica la técnica de observación directa, identificando y verificando personalmente las características de la quebrada, del cauce del huaico y la realidad actual de la zona. Esta técnica es utilizada para poder realizar la debida calibración y comprobación de la validez de los datos que se obtienen de los estudios previos de las entidades.

También, se procede a realizar entrevistas directamente a los pobladores de la zona con el fin de conocer su forma de pensar, sentir y actuar ante la generación de eventos de gran magnitud como el caso de los huaicos.

A través de estas técnicas se identifica las diversas variables que influyen en el problema principal, las cuales ayudaran a alcanzar los objetivos de la presente investigación. Los instrumentos a utilizar para la investigación son:

- Notas de campo: En el que se anotan las observaciones puntuales en la visita de campo, así como datos importantes como medidas de longitud, pendientes, anchos, coordenadas y todos los aspectos importantes para la investigación.
- Cámara Fotográfica: Herramienta que servirá para poder obtener fotografías que permitirán analizar la situación de la quebrada y el estado de las obras de mitigación existentes.
- Instrumentos de medición y localización: Cinta métrica, GPS.
- Guion de Entrevista: Se formulan las preguntas que se realizan a los pobladores entrevistados.
- Registro, clasificación y análisis de datos usando Excel, Word y AutoCAD entre otros.

2.2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de datos

Para el proceso y análisis de datos recolectados se hace uso de programas, entre los cuales se tiene:

- **Microsoft Excel**

Microsoft Excel es un software que permite realizar hojas de cálculo. En la presente tesis este programa se utiliza para la generación de tablas y gráficos de dispersión para determinar relaciones funcionales, hietogramas y todos los cálculos correspondientes al estudio hidrológico. Asimismo para los cálculos del análisis de frecuencia y distribución de probabilidades para la estimación de los posibles periodos de retorno de huaicos más catastróficos, al cálculo de los volúmenes de producción y retención de un futuro huaico y cálculos correspondientes a la evaluación económica del plan.

- **Software ArcGIS**

Es un sistema de información geográfica integrada (SIG) y proporciona todas las herramientas para crear y trabajar datos geográficos (ESRI, 2002).

A partir de la información cartográfica introducida en el software, se obtiene los parámetros geomorfológicos de la subcuenca para posteriormente ser analizados en el estudio hidrológico de la presente tesis.

- **Software HEC –HMS**

El software HEC- HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) simula procesos de lluvias – escurrimiento en sistemas de cuencas, se utiliza para estudios de agua, drenaje, flujos, etc. El programa también posibilita la obtención de hidrogramas e información sobre caudal máximo (iAgua, 2016).

En la presente tesis, a partir de los datos de precipitación neta o efectiva y datos de la subcuenca introducidos en el software HEC- HMS, este programa procesó los datos y calculó los caudales máximos mediante la simulación de hidrogramas, que a través de una gráfica manifiestan las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una subcuenca.

- **Software DEBFLOW**

El software DEBFLOW sirve para dimensionar sistemas flexibles de protección de flujo de escombros (barreras dinámicas) , analiza la estabilidad del sistema y calcula la aparición fuerzas dinámicas e hidrostáticas durante el proceso de llenado y el desbordamiento del huaico respecto al sistema (Geobrugg, 2018) .

En la presente tesis, se introdujo información del predimensionamiento y los datos de volúmenes estimados de retención y producción de un futuro huaico en el software DEBFLOW y partir de ello, se verificó el dimensionamiento, la cantidad y la estabilidad de las barreras dinámicas propuestas.

- **Microsoft Project**

Microsoft Project es un software diseñado para organizar información sobre la asignación de tiempos a las tareas, ayuda a programar y realizar un seguimiento de las actividades para supervisar el progreso de un proyecto sin exceder del presupuesto y conseguir así los objetivos planteados (Geofísica, s.f).

En la presente tesis, el software se utiliza para la elaboración de los cronogramas de cada una de las actividades del plan propuesto.

- **Software S10**

S10 es un programa que permite la elaboración de metrados y presupuestos de obras o proyectos vinculados principalmente al campo de la construcción (Accom, 2020). El software se utiliza para la elaboración de presupuesto del plan y el presupuesto de las medidas estructurales propuestas en la presente tesis.

- **AutoCAD y AutoCAD Civil 3D**

AutoCAD es un software general de diseño y dibujo que se usa para crear dibujos 2D y 3D, planos, secciones, elevaciones, etc. Mientras que AutoCAD Civil 3D es un software utilizado para el cálculo y diseño de infraestructura diversa en general relacionado con la topografía (Autodesk, 2020).

Para la presente tesis, se emplearon ambos programas para la elaboración de planos que complementan la investigación.

- Google Earth Pro

Se emplea para la obtención de imágenes satelitales de la zona de estudio y para obtener algunas mediciones y coordenadas de ubicación.

3 ESTUDIO DE LA QUEBRADA EL PEDREGAL

3.1 Revisión de la información básica

3.1.1 Ubicación

La quebrada el Pedregal es un afluente que se encuentra en la margen derecha del valle del río Rímac, presenta una orientación de N-S y recorre la subcuenca El Pedregal (Carhuayal, 1992) Está ubicada en el distrito de Lurigancho Chosica, provincia de Lima y departamento de Lima. Los límites de la quebrada El Pedregal son:

- Por el Norte con la subcuenca Cashahuacra (valle Santa Eulalia)
- Por el Sur con el valle del Rímac y quebrada Jicamarca.
- Por el Este con la ciudad de Chosica y subcuenca Corrales
- Por el Oeste con la subcuenca Quirio (Carhuayal, 1992).

En la tabla 5 se presenta las coordenadas UTM de la subcuenca de la quebrada El Pedregal, las cuales fueron determinadas mediante el software ArcGIS.

Tabla 5:

Coordenadas UTM de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
Centroide (UTM Zone 18L)		
Este	m	314440.99
Norte	m	8682638.00
Altitud	ms.n.m	1296.78
Punto de salida (UTM Zone 18L)		
Este	m	314743.63
Norte	m	8679153.10
Altitud	ms.n.m	825.00

Fuente: Elaboración propia

En la figura 2 se observa la delimitación de la subcuenca de la quebrada El Pedregal y la red de drenaje incluyendo el cauce principal y sus corrientes secundarias (drenes secos)

Mapa de Ubicación Geográfica de la cuenca del Río Rímac.

Fuente: Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac

Cuenca del Río Rímac.

Fuente: Plan del Proyecto Restauración del Río Rímac

Figura. 2. Ubicación Geográfica de la subcuenca El Pedregal
Fuente: Elaboración Propia

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS		TÍTULO: "PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL PARA REDUCIR DAÑOS OCASIONADOS POR HUAICOS, QUEBRADA EL PEDREGAL, CHOSICA"	
		PLANO: UBICACIÓN	
UBICACIÓN: QUEBRADA EL PEDREGAL DISTRITO: LURIGANCHO-CHOSICA, PROV. LIMA, DPTO. LIMA		TESISTAS: CAROL J. DELGADO ASCARZA GUILIANA TAMAYO LÓPEZ	
FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL		ESCALA: 1/25000 FECHA: ABRIL 2020	
		LÁMINA: U-01	

3.1.2 Topografía

Para el estudio se cuenta con las cartas nacionales obtenidas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) identificadas como las láminas N° 24j - Chosica y 25j – Lurín. En el plano T-01 se muestra el plano topográfico de la subcuenca de la quebrada El Pedregal, presentando curvas de nivel con equidistancia de 50 metros.

Por otro lado, haciendo uso del software ArcGIS se determinó que el punto más bajo de la cuenca es la desembocadura de la quebrada en el río Rímac a 825 m.s.n.m, mientras que la cota más alta es 2305 m.s.n.m. También se determinó que la distancia longitudinal de la subcuenca es de 6.61 km, mientras que la pendiente promedio de la subcuenca es 44% y la pendiente del cauce principal es 22%. Los valores mencionados al formar parte de los parámetros geomorfológicos de la subcuenca El Pedregal, se detallaran con mayor énfasis en el estudio hidrológico del presente capítulo.

Asimismo, según Martínez (2013) la subcuenca de la quebrada El Pedregal se clasifica en zona baja, media y alta en función a las altitudes y a las partes en que se desarrolla el huaico. En la tabla 6 se muestra la clasificación de zonas de subcuenca.

Tabla 6:

Zonificación de la subcuenca El Pedregal

Zona	Altitud Inicial (ms.n.m)	Altitud Final (ms.n.m)	Características
Alta	1100	2305	Representa la cuenca de recepción, denso sistema de drenaje y pendientes fuertes.
Media	1000	1100	Canal de transporte, presencia de depósitos aluviales y coluviales, taludes del cauce inestables.
Baja	825	1000	Cono de deyección, depósito de sedimentos y presencia mayor asentamiento humano.

Fuente: Geotecnia de Huaicos en Chosica, por Martínez, en 2013

En el anexo 2 se muestra el mapa de zonas de la subcuenca El Pedregal.

3.1.3 Clima y Vegetación

Pertenece a la región Yunga cuya humedad es relativamente baja durante el día y aumenta en la noche. La temperatura promedio es 18 °C y las noches son frescas debido a los vientos que descienden de la zona alta, sin embargo la temperatura varía de acuerdo a las estaciones, en primavera y verano la temperatura varía entre los 13 °C a 26 °C llegando en algunas ocasiones a temperaturas de 28 °C y en otoño e invierno entre los 24 °C a 13 °C (ANA, 2017).

Se caracteriza por la ocurrencia de lluvias estacionales en el verano, generalmente entre los meses de diciembre a marzo, sin embargo, a partir de los meses de abril y noviembre (durante el invierno), presenta una estación seca de desierto (Comeca et al., 2019).

Por otro lado, la zona de estudio presenta una escasa vegetación, está constituida principalmente por gramíneas de tipo forrajero. En la zona alta se encuentran arbustos como los llamados huallarisquizga, cactáceas y gigatón. En la zona media predomina el huanarpo mientras que en la zona más baja, con áreas áridas o desiertas son pocas las especies de Tillandsias.

A través de los años, la vegetación de la quebrada ha sido obstruida debido a la actividad del hombre, principalmente por las viviendas construidas y el sobrepastoreo que antiguamente se desarrollaba, es así como se está generando escases de muchas de estas especies y alterando el hábitad natural de la quebrada. Además, la escasa cobertura vegetal pierde su follaje durante la estación seca de invierno largo (PREDES, 2000).

En la figura 3, se observa matorral arbustivo obstruido por viviendas construidas en la zona media de la quebrada.

Figura. 3. Matorral arbustivo obstruido por viviendas construidas en la zona media de la quebrada.
Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la fauna de la quebrada, está compuesta por vizcachas, palomas, lagartijas e insectos típicos de zonas áridas (PREDES, 2000).

3.1.4 Geología y Geomorfología

La zona de estudio pertenece a la cuenca del río Rímac, y de acuerdo a la investigación es conocida por la frecuencia de flujo de escombros y parte de ello se debe a la distribución geológica-geomorfológica que presenta la subcuenca El Pedregal.

Según su geomorfología, la subcuenca El Pedregal se encuentra formada por un cauce principal y corrientes tributarias o secundarias que permanecen secas la mayor parte del año, a excepción de las épocas de lluvias en las que eventualmente se generan huaicos y a partir de ello se forman terrazas y depósitos aluviales en el cauce principal y acumulación de materiales en el cono de deyección (Carhuayal, 1992).

Según la Carta Geológica identificadas como las láminas N° 24j - Chosica presentado por INGEMMET (anexo 3), se identificó que en la subcuenca de estudio predominan dos tipos de unidades litoestratigráficas que se detallan a continuación:

- **Roca Intrusiva Tonalita- Diorita:** Correspondiente a la Súper Unidad Santa Rosa (Ks-tdi-sr). Es una roca granítica ubicada en los cerros como macizo rocoso, es de color gris oscuro, presenta grano medio a grueso (ANA y TDM PERÚ, 2016). Superficialmente se encuentra meteorizada y alterada, produciendo disgregamiento

a suelos arenosos-limosos que fluyen fácilmente con las lluvias así como también el fracturamiento de la roca da lugar a desprendimientos de fragmentos y bloques que se acumulan en las laderas y pueden ser transportados por acción de las precipitaciones pluviales (Carhuayal, 1992). Mediante las evaluaciones de campo en la quebrada El Pedregal se verificó que estas rocas se encuentran fracturadas, diaclasadas y meteorizadas como se observa en la figura 4.

Figura. 4. Macizo rocoso ubicada en los cerros de la quebrada El Pedregal
Fuente: Elaboración Propia

- Depósitos Aluviales y Coluviales: En el cauce de la quebrada predominan aportes aluviales, es decir material detrítico transportado por el flujo de los huaicos producidos a través de los años, y aportes coluviales, es decir material transportado por efectos de la gravedad. Generalmente estos depósitos presentan material de forma angulosas a redondeadas (Carhuayal, 1992).

Tomando como referencia, un estudio geológico de un proyecto de rehabilitación de servicios de protección en la quebrada El Pedregal, se registraron 3 calicatas a una profundidad máxima de 2.00 m ubicadas en el cauce de la quebrada, y se obtuvieron sus perfiles estratigráficos en los que se indicó que de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el material de los depósitos aluviales existentes en el cauce de la quebrada El Pedregal, es clasificado como GP, grava pobremente gradada con presencia de arenas-limosas en la superficie. Específicamente presentan material de arena gruesa a grano medio color beige húmedo no plástico con presencia de grava angulosa, cantos de tamaño promedio 1/2" a 4", de tamaño medio 8" a 10" en un 50%, bloques tamaño promedio 18" hasta 100" (Municipalidad Distrital de Lurigancho – Chosica, 2017b).

Cabe señalar que este material está presente en todos los estratos compuestos por depósitos aluviales de la quebrada, es por ello que el material presenta diversas profundidades dependiendo de la topografía y la heterogeneidad de la quebrada. ANA y TDM PERÚ (2016) estimó que la profundidad de los depósitos aluviales y coluviales del cauce aproximadamente es mayor a 20 m yaciendo en el fondo de la quebrada.

Asimismo su carácter más friccional y su límite líquido bajo, hacen que los suelos residuales y la matriz de los depósitos aluviales, sobrepasen este límite y en corto tiempo pueden fluir cuando se producen fuertes precipitaciones (Carhuayal, 1992). En la figuras 5 y 6 se muestran depósitos coluviales y aluviales en el cauce de la quebrada El Pedregal observados en las visitas de campo.

Figura. 5. Bloques de roca en cauce de la quebrada, zona media.
Fuente: Elaboración Propia

Figura. 6. Gravas y cantos de formas angulosas a redondeada de diversos tamaños.
Fuente: Elaboración Propia

En el Plano G-01, se muestra el plano geológico y geomorfológico de la quebrada El Pedregal que fue elaborada a partir de la información descrita en los párrafos precedentes.

Por otro lado, las fuertes precipitaciones han generado que la quebrada El Pedregal sea seleccionada como una de las quebradas más críticas a nivel de peligro geológico. Según el extracto del Mapa de susceptibilidad por movimientos de masa de Lima Metropolitana mostrado en el anexo 4, elaborado en base a las características de la pendiente, el relieve, la cobertura vegetal, el suelo y la roca; se indica que la quebrada presenta una susceptibilidad moderada a muy alta a generar flujos, considerando que la zona roja representa la susceptibilidad "muy alta" a los movimientos de masa (INGEMMET 2015). Por ende, la evaluación de peligro geológico demuestra que la zona alta y media de la subcuenca de la quebrada El Pedregal presenta mayor susceptibilidad a generar los movimientos de masa.

3.1.5 Geotecnia

La quebrada El Pedregal tiene una zona de alto peligro natural en su cono de deyección debido a que su cauce principal entrega material aluvial a la parte más poblada (Martínez, 2013)

Para este estudio geotécnico se empleó el expediente técnico "Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contra flujo de escombros – Quebrada San Antonio " el cual fue aprobado por la Autoridad Nacional del Agua. Los parámetros geotécnicos presentados en dicho expediente han sido determinados en el cauce del huaico por lo que se han considerado como fidedignos y propios de los materiales de la quebrada. En la tabla 7 se muestra los parámetros geotécnicos mencionados.

Tabla 7:

Parámetros Geotécnicos del cauce de la quebrada El Pedregal

Tipo de suelo	Aluvial y Coluvial
Peso Volumétrico	19KN/m ³
Ángulo de fricción	32 °
Cohesión	25kPa
Módulo Elástico	75 MPa
Coefficiente Poisson	0.25
Densidad del material del cauce	2100 kg/m ³

Fuente: Expediente Técnico. Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contra Flujo de escombros – Quebrada San Antonio de Pedregal, por ANA y TDM PERÚ, 2016

3.1.6 Hidrología

Para el estudio hidrológico de la cuenca de la quebrada El Pedregal se requiere de la determinación de parámetros geomorfológicos. Entre los principales parámetros se detalla:

❖ Parámetros básicos

- **Área de la subcuenca (A)**

Definido por la proyección horizontal delimitada por la curva del perímetro de la subcuenca. Representada con la letra “A” mayúscula, es una de las características

geomorfológica más importantes (GWP, 2011). Mediante el programa ArcGIS se determinó que el área de la subcuenca de la quebrada El Pedregal es de 10.28 km².

- **Perímetro de la subcuenca (P)**

Es la longitud del contorno del área de la subcuenca. Usualmente este parámetro es representado por la letra mayúscula “P” (GWP, 2011). Mediante el programa ArcGIS se determinó que el perímetro de la subcuenca de la quebrada El Pedregal es 14.58 km.

- **Longitud de la subcuenca (L)**

Es la distancia horizontal con dirección paralela al cauce principal desde el punto de salida de la cuenca o punto de desfogue hasta el punto de la divisoria aguas arriba donde se proyecta el nacimiento de la cuenca (Campos, 1992). Mediante el programa ArcGIS se determinó que la longitud de la subcuenca de la quebrada El Pedregal es 5.83 km.

- **Longitud del cauce principal (Lc)**

Es la distancia perteneciente al cauce principal de la subcuenca, representa el camino por donde transita el mayor volumen de agua siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades, comprendido desde el punto de salida hasta el punto más alejado topográficamente aguas arriba (Villagómez, Mendoza Y Bowen, 2009). Representada con la letra “Lc”. Mediante el programa ArcGIS se determinó que la longitud del cauce principal es 6.61 km.

- **Ancho de la subcuenca (B)**

Relación entre el área de la cuenca y la longitud de la misma (Villón, 2002). Representada con la letra “B” mayúscula. Se determinó que el ancho de la subcuenca de estudio es 1.76 km.

- **Cota Superior de la subcuenca (H max)**

Es la altura máxima o elevación sobre el nivel del mar del punto más alto de la subcuenca (Juárez, 2016). Mediante el software ArcGIS se determinó que la cota superior es 2305 m s.n.m.

- **Cota Inferior de la subcuenca (H min)**

Es la altura mínima o elevación más baja del terreno con respecto a nivel del mar que tiene la subcuenca (Juárez, 2016). Se determinó en el software ArcGIS que la cota inferior es 825 m s.n.m.

❖ **Parámetros de forma**

- **Coefficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (Kc)**

Parámetro que representa la forma de la superficie, relaciona el perímetro de la subcuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente al área de la subcuenca correspondiente. Si el valor del índice se aproxima a la unidad, indica que la forma de la subcuenca es redonda, por lo tanto, la peligrosidad ante las crecidas es alta, mientras que, si el valor del índice aumenta, esto indica que la subcuenca tiene mayor distorsión de su forma, es decir, una forma más alargada con peligrosidad baja ante las crecidas (Campos, 1998). La fórmula para el cálculo del índice de Gravelius es:

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Donde:

Kc : Índice de Gravelius

P : Perímetro de la subcuenca en km

A : Área de la subcuenca en km²

En la tabla 8 se detalla la clasificación de la forma de una cuenca según el índice de compacidad.

Tabla 8:

Clasificación del índice de Compacidad o Gravelius

Índice de Compacidad (Kc)	Forma de la Cuenca
1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
1.26 a 1.50	Oval-redonda a oval oblonga
1.51 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Rectangular

Fuente: “Parámetros de Forma”, por Gaspari, 2012

Mediante los datos de área y perímetro obtenidos en el software ArcGIS y empleando la ecuación precedente, se determinó que el índice de Gravelius de la subcuenca de la quebrada El Pedregal es de 1.27. Por lo tanto, se determina que presenta una forma “oval redonda”, con mayor tendencia a las crecientes.

- **Razón de Elongación (Re)**

Es un parámetro que representa el cociente entre el diámetro de un círculo que tiene un área equivalente al de la subcuenca y la longitud de la misma. Si el valor del índice es cercano a la unidad es característico de cuencas con relieve bajo, mientras que si el valor esta entre 0.60 y 0.80 es característico de relieves fuertes y pendientes altas del terreno (Campos, 1992).

Schumm (1956) propuso para el cálculo de la razón de elongación la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{1.284\sqrt{A}}{L} \quad (3)$$

Donde:

Re: Razón de Elongación

A: Área de la subcuenca en km²

L: Longitud de la subcuenca en km

Se determinó que la razón de elongación de la subcuenca de la quebrada El Pedregal es 0.71, que equivale a una subcuenca con fuertes pendientes del terreno.

❖ **Parámetros de Relieve**

- **Pendiente media de la subcuenca (*S med*)**

Este parámetro guarda relación con la infiltración, la escorrentía superficial, su poder de arrastre y la erosión sobre la cuenca (ANA Y TDM, 2016).

Para la determinación de la pendiente media de la subcuenca de la quebrada El Pedregal, se utilizó el software ArcGis. Se generó el mapa de distribución de pendientes de la subcuenca y se determinó los valores de las pendientes máximas y mínimas de cada punto, así como el número de ocurrencias. En el anexo 5 se observa el mapa de pendientes para la subcuenca de la quebrada El Pedregal.

Finalmente, en la tabla 9, se realizó el análisis estadístico de ocurrencias con los datos obtenidos y se utilizó la siguiente fórmula para determinar la pendiente media de la subcuenca.

$$S_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Número de Ocurrencias}_i * S_{media_i})}{\sum_{i=1}^n \text{Número de Ocurrencias}_i} \quad (4)$$

Tabla 9:

Determinación de la pendiente media de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.

n	Rango Pendiente (%)		S media o Promedio % (1)	Número de ocurrencias (2)	(1)x(2)
	min	max			
1	1.98	10.53	6.25	16	100.08
2	11.03	19.23	15.13	74	1119.81
3	19.48	27.91	23.69	109	2582.31
4	28.12	36.58	32.35	123	3978.60
5	36.66	45.24	40.95	152	6224.63
6	45.30	53.92	49.61	202	10021.07
7	53.93	62.46	58.19	230	13384.47
8	62.59	71.21	66.90	108	7225.17
9	71.47	79.89	75.68	14	1059.52
TOTAL=				1028	45695.67

Fuente: Elaboración Propia

La pendiente media de la subcuenca se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$S_{med} = \frac{45695.67}{1028} \times 100 = 44\%$$

Cabe señalar que el valor de la pendiente media fue comprobado mediante el software ArcGIS, que también calcula directamente el parámetro.

Considerando la tabla 2 de categorización de la pendiente según Van Zuidam, se observa que la subcuenca de la quebrada El Pedregal según el valor de la pendiente media calculado, se clasifica en pendiente fuerte con peligro extremo de erosión y procesos de deslizamiento intensos. Respecto al anexo 5, es importante señalar que en el Mapa de Pendientes precedente se puede apreciar que las pendientes más altas de las laderas de la cuenca de recepción (zona roja) varían entre 66% a 80 % que según la tabla 2 equivalen a pendientes fuertes con peligro extremo de erosión y con procesos de deslizamientos intensos y a pendientes muy fuertes con afloramientos rocosos con procesos de deslizamientos intensos respectivamente.

- **Pendiente media del cauce principal (Sc)**

La pendiente media del cauce principal es la relación entre la elevación máxima (H_{max}), la (H_{min}) elevación mínima y la longitud del cauce (L_c). Se relaciona con la velocidad de escurrimiento, a mayor pendiente mayor velocidad (Monsalve, 1995). La pendiente media del cauce principal de la quebrada El Pedregal se calculó según la siguiente fórmula.

$$Sc = \frac{H_{max} - H_{min}}{L_c} \times 100 = \frac{2305 - 825}{6611.3} \times 100 = 22 \%$$

Tomando en cuenta la tabla 2 la pendiente media del cauce se clasifica como pendiente moderada con peligro de erosión severo.

- **Curva hipsométrica , frecuencia de altitudes y altitud media**

La curva hipsométrica es una curva que representa gráficamente la relación entre las altitudes y las superficies correspondientes de la cuenca (Villón, 2002). Se determina ubicando en las ordenadas los valores de las diferentes alturas de la cuenca y, en las abscisas, los valores del área que se encuentran por encima de las alturas correspondientes respecto del área total de la cuenca (Racca, 2007). Asimismo, la frecuencia de altitudes es un complemento de la curva

hipsométrica. Es la representación gráfica de la distribución en porcentaje de las superficies correspondientes a las diferentes altitudes (Villón, 2002).

Por otro lado, la altitud o elevación media (E_m) es un valor que representa los aspectos climáticos y naturales de la subcuenca. Es aquel parámetro que dentro de la Curva Hipsométrica representa la ordenada de elevación que divide la subcuenca en dos zonas con áreas iguales, es decir, un 50 % del área de la subcuenca se encuentra por debajo de esta altitud y un 50 % está por encima de esta altitud. La altitud media es un parámetro importante ya que tiene influencia sobre la precipitación de la subcuenca (Villón, 2002). Para la determinación de los tres parámetros descritos, se siguió el siguiente procedimiento:

- Inicialmente, teniendo la subcuenca ya delimitada, el software ArcGIS clasificó los niveles altitudinales en intervalos iguales en un rango de 120m y se obtuvo los datos estadísticos de las áreas parciales entre dichas curvas de nivel.
- Posteriormente se calculó las áreas acumuladas de las áreas parciales brindadas por el software ArcGIS y las áreas sobre cada curva de nivel (en km² y %).
- Las áreas parciales (en %) de cada altitud se utilizaron para determinar la frecuencia de altitudes, mientras que los resultados de las áreas sobre curvas de nivel (en %) de cada altitud se utilizaron para determinar la curva hipsométrica. Finalmente para determinar el valor de la altitud media se usó la siguiente ecuación:

$$E_m = \frac{\Sigma EP}{A} \quad (5)$$

Donde:

E_m = Elevación media de la subcuenca (m s.n.m)

ΣEP = Sumatoria de Elevación Ponderada (m s.n.m km²)

A = área de la cuenca (km²)

En el anexo 6 se muestra la delimitación de curvas de nivel cada 120m aproximadamente y áreas entre cotas de la quebrada El Pedregal utilizados para la determinación de los parámetros precedentes realizados mediante el software AutoCAD. Mientras que en la tabla 10 se observa los cálculos de la curva hipsométrica, frecuencia de altitudes y altitud media.

Tabla 10:*Cálculos de la curva hipsométrica y frecuencia de altitudes y altitud media.*

Altitud (msnm)	Prom (msnm)	Áreas parciales (km ²)	Áreas acumuladas (km ²)	Área sobre las curvas de nivel (km ²)	% Área parcial	% Área sobre curvas de nivel	Elevación ponderada (Prom*Área Parcial)
825	-	0.00	0.00	10.28	0.00	100.00	
963	894	0.32	0.32	9.96	3.11	96.89	286.06
1086	1024	0.62	0.94	9.34	6.03	90.86	635.10
1206	1146	0.88	1.82	8.46	8.56	82.30	1008.28
1328	1267	1.25	3.07	7.21	12.16	70.14	1583.69
1451	1390	1.26	4.33	5.95	12.26	57.88	1750.82
1574	1512	1.32	5.65	4.63	12.84	45.04	1996.18
1697	1635	1.06	6.71	3.57	10.31	34.73	1733.39
1819	1758	0.98	7.69	2.59	9.53	25.19	1723.02
1939	1879	0.92	8.61	1.67	8.95	16.25	1729.04
2063	2001	0.78	9.39	0.89	7.59	8.66	1560.83
2187	2125	0.55	9.94	0.34	5.35	3.31	1168.73
2305	2246	0.34	10.28	0.00	3.31	0.00	763.71
Totales		10.28			100		15938.86

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los datos calculados en la anterior tabla, el valor de la altitud media se determinaría de la siguiente manera:

$$E_m = \frac{15938.86}{10.28} = 1550.47 \text{ m s. n. m}$$

Finalmente en la figura 7 se muestra la curva hipsométrica, frecuencia de altitudes y la altitud media hallada para la quebrada El Pedregal.

Figura.7. Curva Hipsométrica, frecuencia de altitudes y altitud media de la quebrada El Pedregal.
Fuente: Elaboración Propia

❖ Parámetros de drenaje

• Orden de los ríos

El orden de los ríos o corrientes, es un parámetro que permite obtener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de las corrientes. Es una clasificación que permite calcular el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos de sistemas de jerarquización, siendo los más utilizados el de Horton de 1945 y de Strahler en 1952 (GWP, 2011).

Para el método de Horton se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen tributarios. Cuando dos corrientes de orden uno se unen, resulta una corriente de orden dos. De modo general, cuando las corrientes de orden “n” se unen, resulta una corriente de orden $n+1$. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden (Gregory y Walling, 1973).

El método Strahler es similar al de Horton, con la diferencia de que, una corriente a lo largo de su curso puede poseer segmentos de distinto orden, en función de los afluentes que llegan en cada tramo. El método de Strahler es el más utilizado universalmente (GWP, 2011). En la figura 8 se observa una representación de ambos métodos descritos.

Figura. 8. Representación gráfica de los métodos de Horton y Strahler para el cálculo del orden de corrientes

Fuente: Gregory y Walling, 1973

Es importante señalar que el orden de una cuenca, está dado por el orden de la corriente principal, por lo que el valor del orden más elevado indicará la magnitud de ramificación y la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca (Campos, 1998). Por otro lado, Horton (1945) señaló que mientras más alto sea el orden de la cuenca mayor será su grado de desarrollo fluvial.

Mediante el software ArcGIS se determinó el orden de corrientes de la subcuenca de la quebrada El Pedregal mediante el método de Strahler. Se ha determinado que el cauce principal es de orden 4, por lo tanto es una subcuenca bastante ramificada por presentar corrientes de primer, segundo y tercer orden y tiende a un mayor grado de desarrollo fluvial.

- **Relación de Bifurcación (Rb)**

Horton (1945) define este parámetro como el cociente entre el número de corrientes de un orden determinado (N_u) y el número de corrientes del siguiente orden superior ($N_u + 1$). Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Rb = \frac{N_u}{N_u + 1} \quad (6)$$

Este parámetro por lo general se analiza con el Rb promedio. Según Strahler, los valores con Rb bajos se relacionan con cuencas bien drenadas y propensas a crecidas violentas mientras que ocurre lo contrario con valores de Rb altos.

A partir de la información obtenida del software ArcGIS, se analizó los datos del orden de las corrientes de la subcuenca. Se cuantificó el número total de corrientes según el número de orden determinado en el software, se realizó el cálculo del parámetro Rb para cada orden y por último con estos valores se calculó un promedio de Rb. En la tabla 11, se muestra el cálculo de la relación de bifurcación de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.

Tabla 11:

Cálculo de la relación de bifurcación de la subcuenca de la quebrada El Pedregal

Orden de la Red Hídrica	Número de corrientes de orden N	Relación de Bifurcación	Relación de Bifurcación Promedio
1	31	2.82	1.7
2	11	1.38	
3	8	1.00	
4	8		

Fuente: Elaboración Propia

El valor de la relación de bifurcación es 1.7, por lo que tiende a ser una subcuenca bien drenada y propensa a crecidas violentas.

- **Longitud de la red hídrica (Lr)**

Es la distancia total perteneciente a las corrientes o ríos de la subcuenca. Se identificó en ArcGIS que la longitud total de las corrientes como $Lr = 20.76$ km.

- **Densidad de Drenaje (Dd)**

Es un parámetro que da una idea de la cobertura que posee una cuenca. Los valores altos indican, cuencas con escasa cobertura vegetal y suelos erosionables, mientras que valores bajos indican cobertura vegetal alta y suelos poco erosionables (Villón, 2002).

Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Dd = \frac{Lr}{A} \quad (7)$$

Donde:

Dd = densidad de drenaje, km/km²

Lr = Longitud total de corrientes, km

A = Área total de la cuenca, km²

En la tabla 12 se muestra la clasificación que proponen Delgadillo y Páez (2008) sobre este parámetro.

Tabla 12:

Rangos de la densidad de drenaje de una cuenca

Rangos (km/km ²)	Clases
<1	Baja
1-2	Moderada
2-3	Alta
>3	Muy alta

Fuente: “Análisis morfométrico de cuencas”, por Delgadillo y Páez, 2008.

Se obtuvo un valor de densidad de drenaje equivalente a 2.02 km/km². Este valor alto, indica que la subcuenca presenta escasa cobertura vegetal y suelos erosionables. La subcuenca al ser bien drenada, genera una rápida respuesta hidrológica durante la ocurrencia de lluvias.

Con los parámetros hallados, se procedió al cálculo del tiempo de concentración.

- **Tiempo de Concentración**

Entendido como el tiempo que tarda en llegar una gota de agua desde el punto más alto al punto de salida de la cuenca (Ibáñez, Moreno y Gilbert, 2017).

Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizó fórmulas empíricas que se escogieron considerando que las características de la subcuenca de estudio cumplan con los criterios de aplicación de cada una las fórmulas. Entre las fórmulas seleccionadas se encuentran la fórmula de Kirpich que fue desarrollada para cuencas rurales con flujo superficial en suelo descubierto. También se escogió la fórmula de California Culverts

Practice la cual esencialmente es la fórmula de Kirpich desarrollada para pequeñas cuencas montañosas (MTC, 2019).

Asimismo la fórmula de Temez es aplicable para cuencas rurales de tamaño variable hasta los 3000 km² (Temez, 1978). La fórmula Natural Resources Conservation Service es aplicable para pequeñas cuencas rurales (US Natural Resources Conservation Service, 1997). Y finalmente la ecuación de Bransby-Williams, que se recomienda aplicarla para cuencas menores a 75 km² (Vélez y Botero, 2010). En el anexo 7 se presentan las fórmulas usadas para el cálculo. Los resultados se resumen en la tabla 13.

Tabla 13:

Resumen de resultados del cálculo del Tiempo de Concentración

Fórmula	Tiempo de concentración, min
Kirpich (1940)	30.28
California Culverts Practice (1942)	30.33
Témez	100.50
Natural Resources Conservation Service(1997)	49.28
Bransby – Williams	103.14

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados varían ampliamente, se puede observar que la fórmula de Témez y Bransby-Williams dan valores muchos mayores que los restantes por lo que se considera resultados poco representativos.

Puesto que las ecuaciones de Kirpich y California Culverts Practice han sido formuladas para cuencas montañosas y la ecuación de Natural Resources Conservation Service formulada para cuencas pequeñas como la subcuenca de estudio, han sido consideradas las ecuaciones más representativas.

Por ello, tomando en cuenta los valores de las ecuaciones de Kirpich, California Culverts Practice y Natural Resources Conservation Service, y considerando la presencia de rocas graníticas de gran tamaño que disminuyen la velocidad del flujo se obtuvo un valor promedio de 40 min como tiempo de concentración. En la tabla 14 se observa el valor obtenido.

Tabla 14:
Tiempo de Concentración determinado

Fórmula	Tiempo de concentración, min
Kirpich (1940)	30.28
California Culverts Practice (1942)	30.33
Natural Resources Conservation Service (1997)	49.28
Promedio	36.63
Promedio	40.00

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra en la tabla 15 un resumen de los parámetros calculados.

Tabla 15:
Resumen de parámetros geomorfológicos calculados

DESCRIPCIÓN	UND	VALOR
Parámetros básicos		
Área	km ²	10.28
Perímetro de la cuenca	km	14.58
Cota máxima	m s.n.m	2305
Cota mínima	m s.n.m	825
Longitud de la cuenca	km	5.83
Longitud del curso principal	km	6.61
Ancho de la cuenca	km	1.76
Parámetros de forma		
Índice de Gravelius		1.27
Razón de Elongación		0.71
Parámetros de relieve		
Pendiente media de la cuenca	%	44
Pendiente media del cauce principal	%	22
Altitud media	m s.n.m	1550.47
Parámetros de drenaje		
Orden de Ríos (Cauce principal)	UND	4
Longitud de la red hídrica	km	20.76
Densidad de drenaje	km/km ²	2.02
Parámetros Generados		
Tiempo de concentración	min	40.00

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenidos los parámetros principales de la subcuenca El Pedregal, se procedió a realizar los siguientes puntos:

A) ANÁLISIS DE LLUVIAS

Para el estudio detallado de huaicos y la determinación de caudales máximos de la quebrada, es preciso establecer en primer lugar el análisis de lluvias a través de un estudio de precipitaciones anual promedio.

La cuenca del Río Rímac cuenta con 13 estaciones meteorológicas, de las cuales se obtuvo información de 5 estaciones cercanas a la subcuenca de estudio. En la tabla 16 se muestra las coordenadas geográficas de 5 estaciones.

Tabla 16:
Coordenadas geográficas de 5 estaciones.

Estaciones	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m)
Santa Eulalia	11°55'12" S	76°39'59.9" W	970
Autisha	11°44'17.33" S	76°36'39.7" W	2181
Chosica	11°55'47.48" S	76°41'23.09" W	867
Matucana	11°50'20.86" S	76°22'40.52" W	2417
Carampoma	11°39'18.1" S	76°30'54.49" W	3424

Fuente: Datos Hidrometeoro lógicos a nivel nacional, Senamhi, 2019

En el anexo 8 se muestra un Mapa de ubicación de las 5 estaciones cercanas a la subcuenca de la quebrada El Pedregal.

Se ha recopilado del "Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac", realizado por el ANA, información básica utilizada para los fines del estudio. Se trata de la serie histórica de precipitaciones máximas anuales en 24 horas registradas en las estaciones meteorológicas de Santa Eulalia, Autisha, Chosica, Matucana, y Carampoma entre los años 1964 y 2009 (ANA, 2010). En la tabla 17 se muestra lo mencionado.

Tabla 17:
Precipitación máxima anual en 24 horas.

Precipitación Máxima Anual en 24 Horas - mm					
AÑOS	CHOSICA	SANTA EULALIA	AUTISHA	MATUCANA	CARAMPOMA
1964	10.6	5.4	18.5	22.1	25.0
1965	7.2	15.3	20.5	14.9	20.5
1966	13.8	26.0	21.1	17.1	10.6

1967	6.9	29.8	14.7	16.7	22.2
1968	3.2	3.0	15.5	15.4	15.5
1969	6.8	10.6	21.4	12.0	21.3
1970	11.9	30.8	12.5	31.7	30.2
1971	15.1	14.5	15.1	23.3	30.4
1972	9.5	20.0	15.4	18.1	27.5
1973	6.9	19.2	27.4	25.2	32.6
1974	1.6	6.0	11.2	11.9	28.2
1975	10.8	14.5	14.6	10.8	17.0
1976	11.9	30.0	20.4	15.8	24.5
1977	6.5	8.0	18.6	35.2	23.8
1978	1.6	6.8	9.3	7.8	14.8
1979	7.5	10.0	10.3	12.3	20.3
1980	8.7	10.0	16.5	8.8	20.6
1981	5.7	10.0	13.7	12.5	30.3
1982	14.0	6.3	11.2	9.5	15.5
1983	7.2	10.5	20.5	25.0	31.2
1984	5.4	10.5	14.0	21.5	20.8
1985	10.5	0.4	6.4	19.8	21.4
1986	7.3	2.0	12.8	27.2	33.3
1987	16.1	36.0	11.6	20.9	22.7
1988	2.9	9.7	9.8	12.3	31.5
1989	5.2	27.6	20.3	10.7	19.6
1990	3.2	6.5	14.7	10.6	25.6
1991	3.7	3.0	29.7	17.6	23.3
1992	2.3	0.5	6.3	30.5	19.2
1993	2.4	2.0	23.3	30.3	22.4
1994	16.0	13.5	11.2	15.5	17.9
1995	3.0	3.8	9.3	22.3	15.1
1996	5.8	4.5	18.4	13.6	17.2
1997	2.8	4.9	10.2	9.5	15.7
1998	13.2	6.0	22.2	21.9	24.1
1999	6.5	14.7	22.1	19.8	15.5
2000	6.0	6.4	9.5	14.3	15.2
2001	5.2	8.0	14.1	16.2	17.4
2002	30.7	25.9	16.4	15.7	21.2
2003	2.8	16.8	25.5	19.5	18.3
2004	1.6	2.5	14.4	18.0	14.8
2005	1.2	1.5	11.7	21.5	16.3
2006	5.6	7.8	30.8	14.3	24.1
2007	7.7	4.1	27.8	16.6	18.6
2008	4.0	5.3	16.9	16.5	17.5
2009	8.0	11.2	19.3	23.1	18.7

Fuente: Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac, por ANA, 2010

Por otro lado, se obtuvo información adicional de Senamhi sobre la precipitación máxima mensual en 24 horas desde los años 2010 a 2017 e información de precipitación máxima diaria de los periodos 2018 y 2019 de las estaciones Santa Eulalia y Autisha. En el anexo 9 se muestra el proceso de cálculo para la obtención de la precipitación máxima anual en 24 horas para ambas estaciones a partir de la información brindada por Senamhi así como los

gráficos de las series anuales de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones Santa Eulalia y Autisha en los periodos 2010 a 2019. En la siguiente tabla 18 se muestra los datos obtenidos de precipitación máxima anual en 24 horas para cada estación.

Tabla 18:

Precipitación anual máxima en 24 horas.

Año	SANTA EULALIA Precipitación Máxima Anual en 24 horas, en mm	AUTISHA Precipitación Máxima Anual en 24 horas, en mm
2010	4.5	19.6
2011	5.5	14.4
2012	12.5	21.3
2013	8.5	18
2014	3.5	1
2015	17.2	9.9
2016	5.5	17
2017	33.8	17.4
2018	9.8	9.9
2019	5.8	8.5

Fuente: Dirección de redes de Observación y Datos por Senamhi, 2019

Cabe resaltar que se consideró importante obtener esta información complementaria de las estaciones Santa Eulalia y Autisha debido a que son las estaciones más cercanas y se encuentran en cotas representativas de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.

Se consideró no completar los datos faltantes del resto de estaciones, con el fin de evitar usar más técnicas hidrológicas, sin embargo con los datos obtenidos fue posible realizar el estudio. Al no existir información propia de la subcuenca de la quebrada El Pedregal, se hizo una evaluación estadística, que sirve para determinar un único valor de la media y la desviación estándar de la precipitación máxima en 24h, ambos valores representativos de la subcuenca de estudio; de esta manera emplearlos en la metodología de Gumbel para hallar precipitaciones máximas en 24 horas para distintos periodos de retorno.

Esta evaluación estadística consistió inicialmente en determinar la media y la desviación típica de las precipitaciones anuales máximas en 24 horas para cada estación. Teniendo en cuenta que los valores de la media y la desviación típica tienden a aumentar a medida que aumenta el número de años de registro o longitud de registro, esto puede generar resultados sobrevalorados, por ello se usó el criterio propuesto por Hersfield en 1981 para determinar factores de corrección para la media y desviación típica mediante un ábaco que se muestra en la figura 9 (como es citado en WMO-No. 1045, 2009).

Figura. 9. Ajuste de la media y la desviación típica de las series anuales por longitud de registro.

Fuente: “Manual on Estimation of Probable Maximum”, por WMO-No. 1045, 2009

Se considera que los factores de corrección de la media son iguales a 1 para longitudes de registros mayores o iguales a 40 años, mientras que los factores de corrección de la desviación típica son iguales a 1 para 50 años de longitud de registro (WMO-No. 1045, 2009). Es así como se corrigieron las medias y desviaciones típicas de los registros históricos de precipitación. En la tabla 19 se muestra los datos estadísticos obtenidos.

Tabla 19:

Datos de las estaciones meteorológicas.

ESTACIONES	CHOSICA	SANTA EULALIA	AUTISHA	MATUCANA	CARAMPOMA
ALTITUD (m s.n.m)	867	970	2181	2417	3424
Nº AÑOS de registro	46	56	56	46	46
M (mm)	7.53	11.22	15.97	17.95	21.51
S (mm)	5.39	9.08	6.09	6.45	5.61
FCM	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
FCS	1.02	1.00	1.00	1.02	1.02
MC (mm)	7.53	11.22	15.97	17.95	21.51
SC (mm)	5.50	9.08	6.09	6.58	5.72
PM (mm)	30.7	36.0	30.8	35.2	33.3
KMAX	4.21	2.73	2.44	2.62	2.06

Fuente: Elaboración Propia

Dónde:

M	Promedio de las precipitaciones máximas en 24 horas
S	Desviación típica de las precipitaciones máximas en 24 horas
FCM	Factor de Corrección por longitud de registro para el promedio
FCS	Factor de Corrección por longitud de registro para la desviación típica
MC	Promedio de Pmax en 24h corregido por longitud de registro
SC	Desviación típica de la Pmax en 24h corregido por longitud de registro
PM	Máximo valor de la precipitación máxima en 24h
KMAX	Factor de frecuencia máximo histórico = (PM-MC)/SC

Con los datos obtenidos, se analizó la relación existente entre el promedio y la desviación típica de las precipitaciones máximas obtenidas con las altitudes de cada estación. En las figuras 10 y 11 se muestra las relaciones obtenidas.

Figura. 10. Relación entre el promedio de la precipitación máxima en 24hr y la altitud de las 05 estaciones.

Fuente: Elaboración Propia

Figura. 11. Relación entre desviación típica con la altitud de cada estación de las 05 estaciones.

Fuente: Elaboración Propia

De los resultados obtenidos se observó que, no existe relación funcional entre la desviación típica y la altitud, por lo que se considera que la desviación típica representativa de la subcuenca de estudio es el valor 9.08, es decir el valor de la desviación típica de la estación de Santa Eulalia, debido a que se consideró elegir la estación que tiene la altitud más cercana a la altitud media de la subcuenca de estudio considerando que el patrón de precipitaciones predominante para las subcuencas del río Rímac es orográfico.

Por el contrario, se observó que la relación funcional entre el promedio de la precipitación máxima y la altitud presenta un buen coeficiente de correlación y es lineal, la cual se muestra a continuación:

$$y = 0.005x + 4.9218 \quad (8)$$

Donde:

y = Promedio de Precipitación Máxima en 24hr corregido por longitud de registro (mm)

x = Altitud media de la subcuenca (m s.n.m)

Seguidamente se consideró la altitud media de la subcuenca, anteriormente hallada en los parámetros geomorfológicos, como parte de la ecuación característica mediante el valor de “x” y de esta manera se obtuvo el valor del promedio de la precipitación máxima en 24 hr, es decir el valor de “y”. En la tabla 20 se muestra los datos obtenidos, los cuales serán usados posteriormente en el método de Gumbel.

Tabla 20:

Resultados obtenidos de la ecuación característica

Ecuación Característica	$y = 0.005x + 4.9218$
Altitud Media de la cuenca (msnm)	$x = 1550.47$
$\bar{x}$ = Promedio de la Pmax 24h (mm)	$y = 12.67$
$\bar{s}$ =Desviación Típica de la Pmax 24 h (mm)	9.08
n= Muestra o Longitud de registro (años)	56

Fuente: Elaboración Propia

El método de Gumbel es una distribución de probabilidad importante usada en el análisis de frecuencia hidrológico, la cual ha sido utilizada en estudios hidrológicos para representar el comportamiento de crecientes (OMM- N° 168, 2011). Se trata de una distribución general de valores extremos, propuesta por Gumbel (1941) y luego por Chow (1954) en la cual, el valor extremo o valor máximo X se obtiene mediante la siguiente ecuación de análisis de frecuencia (como es citado en Rojas, 2011).

$$X = \bar{x} + K_T \bar{s} \quad (9)$$

Donde:

$\bar{x}$ = Media o promedio de la muestra (Pmax 24h)

K_T = Factor de frecuencia para la distribución de Gumbel

$\bar{s}$ = Desviación Típica de la muestra (Pmax 24h)

El valor de K_T se calcula mediante la siguiente ecuación

$$K_T = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \{0.5772 + \ln[\ln T - \ln(T - 1)]\} \quad (10)$$

Donde:

T = Es el periodo de retorno

Haciendo uso de estas ecuaciones se procedió a determinar las precipitaciones máximas en 24 hr para diferentes periodos de retorno, utilizando la ecuación 9 de distribución de probabilidad de Gumbel (tabla 21).

Tabla 21:

Calculo de Precipitaciones Máximas en 24 h para cada periodo de retoro mediante el método de Gumbel.

T (años)	K_T	Pmax24h (mm)
Periodo de Retorno	Factor de frecuencia	$X = \bar{x} + K_T \bar{s}$
5	0.72	19.20
10	1.30	24.52
20	1.87	29.61
25	2.04	31.23
50	2.59	36.21
100	3.14	41.15
500	4.39	52.57
1000	4.94	57.48

Fuente: Elaboración Propia

Para continuar con el estudio, se determinó parámetros a partir del método de IILA que se encuentra en el Manual de Hidrología y Drenaje correspondiente al Estudio de Hidrología del Perú desarrollado por el convenio IILA- SENAMHI-UNI en 1983. Se detalla a

continuación. Se determinó “n” que es un parámetro de duración adimensional que define las curvas de probabilidad pluviométrica en cada subzona del país. Para determinar este parámetro se usó el mapa de subdivisión del territorio de zonas y subzonas pluviométricas mostrado en el anexo 10. Según el mapa, el punto de la subzona en el que se ubica la quebrada El Pedregal es $5a_4$. En la tabla 22, se buscó este valor de la subzona para ubicar su respectivo valor de n, y al no encontrar este valor se realizó una interpolación entre los valores de n que corresponde a la subzona $5a_2$ y $5a_5$, de esta manera se adoptó un valor de n igual a 0.302 para la sub zona $5a_4$.

Tabla 22:

Valores del parámetro n que junto a otros parámetros definen las curvas de probabilidad pluviométrica en cada punto de las sub zonas.

SUB ZONA	ESTACIÓN	Nº TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE n	VALOR DE a
123 ₁	321-385	2	0,357	32,2
123 ₃	384-787-805	3	0,405	a = 37,85 - 0,0083 Y
123 ₁₃	244-193	2	0,432	
123 ₅	850-903	2	0,353	9,2
123 ₆	840-913-918	4	0,380	11
	958			
123 ₈	654-674-679	9	0,232	14,0
	709-713-714			
	732-745-752			
123 ₉	769	1	0,242	12,1
123 ₁₀	446-557-594	14	0,254	a = 3,01 + 0,0025 Y
	653-672-696			
	708-711-712			
	715-717-724			
	757-773			
123 ₁₁	508-667-719	5	0,286	a = 0,46 + 0,0023 Y
	750-771			
5a ₂	935-968	2	0,301	a = 14,1 - 0,078 D _c
5a ₅	559	1	0,303	a = 2,6 + 0,0031 Y
5a ₁₀	248	1	0,434	a = 5,80 + 0,0009 Y

Nota: Siendo " a " parámetro de intensidad en mm, para el estudio solo se consideró determinar el valor del parámetro "n"

Fuente: Estudio de Hidrología del Perú, por IILA, SENAMHI, UNI, 1983

Por otro lado se determinó la variable “t” que se define como la duración en horas de la lluvia diaria. Según el estudio de IILA, SENAMHI, UNI (1983), se considera para todo el Perú un valor promedio de 15,2 hr como duración, sin embargo este valor fue obtenido con pocas estaciones pluviográficas con las que se cuenta en el país y son estaciones combinadas del Pacífico y del Atlántico con diferentes latitudes y altitudes. Por esta razón para el estudio de la subcuenca de la quebrada El Pedregal se considera más adecuado el uso del valor de 16 horas como duración. Si bien, este es un valor cercano al promedio, ha permitido estimar caudales máximos que fueron calibrados y así representar resultados más aproximados y ajustados a la realidad de la zona de estudio. Cabe señalar que la calibración del caudal máximo se demostrará más adelante en el estudio del numeral C de caudales máximos.

Las variables “n” y “t” descritos en párrafos precedentes fueron recopilados del Estudio de Hidrología del Perú, con el fin de generar el coeficiente "K" mediante el cual se evaluará la precipitación máxima en 24 horas para cada periodo de retorno (5,10, 20, 25 50, 100, 500 y 1000 años) en un intervalo de tiempo de 0.5h durante 16 horas. Para esto se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{P.\max 24h}{t^n} \quad (11)$$

Donde:

K = Coeficiente generado para cada periodo de retorno.

prec. max 24h = Precipitación máxima en 24 horas hallada para cada periodo de retorno mediante el Método de Gumbel.

t = Duración de la lluvia diaria seleccionada, 16 horas.

n = Parámetro de duración adimensional seleccionado, 0.302.

En la tabla 23, se muestra el coeficiente K determinado para cada periodo de retorno con la ecuación anterior.

Tabla 23:

Valores del coeficiente *K* determinado para cada periodo de retorno.

T (años)	Pmax24h (mm)	K
Periodo de Retorno		
5	19.20	8.31
10	24.52	10.61
20	29.61	12.82
25	31.23	13.52
50	36.21	15.67
100	41.15	17.81
500	52.57	22.76
1000	57.48	24.88

Fuente: Elaboración Propia

A partir de este coeficiente se repartió la precipitación máxima para cada periodo de retorno en intervalos de 0.5 hora durante 16 horas mediante la siguiente ecuación:

$$P_{24h} = KD^n \quad (12)$$

Donde:

P_{24h} = Lluvia total acumulada (mm) o precipitación máxima en 24 h cada media hora

K = Coeficiente determinado para cada periodo de retorno.

D = Tiempo cada 0.5 h.

n = Parámetro de duración adimensional seleccionado, 0.302

En tabla 24 se muestra los datos utilizados para el cálculo de la determinación de la precipitación máxima en intervalos de tiempo de media hora en un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 24:

Datos para la determinación de la precipitación máxima en intervalos de tiempo de media hora para un periodo de retorno de 100 años

TR=100 años		
PRECIPITACION MAX 24h =	41.15	mm
Duración Total (t) =16h	n =	0.302
	K =	17.812

Fuente: Elaboración Propia

En tabla 25 se muestra los resultados obtenidos del cálculo la precipitación máxima en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años, en un intervalo de tiempo de 0.5 hora.

Tabla 25:

Resultados para la determinación de la precipitación máxima en 24 hr en intervalos de tiempo de media hora para un periodo de retorno de 100 años.

TIEMPO	LLUVIA
D	TOTAL AC
h	mm
0.0	0.000
0.5	14.448
1.0	17.812
1.5	20.132
2.0	21.959
2.5	23.490
3.0	24.820
3.5	26.003
4.0	27.073
4.5	28.053
5.0	28.960
5.5	29.806
6.0	30.599
6.5	31.348
7.0	32.057
7.5	32.732
8.0	33.376
8.5	33.993
9.0	34.585
9.5	35.154
10.0	35.703
10.5	36.233
11.0	36.746
11.5	37.242
12.0	37.724
12.5	38.192
13.0	38.647
13.5	39.090
14.0	39.522
14.5	39.943
15.0	40.354
15.5	40.756
16.0	41.148

Fuente: Elaboración Propia

En el anexo 11 se muestra el mismo procedimiento de cálculo de precipitación máxima en intervalos de 0.5h que se utilizó para los periodos de retornos de 5, 10,20, 25, 50, 500 y 1000 años.

B) CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA

Conocida también como precipitación neta. Para calcular la precipitación efectiva (P_e) se usó el método de Soil Conservation Service (1972) descrito en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Este método propone el cálculo de la precipitación efectiva mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

P_e = Precipitación Efectiva (mm)

P = Precipitación de diseño, en este caso será Precipitación máxima en 24 horas (mm)

S = Retención Potencial Máxima (pulgadas)

A su vez, la Retención Potencial Máxima (S) es un coeficiente que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (14)$$

Dónde:

CN= Número de Curva

Como se observa, el uso de la metodología requiere de la determinación del Número de Curva (CN). El número de curva es un parámetro empírico que representa las condiciones de impermeabilidad de una cuenca. Puede tomar valores de 0 a 100, los valores que se acercan a 0 indican condiciones de permeabilidad muy alta, mientras que valores cercanos a 100 indican condiciones de impermeabilidad.

Para determinar el parámetro CN se toma en cuenta las siguientes variables: la precipitación, la condición hidrológica para la infiltración, el complejo de suelo - hidrológico que considera la interrelación suelo - cobertura vegetal y la condición de humedad antecedente (Lavado, 2014).

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service en base al tipo y uso del suelo. Utilizando la información sobre la geología del numeral 3.1.4 se caracterizó las condiciones de tipo de suelo de la quebrada El Pedregal. Puesto que el suelo de la quebrada de estudio se clasifica como GP, grava pobremente gradada superficialmente con arena limosa, el grupo hidrológico al que pertenece es el B. En la tabla 26 se muestra el grupo hidrológico de la quebrada El Pedregal seleccionado.

Tabla 26:
Grupo Hidrológico de la quebrada El Pedregal

Grupo	Velocidad de infiltración mm/h	Suelos
A	7,6 – 11,5	Estratos de arena profundos
B	3,8 – 7,6	Arena – limosa
C	1,3 – 3,8	Limos arcillosos, arenas limosas poco profundas
D	0,0 – 1,3	Suelos expansibles en condiciones de humedad, arcillas de alta plasticidad

Fuente: Determinación de la lluvia neta, por Soil Conservation Service, USA, 1972

Utilizando la información sobre la cobertura vegetal del numeral 3.1.3 se caracterizó las condiciones de uso del suelo de la quebrada El Pedregal. Se tomó en cuenta que la quebrada presenta una escasa cobertura vegetal, que la especie resaltante es la gramínea tipo forrajero y que junto al resto de especies aún existentes en la zona están siendo obstruidos por la actividad humana (sobrepastoreo y ocupación de viviendas). El tipo de cobertura pastizal con condición de infiltración mala o pobre representa que menos del 50% del terreno está cubierto por pastizal, pastos o forrajes (USDA Soil Conservation Service, 2004).

Asimismo se tomó en cuenta el criterio que con pendientes pequeñas la condición hidrológica para la infiltración es buena, y a medida que aumenta pasa de regular a mala o pobre y se hizo esta clasificación en base a la pendiente de la subcuenca que es 44% que representa una pendiente fuerte con peligro extremo de erosión y procesos de deslizamiento intensos. Por consiguiente, considerando la información señalada, la zona de estudio fue clasificada como pastizal con condición de infiltración mala o pobre. En la tabla 27 se muestra los números de curvas para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo – vegetación y el número de curva seleccionado para la zona de estudio

Tabla 27:*Números de Curvas para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo – vegetación*(Para las cuencas en condiciones II, e $I_e = 0,2 S$)

Uso del suelo y cubierta	Tratamiento ó método	Condición para la infiltración	Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	SR		77	86	91	94
Cultivos en hileras	SR	Mala	72	81	88	91
	SR	Buena	67	78	85	89
	C	Mala	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	C y T	Mala	66	74	80	82
	C y T	Buena	62	71	78	81
Granos pequeños	SR	Mala	65	76	84	88
	SR	Buena	63	75	83	87
	C	Mala	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	C y T	Mala	61	72	79	82
	C y T	Buena	59	70	78	81
Legumbres tupidas o rotación de pradera	SR	Mala	66	77	85	89
	SR	Buena	58	72	81	85
	C	Mala	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C y T	Mala	63	73	80	83
	C y T	Buena	51	67	76	80
Pradera o pastizal		Mala	68	79	88	89
		Buena	49	69	79	84
		Mala	39	61	74	80
	C	Buena	47	67	81	88
	C	Mala	25	59	75	83
	C	Buena	6	35	70	79
Pradera perm. Bosques (lotes de bosque)			30	58	71	78
		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Cascos ranchos			59	74	82	86
Caminos revest.			72	82	87	89
Pavimentos			74	84	90	92

SR = hileras rectas
 C = por líneas de nivel
 T = terrazas
 C y T = terrazas a nivel

Fuente: Determinación de la lluvia neta, por Soil Conservation Service, USA, 1972

Con los datos precedentes se obtuvo el número de curva 79 correspondiente a la condición de humedad antecedente II (AMC II) porque la tabla anterior fue adaptada únicamente para números de curvas para condiciones de humedad normales. Puesto que para este estudio es necesario obtener el número de curva correspondiente a la condición de humedad antecedente III (AMC III), ya que representan el suelo húmedo saturado en el que las fuertes precipitaciones originan las crecidas máximas que arrastran los sedimentos y producen los huaicos, se decidió corregir el valor obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (15)$$

De esta manera se adoptó el valor del número de curva igual a 90 para el modelamiento. Una vez obtenido el número de curva para la condición de humedad antecedente III, se procedió a calcular la retención potencial máxima (S) con la ecuación 14 descrita en párrafos anteriores. Se obtuvo un valor igual a 28.22 mm.

Finalmente, empleando los datos de precipitación máxima en 24 horas hallados anteriormente en el método de Gumbel, del valor de la retención potencial máxima (S) y de la ecuación 13 se determinó la precipitación efectiva para diferentes periodos de retorno propuesta por el método de Soil Conservation Service. Los resultados se presentan en la tabla 28.

Tabla 28:

Resultados del cálculo de la precipitación efectiva para diferentes periodos de retorno

T (años) Periodo de Retorno	Pmax24h (mm)	P efectiva (mm)
5	19.20	4.40
10	24.52	7.56
20	29.61	11.01
25	31.23	12.16
50	36.21	15.89
100	41.15	19.78
500	52.57	29.30
1000	57.48	33.56

Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente se calculó la precipitación efectiva o neta para cada periodo de retorno en intervalos de 0.5 hora durante 16 horas mediante la misma ecuación del método de Soil Conservation Service tomando en cuenta las precipitaciones máximas en 24 horas halladas para intervalos de 0.5 hora durante 16 horas. Asimismo se determinó la precipitación efectiva parcial.

En la tabla 29 se muestra los resultados obtenidos para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 29:

Resultados del cálculo de la precipitación efectiva para un periodo de retorno de 100 años

TIEMPO	LLUVIA	LLUVIA	LLUVIA
D	TOTAL AC	NETA ACUM	NETA PARCIAL
h	mm	mm	mm
0.0	0.000	0.000	0.000
0.5	14.448	2.093	2.093
1.0	17.812	3.665	1.572
1.5	20.132	4.914	1.249
2.0	21.959	5.976	1.062
2.5	23.490	6.913	0.937
3.0	24.820	7.758	0.845
3.5	26.003	8.531	0.774
4.0	27.073	9.248	0.717
4.5	28.053	9.918	0.670
5.0	28.960	10.548	0.630
5.5	29.806	11.144	0.596
6.0	30.599	11.711	0.567
6.5	31.348	12.251	0.541
7.0	32.057	12.769	0.518
7.5	32.732	13.266	0.497
8.0	33.376	13.745	0.478
8.5	33.993	14.206	0.462
9.0	34.585	14.652	0.446
9.5	35.154	15.084	0.432
10.0	35.703	15.503	0.419
10.5	36.233	15.910	0.407
11.0	36.746	16.305	0.396
11.5	37.242	16.691	0.385
12.0	37.724	17.066	0.375
12.5	38.192	17.432	0.366
13.0	38.647	17.790	0.358
13.5	39.090	18.139	0.350
14.0	39.522	18.481	0.342
14.5	39.943	18.816	0.335
15.0	40.354	19.144	0.328
15.5	40.756	19.465	0.321
16.0	41.148	19.780	0.315

Fuente: Elaboración Propia

En el anexo 12 se muestra el mismo procedimiento que se utilizó para los periodos de retornos de 5, 10,20, 25, 50,500 y 1000 años.

En la tabla 30 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de precipitación efectiva parcial para cada periodo de retorno.

Tabla 30:

Resumen de los resultados obtenidos de precipitación efectiva parcial para cada periodo de retorno.

TIEMPO D horas	P EFECTIVA mm							
	5 AÑOS	10 AÑOS	20 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS	1000 AÑOS
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.5	0.041	0.282	0.685	0.844	1.416	2.093	4.001	4.942
1.0	0.189	0.462	0.769	0.873	1.214	1.572	2.458	2.855
1.5	0.210	0.423	0.656	0.734	0.986	1.249	1.886	2.168
2.0	0.206	0.385	0.579	0.643	0.849	1.062	1.574	1.800
2.5	0.198	0.355	0.523	0.578	0.755	0.937	1.371	1.561
3.0	0.189	0.330	0.480	0.529	0.685	0.845	1.225	1.391
3.5	0.181	0.310	0.445	0.490	0.630	0.774	1.114	1.262
4.0	0.174	0.293	0.417	0.458	0.586	0.717	1.026	1.160
4.5	0.167	0.278	0.393	0.431	0.549	0.670	0.954	1.077
5.0	0.161	0.265	0.373	0.408	0.518	0.630	0.894	1.008
5.5	0.156	0.254	0.355	0.388	0.491	0.596	0.842	0.949
6.0	0.151	0.244	0.339	0.371	0.468	0.567	0.798	0.898
6.5	0.146	0.235	0.326	0.355	0.447	0.541	0.759	0.854
7.0	0.142	0.227	0.313	0.341	0.429	0.518	0.725	0.814
7.5	0.138	0.219	0.302	0.329	0.413	0.497	0.694	0.780
8.0	0.135	0.213	0.292	0.317	0.398	0.478	0.667	0.748
8.5	0.132	0.207	0.283	0.307	0.384	0.462	0.642	0.720
9.0	0.128	0.201	0.274	0.298	0.372	0.446	0.619	0.694
9.5	0.126	0.195	0.266	0.289	0.360	0.432	0.599	0.671
10.0	0.123	0.191	0.259	0.281	0.350	0.419	0.580	0.649
10.5	0.120	0.186	0.252	0.273	0.340	0.407	0.562	0.629
11.0	0.118	0.182	0.246	0.266	0.331	0.396	0.546	0.611
11.5	0.115	0.178	0.240	0.260	0.322	0.385	0.531	0.594
12.0	0.113	0.174	0.234	0.254	0.315	0.375	0.517	0.578
12.5	0.111	0.170	0.229	0.248	0.307	0.366	0.504	0.563
13.0	0.109	0.167	0.224	0.243	0.300	0.358	0.491	0.549
13.5	0.107	0.163	0.219	0.237	0.293	0.350	0.480	0.535
14.0	0.106	0.160	0.215	0.233	0.287	0.342	0.469	0.523
14.5	0.104	0.157	0.211	0.228	0.281	0.335	0.458	0.511
15.0	0.102	0.155	0.207	0.224	0.276	0.328	0.448	0.500
15.5	0.101	0.152	0.203	0.219	0.270	0.321	0.439	0.490
16.0	0.099	0.150	0.199	0.216	0.265	0.315	0.430	0.480

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de lluvia efectiva parcial para cada periodo de retorno, se ordenaron mediante el método de bloques alternos como se ve en la siguiente tabla 31. Este método se basa en organizar los valores de tal manera que al generarse los hietogramas se ubique en el centro

el mayor valor, a su derecha el segundo valor, a su izquierda el tercer valor, y así sucesivamente con el resto de valores.

Tabla 31:

Precipitación neta para cada periodo de retorno ordenado.

Ordinal	P EFECTIVA (mm)							
	5 AÑOS	10 AÑOS	20 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS	500 AÑOS	1000 AÑOS
33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
31	0.099	0.152	0.203	0.219	0.270	0.321	0.439	0.490
29	0.102	0.157	0.211	0.228	0.281	0.335	0.458	0.511
27	0.106	0.163	0.219	0.237	0.293	0.350	0.480	0.535
25	0.109	0.170	0.229	0.248	0.307	0.366	0.504	0.563
23	0.113	0.178	0.240	0.260	0.322	0.385	0.531	0.594
21	0.118	0.186	0.252	0.273	0.340	0.407	0.562	0.629
19	0.123	0.195	0.266	0.289	0.360	0.432	0.599	0.671
17	0.128	0.207	0.283	0.307	0.384	0.462	0.642	0.720
15	0.135	0.219	0.302	0.329	0.413	0.497	0.694	0.780
13	0.142	0.235	0.326	0.355	0.447	0.541	0.759	0.854
11	0.151	0.254	0.355	0.388	0.491	0.596	0.842	0.949
9	0.161	0.278	0.393	0.431	0.549	0.670	0.954	1.077
7	0.174	0.293	0.445	0.490	0.630	0.774	1.114	1.262
5	0.189	0.330	0.523	0.578	0.755	0.937	1.371	1.561
3	0.198	0.385	0.656	0.734	0.986	1.249	1.886	2.168
1	0.210	0.462	0.769	0.873	1.416	2.093	4.001	4.942
2	0.206	0.423	0.685	0.844	1.214	1.572	2.458	2.855
4	0.189	0.355	0.579	0.643	0.849	1.062	1.574	1.800
6	0.181	0.310	0.480	0.529	0.685	0.845	1.225	1.391
8	0.167	0.282	0.417	0.458	0.586	0.717	1.026	1.160
10	0.156	0.265	0.373	0.408	0.518	0.630	0.894	1.008
12	0.146	0.244	0.339	0.371	0.468	0.567	0.798	0.898
14	0.138	0.227	0.313	0.341	0.429	0.518	0.725	0.814
16	0.132	0.213	0.292	0.317	0.398	0.478	0.667	0.748
18	0.126	0.201	0.274	0.298	0.372	0.446	0.619	0.694
20	0.120	0.191	0.259	0.281	0.350	0.419	0.580	0.649
22	0.115	0.182	0.246	0.266	0.331	0.396	0.546	0.611
24	0.111	0.174	0.234	0.254	0.315	0.375	0.517	0.578
26	0.107	0.167	0.224	0.243	0.300	0.358	0.491	0.549
28	0.104	0.160	0.215	0.233	0.287	0.342	0.469	0.523
30	0.101	0.155	0.207	0.224	0.276	0.328	0.448	0.500
32	0.041	0.150	0.199	0.216	0.265	0.315	0.430	0.480
max	0.210	0.462	0.769	0.873	1.416	2.093	4.001	4.942

Fuente: Elaboración Propia

Es así como, se obtuvo los Hietogramas para cada periodo de retorno, los cuales se presentan en la figura 12.

Figura. 12. Hietograma de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.
Fuente: Elaboración Propia

C) CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS

Finalmente se usó el software HEC-HMS (Sistema de Modelado Hidrológico) para el cálculo de los caudales máximos de la subcuenca de la quebrada El Pedregal.

Para ello, el proceso se inició introduciendo datos de entrada al programa como el área, tiempo de concentración y los datos de precipitación efectiva determinado en el literal precedente. Con los datos introducidos, el programa realizó la transformación de la precipitación efectiva en caudal, para ello el programa uso el método de SCS. Este método se basa en la generación de un Hidrograma Unitario Sintético (Manual de Referencia Técnica HEC HMS, 2019). El programa únicamente solicita el tiempo de retraso en minutos (t_{lag}), definido como el tiempo que transcurre desde el centro de gravedad de la P neta hasta el pico del hidrograma. El tiempo de retraso está relacionado con el tiempo de concentración mediante la siguiente ecuación:

$$t_{lag} = 0.6 t_c \quad (16)$$

De esta manera, con los datos introducidos el software se encargó de calcular solo la escorrentía directa producida por la precipitación efectiva (Manual de Referencia Técnica

HEC HMS, 2019). Para este estudio no se introdujo datos de flujo base debido a que es el que aporta el escurrimiento subterráneo y se da en aquellos cauces donde el flujo no desaparece durante las épocas secas. Finalmente el programa sumó todos los caudales generados a lo largo del cauce y nos proporcionó el hidrograma en la salida de la subcuenca y el valor de caudal máximo para cada periodo de retorno.

En las figuras 13 y 14 se muestra los hidrogramas obtenidos para la subcuenca de la quebrada El Pedregal para un periodo de retorno de 100 y 500 años respectivamente.

Figura. 13. Hidrograma de Caudales máximos calculados de la Subcuenca de la quebrada El Pedregal para un periodo de retorno de 100 años.
Fuente: Elaboración Propia

Figura. 14. Hidrograma de Caudales máximos calculados de la subcuenca de la quebrada El Pedregal para un periodo de retorno de 500 años.
Fuente: Elaboración Propia

Se observa que para un periodo de retorno de 100 años y 500 años se tiene un caudal máximo de 10.41 m³/s y 18.96 m³/s respectivamente. En el anexo 13 se muestra los hidrogramas obtenidos para la subcuenca de la quebrada El Pedregal para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 25,50 y 1000 años respectivamente.

Por otro lado, se evaluó el riesgo de falla el cual indica que hay alta probabilidad de ocurrencia de un evento destructor en la vida útil de las estructuras, cuya fórmula es:

$$J = 1 - \left(1 - \left(\frac{1}{Tr} \right) \right)^n \quad (17)$$

Dónde:

- J: Riesgo de falla.

- Tr : es la inversa de la probabilidad de ocurrencia $Tr = \frac{1}{p}$
- P: Probabilidad de ser igualado o superado en un año cualquiera.
- n: tiempo de vida útil de la estructura

Evaluando para un Tr = 100 años con un n = 50 años

$$J = 1 - \left(1 - \left(\frac{1}{100}\right)\right)^{50} = 39\%$$

El riesgo de falla para un Tr= 100 años es 39%

Evaluando para un Tr = 500 años con un n = 50 años

$$J = 1 - \left(1 - \left(\frac{1}{500}\right)\right)^{50} = 9.5\%$$

El riesgo de falla para Tr=500 años se reduce a un 9.5%

Por otro lado, para la calibración de los caudales máximos hallados en el programa HEC HMS se usó la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{AR^{2/3}\sqrt{So}}{n} \quad (18)$$

Donde:

Q= Caudal o flujo (m³/s)

A= Área hidráulica (m²)

R=Radio Hidráulico (m)

So= Pendiente de la línea de energía (%)

n= coeficiente de rugosidad

Para ello, se ubicó un tramo del cauce que presente una condición aproximada de flujo uniforme, es decir que la profundidad y el área mojada, sean relativamente constantes y la pendiente sea baja o suave. Si bien se sabe que en corrientes naturales, casi nunca se experimenta una condición estricta de flujo uniforme, usualmente se supone una condición de flujo uniforme para el cálculo de caudal en corrientes naturales, los resultados son

aproximados pero ofrecen una solución relativamente simple y satisfactoria (Chow et al., 1994). En la tabla 32 se muestra las coordenadas del punto referencial del tramo en el que se ubica la sección de control para la calibración.

Tabla 32:

Coordenadas UTM en sistema WGS 84, de punto referencial del tramo en el que se ubica la sección de control de calibración.

Norte	Este	Altitud (ms.n.m)
8680306.00 m	314619.00 m	939.724

Fuente: Elaboración Propia

En este punto se dio el inicio del levantamiento topográfico, se recopiló información de los pobladores de la zona sobre la altura o tirante aproximado que alcanzó el huaico al pasar por esa sección. Determinada la sección transversal en campo se obtuvo datos del área mojada, perímetro mojado y el radio hidráulico de la sección, al igual que la pendiente del tramo aguas arriba ($S_o = 8\%$). En el plano T- 02 se muestra el detalle en planta, el perfil longitudinal y la sección transversal del tramo en el que se ubica la sección de control para la calibración de caudales de la quebrada El Pedregal.

Por otro lado para el cálculo del coeficiente de rugosidad se usó la ecuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad (19)$$

En esta ecuación se evalúan diversos factores que afectan al coeficiente : el n_0 es un valor que considera el material involucrado, el n_1 corrige el efecto de la rugosidad superficial, el n_2 considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del cauce, el n_3 considera la presencia e influencia de las obstrucciones como cantos rodados, raíces expuestas, depósitos de basura, etc, el n_4 considera el efecto de la vegetación y el m_5 considera el efecto de los meandros (Chow et al., 1994). Para la selección de los valores correspondientes, se usó la tabla 33.

Tabla 33:

Valores seleccionados para cálculo del coeficiente de rugosidad

Condiciones del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra	n_0	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	Suave	n_1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n_2	0.000
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n_3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n_4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Grado de los efectos por meandros	Menor	m_s	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Hidráulica de canales abiertos, por Chow et al. , 1994

Haciendo uso de la ecuación precedente se determinó el valor del coeficiente de rugosidad de la siguiente manera:

$$n = (0.024 + 0.01 + 0.005 + 0.015 + 0.005) * 1$$

$$n = 0.059$$

Finalmente en la tabla 34 se muestra los valores empleados y el caudal máximo obtenido en la sección de control de calibración a partir de la ecuación de Manning.

Tabla 34:

Valores empleados y caudal máximo obtenido en la sección de control de calibración a partir de la ecuación de Manning

Área mojada (m ²)	4.01
Perímetro mojado (m)	13.02
Radio Hidráulico (m)	0.31
Pendiente de la línea de energía (m/m)	0.08
Coeficiente de rugosidad , n	0.059
Q (m³/s)	8.60

Fuente: Elaboración Propia

Para tener una mayor aproximación con los resultados de la calibración, se decidió determinar el caudal máximo en el punto referencial de la sección de control de calibración mediante el mismo procedimiento que se usó para hallar los caudales máximos en el punto de salida de la subcuenca. Para ello se tomó en cuenta que los parámetros de entrada que se introducen en el software HEC-HMS, como el área y el tiempo de concentración cambian, sin embargo no cambian los datos de lluvia neta hallada anteriormente para toda la subcuenca El Pedregal. Los detalles del cálculo del caudal máximo en el punto referencial de la sección de control de calibración haciendo uso del software HEC- HMS se muestran en el anexo 14. El resultado de caudal máximo obtenido en el punto de control de calibración mediante el software HEC –HMS es 9.95 m³/s.

Finalmente en la tabla 35 se muestra un resumen de los resultados de caudales máximos obtenidos en el punto de salida de la subcuenca El Pedregal. Estos caudales pueden ser considerados para el diseño de estructuras hidráulicas.

Tabla 35:

Resultados de caudales máximos calculados para la subcuenca de la quebrada El Pedregal en el punto de salida para periodos de retorno de 100 y 500 años

Método	Caudal máximo de la subcuenca para periodo de retorno de 100 años (m ³ /s)	Caudal máximo de la subcuenca para periodo de retorno de 500 años (m ³ /s)
HEC - HMS	10.41	18.96

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 36 se muestra un resumen de los resultados de caudales máximos obtenidos mediante el método HEC – HMS y la formula de Manning en el punto de calibración.

Tabla 36:

Resultados de caudales máximos calculados, en el punto referencial de la sección de control de calibración

Método	Caudal máximo en el punto de calibración (m ³ /s)
HEC - HMS	9.95
Fórmula de Manning	8.60

Fuente: Elaboración Propia

Con estos resultados se verifica la proximidad del caudal hallado en el punto de calibración mediante el programa HEC-HMS y mediante la fórmula de Manning.

3.1.7 Estudio de flujo de escombros extraordinarios

Para el presente estudio se detallará previamente las características de huaicos que generaron mayores desastres en la quebrada El Pedregal, es decir los más significativos y catastróficos, posteriormente se estimará los periodos de retorno y finalmente se evaluará su generación.

A) Identificación de huaicos que generaron mayores desastres

- **Huaico de 1987**

El evento ocurrió el día lunes 9 de marzo de 1987, entre las 4:00 y 7:30 p.m. Las quebradas que se activaron fueron: Quirio, El Pedregal y Corrales, donde desembocan al río Rímac con gran depósito de rocas y lodos, especialmente en los conos de deyección que estaban densamente poblados.

La quebrada El Pedregal fue una de las más afectadas por el huaico, el daño se acrecentó debido a la urbanización, ya que las viviendas ocuparon la llanura de inundación estrechando el cauce. Este evento fue considerado uno de los mayores desastres conocidos en Lima durante el siglo XX ya que afectó tanto a personas como infraestructuras. Se reportaron aproximadamente 100 fallecidos y 1000 viviendas destruidas (colapsadas o inhabitables) provocando aproximadamente 3000 damnificados (personas que quedaron sin vivienda de forma total o parcial), asimismo el mercado de abastos de San Antonio de Pedregal fue arrasado (Abad, 2009).

También se produjo el desabastecimiento de agua al ser sepultados los únicos pozos que abastecían a Chosica, el sistema de desagüe colapsó principalmente en la quebrada El Pedregal; respecto a la infraestructura vial, la Carretera Central fue afectada, generando la interrupción del tránsito de la zona de Chosica así también como a nivel metropolitano. Asimismo; la Bocatoma de la planta de tratamiento de agua potable La Atarjea, principal planta que tiene como función predominante el abastecimiento de más del 80% de habitantes de Lima Metropolitana, tuvo que ser cerrada debido a la alta carga de lodo y piedras en el río Rímac, proveniente de las quebradas tributarias, lo que generó también un corte de agua en Lima (Abad, 2009). En la figura 15 se muestra el sector del pueblo joven San Antonio de Pedregal afectado por el huaico de 1987.

Figura. 15. Zona afectada del sector San Antonio de Pedregal.

Fuente: Huaycos en 1987 en el distrito de Lurigancho-Chosica (Lima-Perú), por Abad, 2009

A continuación en las figuras 16 y 17 se muestran fotografías tomadas después del desastre por PREDES en 1987 (como es citado en Abad, 2009).

Figura. 16. Viviendas afectadas por el impacto de grandes bloques en la quebrada El Pedregal en 1987.
Fuente: Huaycos en 1987 en el distrito de Lurigancho- Chosica (Lima-Perú), por Abad, 2009

Figura. 17. Viviendas arrasadas por el flujo del huaico en la Quebrada el Pedregal en 1987.
Fuente: Huaycos en 1987 en el distrito de Lurigancho- Chosica (Lima-Perú), por Abad, 2009

- **Huaico de 1989**

El evento ocurrió el 16 de febrero de 1989, cerca de las 3:00 pm. Las quebradas que se activaron fueron las de la margen derecha e izquierda, sin embargo las que se encuentran en la margen derecha fueron las más afectadas entre ellas son: Quirio, Pedregal, Carosio, Corrales y Cashahuacra. Entre las poblaciones más afectadas por dicho evento fue el de San Antonio de Pedregal. Los huaicos de la margen derecha destruyeron algunos tramos de la carretera central y los pueblos se quedaron sin abastecimiento de agua debido a la rotura de tuberías (Carhuayal, 1992).

- **Huaico del 2012**

Luego de la ocurrencia del huaico de 1987 diversas entidades públicas y privadas ejecutaron obras de mitigación en la margen derecha, de tal modo que la quebrada El Pedregal tuvo un tratamiento geotécnico que consistió en el ensanchamiento del cauce del huaico en todo su recorrido. Además, en la parte alta de la quebrada se construyó diques disipadores de energía con la finalidad de retener los escombros que transporta. Debido a estas obras, la destrucción ocasionada por el huaico del 5 de abril del 2012 no fue tan severa para la población ubicada en la quebrada El Pedregal (Guadalupe y Carrillo, 2012). Cabe resaltar que el periodo de retorno estimado de este evento es 3 años. El detalle del cálculo se mostrará más adelante en el literal B del presente numeral.

- **Huaico del 2015**

El 23 de marzo del 2015, se presentó otro huaico que ocasiono daños en la quebrada El Pedregal causando gran temor a la población debido a las fuertes precipitaciones, puesto que las obras construidas anteriormente fueron dañadas por los huaicos anteriores y sumado la falta de mantenimiento, se produjo grandes desastres (PREDES, s.f).

En la quebrada El Pedregal desaparecieron personas, el servicio de desagüe fue afectado, el tránsito fue interrumpido en la Carretera Central en el sector de Pedregal (km 34) debido a que fue bloqueado por el material coluvial y aluvial conformado por rocas grandes y medianas del huaico. Además debido a la activación de varias quebradas a nivel de Chosica

el Rio Rímac se desbordó, perjudicando no solo a Chosica sino Lima Metropolitana y las labores escolares fueron suspendidas en todo el distrito (INDECI , 2015) .

- **Huaico del 2017**

A partir del 15 de enero del 2017 la quebrada El Pedregal fue una de las quebradas que se activó dando lugar a la ocurrencia del huaico. Los pobladores de la zona tuvieron que ponerse a buen recaudo para evitar catástrofes. Entre los daños reportados en la quebrada El Pedregal y Quirio se puede mencionar: viviendas y locales públicos inhabitables o colapsados (aproximadamente 100) provocando 500 damnificados, también los servicios de agua potable y desagüe colapsaron (INDECI, 2017). También fueron afectadas las pistas y veredas y se interrumpió el tránsito en tramos de la Carretera Central aledaños a la quebrada (Peru21, 2017).

Mediante las visitas de campo se verificó que las viviendas e infraestructuras más dañadas fueron aquellas ubicadas cerca al cauce principal de la quebrada posiblemente debido a la erosión producida y a la carga de lodo y piedras. Asimismo se observaron daños ambientales debido a que el huaico arrastró basura, escombros, desperdicios y piedras por el cauce de la quebrada contaminando la zona.

Es importante señalar que en el periodo de diciembre 2016 a mayo del 2017 se generó el evento climático extremo denominado “El Niño costero 2017” cuya ocurrencia fue atípica e imprevista y afectó a la costa norte y central del Perú, sobre todo a la quebrada El Pedregal (Comeca et al., 2019).

Cabe mencionar que antes de la ocurrencia del evento descrito, entidades públicas ejecutaron nuevas obras de mitigación en el cauce de la quebrada que contribuyeron a que el desastre no sea tan severo durante el evento. La eficacia de las obras es analizada más adelante, con mayor énfasis en el subcapítulo 3.2.

En las figuras 18, 19, 20,21 y 22 se observan algunos de los daños generados en el año 2017 por los huaicos ocurridos.

Figura. 18. Vivienda dañada por huaico en la quebrada el Pedregal en 2017.
Fuente: “Nuevos Huaicos cayeron hoy”, por 24 Horas Edición Central de Panamericana Televisión, 2017

Figura. 19. Damnificados por huaico en la quebrada el Pedregal en 2017.
Fuente: “Chosica: casas completamente destruidas tras paso de huaicos en la zona de Pedregal”, por 24 Horas Edición Central de Panamericana Televisión, 2017

Figura. 20. Contaminación ambiental en la quebrada el Pedregal después de huaico del 2017.
Fuente: Elaboración Propia

Figura. 21. Vivienda e infraestructura afectada en la quebrada el Pedregal después de huaico del 2017.
Fuente: Elaboración Propia

Figura. 22. Infraestructura colapsada después de huaico del 2017.
Fuente: Elaboración Propia

B) Estimación de periodos de retorno de los huaicos

Para la estimación de los posibles periodos de retorno de los huaicos ocurridos en los años 1987, 1989, 2012, 2015 y 2017 de manera indirecta, se realizó un análisis de frecuencia con la data existente de las precipitaciones anuales máximas analizadas anteriormente.

En la tabla 37 se muestra el análisis de frecuencia obtenido considerando que su distribución de probabilidades coincide con la de la precipitación máxima anual en 24 horas observada en la estación Santa Eulalia debido a que es considerada como la estación más cercana y representativa para la quebrada El Pedregal.

Tabla 37:

Análisis de frecuencia.

m	Años	Precipitación Máxima Anual en 24 Horas (mm) Estación Santa Eulalia	Periodo de retorno observado (años)
1	1987	36.0	57
2	2017	33.8	29
3	1970	30.8	19
4	1976	30.0	14
5	1967	29.8	11
6	1989	27.6	10
7	1966	26.0	8
8	2002	25.9	7
9	1972	20.0	6
10	1973	19.2	6
11	2015	17.2	5
12	2003	16.8	5
13	1965	15.3	4
14	1999	14.7	4
15	1971	14.5	4
16	1975	14.5	4
17	1994	13.5	3
18	2012	12.5	3
19	2009	11.2	3
20	1969	10.6	3
21	1983	10.5	3
22	1984	10.5	3
23	1979	10.0	2
24	1980	10.0	2
25	1981	10.0	2
26	2018	9.8	2
27	1988	9.7	2
28	2013	8.5	2

29	1977	8.0	2
30	2001	8.0	2
31	2006	7.8	2
32	1978	6.8	2
33	1990	6.5	2
34	2000	6.4	2
35	1982	6.3	2
36	1974	6.0	2
37	1998	6.0	2
38	2019	5.8	2
39	2011	5.5	1
40	2016	5.5	1
41	1964	5.4	1
42	2008	5.3	1
43	1997	4.9	1
44	1996	4.5	1
45	2010	4.5	1
46	2007	4.1	1
47	1995	3.8	1
48	2014	3.5	1
49	1968	3.0	1
50	1991	3.0	1
51	2004	2.5	1
52	1986	2.0	1
53	1993	2.0	1
54	2005	1.5	1
55	1992	0.5	1
56	1985	0.4	1

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta la información recolectada sobre el año en que se generaron huaicos con mayores desastres en la zona de estudio, a partir de la tabla precedente, se seleccionó los datos de precipitación máxima anual en 24 hrs y los valores estimados de periodos de retorno respectivo para cada evento ocurrido en la quebrada como se ve en la tabla 38.

Tabla 38:

Estimación de periodo de Retorno Observado de eventos de huaicos en la quebrada El Pedregal

Evento de Huaico (Años)	Precipitación anual máxima en 24 h (mm) Estación Santa Eulalia	Periodo de retorno observado estimado (Años)
1987	36.0	57
2017	33.8	29
1989	27.6	10
2015	17.2	5
2012	12.5	3

Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados demuestran que es probable que a mayor precipitación el evento sea de mayor magnitud, más desastroso y de mayor periodo de retorno. No obstante, mediante el presente estudio se da a entender que los huaicos son eventos impredecibles y tienen periodos de retorno muy variados.

Por otro lado, considerando los rangos de precipitación establecidos por Senamhi para la zona de Chosica en la tabla 1, los valores de precipitación máxima anual en 24 h de cada evento de huaico, demuestran que se produjeron lluvias extraordinarias (huaicos de 1987, 2017 y 1989), lluvias muy fuertes (huaico de 2015) y lluvias fuertes (huaico de 2012) verificándose la influencia de las precipitaciones o lluvias en la generación de los huaicos.

Por otro lado, es importante resaltar algunos aspectos sobre las precipitaciones ocurridas en el año 2017. Senamhi (2017) indicó que en los primeros diez días del mes de enero se presentaron lluvias constantes en la sierra de Lima, incluyendo a Chosica. Es probable que los suelos de la quebrada El Pedregal fueron saturándose progresivamente debido a las lluvias constantes de días anteriores, y que al producirse lluvias extraordinarias se generó la activación de la quebrada.

C) Evaluación de la generación de huaicos

El tipo de huaico que se presenta en la quebrada El Pedregal es mixto/ granular, constituido por una mezcla caótica de lodo, gravas, bloques de rocas de diversos tamaños y otros representando el agua un 33% y el material sólido un 67% de esta mezcla (ANA y TDM PERÚ, 2016).

Luego del estudio realizado en todos los numerales precedentes, se verifica que los diversos factores climatológicos (Fenómeno El Niño, fuertes y/o constantes lluvias), factores topográficos (pendientes fuertes de la subcuenca y del cauce principal), factores geológicos (material suelto resultantes de procesos de meteorización y desintegración del tipo de roca existente, que fluyen y son arrastrados por las lluvias) y otras características de drenaje y forma de la quebrada representan condiciones naturales desfavorables que generan escenarios para la ocurrencia de los huaicos.

Durante los inicios de periodos de lluvias, comienzan los procesos de escorrentía superficial por las laderas principalmente en la cuenca de recepción o zona alta. A medida que las lluvias

son contantes y/o se incrementan a fuertes o extraordinarias lluvias, se genera la saturación de los suelos de las laderas y las aguas de las escorrentías remueven el material suelto (desde arenas limosas hasta bloques de diversos tamaños) arrastrándolos hacia las corrientes tributarias. Sumado a ello, debido a la influencia de las pendientes fuertes de las laderas, aumenta la velocidad y volumen de los flujos caóticos que descienden por las corrientes tributarias y que confluyen en el cauce principal de la quebrada El Pedregal (Guadalupe y Carrillo, 2016).

A la vez se genera la saturación de los suelos del cauce principal y se desarrollan procesos de erosión lateral que consiste en derrumbes locales de las paredes laterales, incrementando el transporte abrupto y caótico del material de huaico talud abajo hacia la zona urbana. En la zona urbana, el huaico o flujo de escombros continúa erosionando las paredes laterales al no poder discurrir libremente por su cauce antiguo o natural debido a la obstrucción de las viviendas asentadas en su curso o cerca al cauce. A la vez se genera erosión frontal que se da cuando el huaico por la velocidad, cantidad y tamaño de las rocas impacta con las edificaciones destruyéndolas total o parcialmente produciendo desastres (Guadalupe y Carrillo, 2016).

3.1.8 Población

La quebrada El Pedregal es asiento de gran cantidad de pobladores, cuenta con más de 12000 habitantes aproximadamente (PREDES, 2017). Los centros poblados destacados son el pueblo Joven “San Antonio de Pedregal Alto” y la asociación de propietarios “San Miguel de Pedregal” ubicado al pie de la quebrada.

A) Características del Crecimiento Urbano

En sus inicios, el Asentamiento Humano de San Antonio de Pedregal Alto, fue fundado el 21 de Enero del 1960; un grupo de ciudadanos de Chosica se agruparon e invadieron la zona durante 11 años, hasta que en el Gobierno Militar de Juan Velasco Alvarado fue unificado, como un pueblo Joven, reconocido el 7 de Abril de 1971 con Resolución Suprema N° 107 – VI – 71 (MINSA, 2003). A partir de ese año, no se reportaron eventos de huaicos significativos y aun no se habían realizado estudios de la geodinámica de la quebrada, por lo que ante la falta de información sobre el riesgo de la zona se generó la ocupación masiva del territorio para establecer viviendas obstruyendo el cauce natural (Abad, 2009). Es

importante resaltar que los procesos de migración, han influenciado en la ocupación del territorio, ya que por falta de oportunidades en provincias las personas buscan establecerse en zonas cercanas a la capital Lima u otras ciudades con la expectativa de alcanzar mejores oportunidades (PREDES, 2000). Actualmente la ocupación del territorio continúa incrementándose de manera formal, informal y desordenada sin ningún criterio de planificación. Asimismo los pobladores han manifestado que la entidad pública otorgó títulos de propiedad para muchas viviendas ubicadas en zonas vulnerables (Comeca et al., 2019).

En las visitas de campo se ha verificado que existen viviendas establecidas en el cono de deyección pero principalmente muy cerca al cauce de la quebrada El Pedregal. Comparando imágenes satelitales del año 2003 y 2019, en la zona baja y media de la subcuenca de la quebrada El Pedregal, se refleja que la población continua obstruyendo y modificando parte del cauce principal (figuras 23 y 24). Este es un factor antrópico que constituye una de las causas principales que, a través de los años, está influenciando en el incremento de la vulnerabilidad y el riesgo de la zona de estudio.

Figura. 23. Imagen satelital de la quebrada El Pedregal en el año 2003.
Fuente: Google Earth

Figura. 24. Imagen satelital de la quebrada El Pedregal en el año 2019.
Fuente: Google Earth

B) Actividades Económicas

De acuerdo a las visitas de campo se ha verificado que la población ha establecido sus viviendas en la quebrada El Pedregal debido a la necesidad de vivir lo más cerca posible a sus centros de trabajo que en su mayoría se encuentran en Lima Metropolitana o en Chosica Central. Por otro lado, entre algunas actividades económicas complementarias que se desarrollan en la quebrada se puede mencionar al mantenimiento y reparación de vehículos automáticos, choferes de moto taxis, suministro de gas, comedores populares, comerciantes, obreros de construcción civil y empleados de hogar.

No obstante, la quebrada El Pedregal, específicamente San Antonio de Pedregal, se encuentra en un rango de pobreza entre el 30% y 38% representando uno de los sectores con mayor pobreza del distrito de Lurigancho Chosica (Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica, 2018).

Por lo tanto, es importante mencionar que la ocupación de la quebrada también está relacionada con la falta de medios económicos de los pobladores para ubicarse en zonas seguras por lo que se establecen de manera precaria en zonas de mayor riesgo como aquellas cercanas al cauce natural.

C) Usos de Suelo

El plano de zonificación de usos del suelo en el área de estudio fue aprobado por Ordenanza N° 1099-MML publicado el año 2007. En la figura 25 se muestra el Mapa de la zonificación vigente de la zona urbana de la quebrada El Pedregal (adaptado del Plano de Zonificación de Lima Metropolitana, Lurigancho Chaclacayo y Ate).

Figura. 25. Mapa de la zonificación vigente de la zona urbana de la quebrada El Pedregal
Fuente: “Plano de Zonificación de Lima Metropolitana, Lurigancho Chaclacayo y Ate, por Ordenanza N° 1099-MML, 2007

Se considera en su mayoría como residencial de densidad media (RDM), sin embargo se especifica que “se debe considera una zona de protección en los cauces de huaicos, donde no se permitirá ninguna edificación” (Ordenanza N° 1099-MML, 2007).

Mediante visitas de campo se ha podido verificar que actualmente la zona urbana de la quebrada El Pedregal continua predominando el uso residencial. Con menor incidencia se observó el uso comercial y equipamiento humano compuesto por Salud (C.S San Antonio El Pedregal) y por Educación (“I. E. Andrés Avelino Cáceres” e “I.E.I San Antonio Chosica”).

D) Características de las viviendas

El material preponderante en las construcciones de las viviendas de la zona urbana de la quebrada El Pedregal es el ladrillo confinado y no confinado. En la figura 26 se observa construcciones de ladrillo confinado en la quebrada El Pedregal.

Figura. 26. Construcciones de ladrillo confinado en la de la quebrada El Pedregal (zona media)

Fuente: Elaboración Propia

Mientras que el adobe, madera y materiales precarios corresponden a los sectores de menos recursos ubicados en zonas de mayor riesgo (INDECI, 2005). En la figura 27 se observa construcciones precarias cerca al cauce principal de la quebrada El Pedregal.

Figura. 27. Construcciones precarias en zonas de riesgo cerca al cauce de la quebrada El Pedregal.

Fuente: Google Earth. 2019

Asimismo, las construcciones de San Antonio El Pedregal y San Miguel de Pedregal, se encuentran en regular estado, característica que las hace poco seguras ante la ocurrencia de un evento de huaico (INDECI, 2005).

E) Servicios Básicos

El sistema de agua de la quebrada tiene como fuente de abastecimiento principal el canal de agua de la Hidroeléctrica de Moyopampa. Respecto al sistema de alcantarillado, la zona urbana utiliza colectores de alcantarillado, que vierten las aguas residuales directamente al río Rímac (INDECI, 2005). Es importante señalar que durante la ocurrencia de huaicos, las tuberías de agua y desagüe son afectados por el impacto de las rocas y piedras, generando como consecuencias el corte de los servicios básicos y daños a la salud de los pobladores.

Asimismo la zona urbana de estudio cuenta con el servicio de energía eléctrica proveniente de la Hidroeléctrica de Moyopampa. (INDECI, 2005)

Respecto a las organizaciones sociales existen juntas directivas del pueblo Joven “San Antonio de Pedregal” y la asociación de propietarios de viviendas “San Miguel de Pedregal” que junto a los pobladores, se agrupan luego de la ocurrencia de huaicos y se encargan de las faenas con recursos propios para la mitigación de desastres en la quebrada.

F) Accesibilidad y Red Vial

La quebrada El Pedregal es atravesada por la Carretera Central a la altura del km 34. Se accede directamente desde Chosica por la calle Trujillo Sur y la Av. Túpac Amaru que se encuentra a lo largo de la quebrada (INGEMMET, 2015). Es importante resaltar que la Carretera Central, es una vía regional que comunica Lima con las ciudades de la Sierra y Selva central, y ante la ocurrencia de huaicos, esta vía resulta perjudicada generando el congestionamiento vehicular así como la interrupción del tránsito en la minería, productos agrícolas predecibles y horas- hombre.

3.2 Análisis de la Eficacia de las medidas existentes

Este análisis tiene la finalidad de evaluar la eficacia de las actividades de mitigación de riesgo de huaicos realizadas, así como la situación actual en la que se encuentra la quebrada El Pedregal.

Para ello, se inició con la búsqueda de estudios previos, se inspeccionó a través de estudios de campo y datos de las oficinas del gobierno local de la quebrada El Pedregal.

Se tiene como planteamiento inicial de medidas de mitigación en la cuenca del río Rímac el “Informe final para el estudio de Plan Maestro sobre el proyecto de prevención de desastres en la cuenca del Río Rímac” propuesto por la Agencia de Cooperación internacional de Japón – JICA en el año 1988. Este Plan Maestro engloba medidas estructurales y no estructurales y es considerado una guía básica para la investigación.

En el plan estructural el JICA evalúa la susceptibilidad de daño y peligros ocasionados por el desastre natural, se divide en:

- **Grupo A:** Tiene alto grado de peligro, por ende elevada probabilidad de evento de desastre natural y gran susceptibilidad a daños.
- **Grupo B:** Grado relativamente bajo al peligro y moderada susceptibilidad a daños.
- **Grupo C:** La susceptibilidad de daños es mínima, por lo que no se considera medidas estructurales contra desastres naturales.

El nivel de peligro al que está expuesta la quebrada El Pedregal se ubica en el Grupo A, debido al alto nivel de probabilidad de ocurrencia de huaicos. En este estudio se sostiene que se debe formular e implementar el Plan Maestro lo más pronto posible, verificando un análisis económico para lograr la prevención de desastres y control de disturbios sociales.

Según la clasificación desarrollada, el estudio planteó represas SABO; estructuras enormes que abarcan 10 metros de altura y 50 metros de ancho aproximadamente; para tener una mejor seguridad para el manejo de huaicos. Estos planes estructurales se trabajaron con un flujo mixto de mayor magnitud, con la finalidad que a largo plazo sea igual a la cantidad de daños.

Con respecto al plan no estructural, las cuales se refieren a cualquier medida que no contenga una construcción física, se ha recopilado información importante de El Plan Maestro elaborado por JICA entre ellas son:

- Sistemas de advertencias y evacuación
- Sistema de alerta temprana
- Clasificación de planes estructurales propuestos
- Adecuada educación de ingenieros que se encarguen de los diseños de planes estructurales.

A pesar de que el Plan Maestro proporcionó este conjunto de herramientas o medidas estructurales y no estructurales, estas no fueron adaptadas en su totalidad a ninguna quebrada, a excepción del sistema de alerta temprana piloto instalada en la quebrada El Pedregal que será analizado en el numeral posterior 3.2.2.

3.2.1 Análisis de las medidas estructurales existentes

Se evaluaron aquellas medidas ingenieriles centradas en la ejecución de obras de mitigación ante la ocurrencia de huaicos que impactaron en asentamientos humanos ocasionando daños como destrucción de viviendas y servicios vitales.

A) Instalación de muros de contención en San Antonio de Pedregal Alto-Chosica, distrito de Lurigancho

El asentamiento humano San Antonio de Pedregal Alto se encuentra ubicado en la quebrada El Pedregal. Al ser considerada una zona en emergencia debido al deslizamiento de sedimentos por ocurrencia de huaicos, la Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica construyó en diversos tramos muros de contención de mampostería de piedra ubicados en las paredes laterales del cauce principal de la quebrada. El presupuesto de inversión de los muros construidos en el cauce se detalla en el anexo 20. En la figura 28 se observa las dimensiones de uno de los tramos de muro de contención construido por la Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica.

Figura. 28. Muro de contención de mampostería de piedra proyectado en la quebrada.

Fuente: “Instalación de muro de contención en la Mz17 y MZ 22 del Jr. Julio C.Tello en AA.HH. San Antonio de Pedregal Alto-Chosica, distrito de Lurigancho” por Municipalidad distrital de Lurigancho, Chosica ,2015

El objetivo principal de los muros de contención es brindar estabilidad al terreno que se encuentra con una pendiente empinada y propensa a huaicos, así de esta manera mejorar y fortalecer la seguridad de la población residente (Municipalidad distrital de Lurigancho, Chosica ,2015).

En las visitas de campo realizadas post evento se ha verificado que tramos de muros de contención han sido destruidos por el huaico del 2017 debido a la socavación de las bases o su cimentación. Por otro lado, se pudo observar que los materiales utilizados para la construcción del muro no tuvieron óptimas condiciones lo que generó que el concreto no alcance la resistencia adecuada para contrarrestar las fuerzas del huaico. Asimismo, se verificó la falta de cimientos de los muros colapsados, omitiéndose los talones de los muros, demostrando la falta de cumplimiento de especificaciones técnicas en su ejecución. En la figura 29 se muestra un tramo del muro de contención colapsado.

Figura. 29. Muro de contención de mampostería de piedra en la quebrada El Pedregal destruido y socavado.
Fuente: Fotografía del cauce post evento, por Rocío Méndez - pobladora de la quebrada El Pedregal, 2017

Se pudo verificar que en esta medida implementada no se cumplió con el procedimiento correcto que manda el expediente técnico, por lo que se determinó que estos tramos de muros no se encontraban aptos para resistir y dar seguridad a la población sobre todo en las épocas de fuertes precipitaciones y ante un futuro huaico.

Posterior a ello, según el Ministerio de Economía y Finanzas (2020) se registró como proyectos de Inversión Pública en el año 2019, la reconstrucción de los tramos de muros de contención del cauce de la quebrada El Pedregal, cuyo detalle de monto de inversión se presenta en el anexo 20. Por lo que actualmente se encuentran aptos para cumplir su función

y se espera que durante la reconstrucción se haya cumplido con el procedimiento correcto que manda el expediente técnico para resistir y dar seguridad a la población con mayor eficiencia.

B) Construcción de diques en la quebrada El Pedregal

A partir del año 2000, la ONG Predes, junto al apoyo del financiamiento de Oxfam-GB y Diakonía-Suecia y la Municipalidad Distrital de Lurigancho-Chosica construyeron diques disipadores de energía en la quebrada El Pedregal (Abad, 2009). En la figura 30 se observa los 15 diques que se ubicaron en la quebrada con las coordenadas obtenidas en campo.

Figura. 30. Mapa de Ubicación de los 15 diques de la quebrada El Pedregal
Fuente: Elaboración Propia

Los diques fueron contruidos de mampostería de piedra, alcanzaban alturas de 4 metros aproximadamente, tenían diversas longitudes y espesores según las características geométricas de la zona.

Como ya se describió en el numeral 3.1.7, en el huaico del 2012, estos diques cumplieron con su labor disipadora, sin embargo, fueron dañados y al no ser descolmatados ni recibir mantenimiento, en el huaico 2015 continuaron los daños en la quebrada. A partir del huaico del 2017 el estado de gran parte de los diques fue afectado.

En la figura 31 y 32 se muestra el dique N° 15 dañado y colmatado y el dique N° 12 colapsado respectivamente. Para mayor detalle, en el anexo 15 se observan fotografías tomadas en campo que demuestran que luego del 2017 la mayoría de diques fueron dañados, fallaron y/o colapsaron.

Figura. 31. Dique N°15 colmatado y dañado en la quebrada El Pedregal
Fuente: Elaboración Propia

Figura. 32. Dique N°12 colapsado en la quebrada El Pedregal
Fuente: Elaboración Propia

Para el año 2019, luego de unos 19 años aproximados de servicio se verificó que todos los diques fallaron en su totalidad debido a que:

- Las bases de los cimientos fueron socavados por el flujo del huaico. El flujo que escurrió por encima del dique socavó las bases generando espacios vacíos que originaron asentamientos y con ello la falla de la estructura.
- Las inadecuadas condiciones de construcción ya que, se utilizaron agregados (arena y piedra) del lugar que presentaban impurezas y suciedad llegando a obtener concreto de baja resistencia, lo cual generó mala adherencia entre el concreto y la piedra grande utilizada para la mampostería de concreto. Se puede entender esta situación dado que el lugar es inaccesible y el transporte y traslado de materiales fue complicado y costoso.
- La falta de accesos a las zonas de los diques generó que el traslado de agua, cemento, materiales y equipos sea de forma manual, es por ello que con la poca cantidad de agua no se pudo cumplir con un adecuado curado del concreto, generando como consecuencia una baja resistencia del concreto.

- Una parte de las piedras grandes utilizadas para la mampostería de diques fueron cantos rodados encontrados en las quebradas y al ser esta una superficie lisa, se verifica que no se generó adherencia entre el concreto y las piedras lo cual causó el desprendimiento de material y fallas.

Por lo tanto, se puede determinar que la mala calidad de construcción por las restricciones descritas y la falta de cumplimiento de especificaciones técnicas del proceso de construcción son los factores que han disminuido su periodo de servicio.

C) Limpieza de cauce: descolmatación para la quebrada El Pedregal ante el peligro eminente en el periodo 2015-2016, durante la posible ocurrencia del Fenómeno del Niño

La descolmatación o limpieza del cauce mediante el alquiler de maquinarias realizado por Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica cumplió un rol muy importante ya que disminuyó el riesgo de desastre a la población. Como se sabe el tipo de huaico es mixto y se presenta de manera recurrente en la quebrada, depositando grande bolones de piedras por lo que se debe realizar una limpieza con maquinaria. La descolmatación se ha realizado en el año de 2015-2016 en zonas donde el huaico dejó grandes rocas, el monto total por esta actividad fue de S/. 397,862 y se descolmató 11405.72 m³ de material que han sido trasladados aun botadero asignado.

El huaico del 2017 ha traído consigo grandes bolones y bloques de rocas y estas no han sido descolmatadas en su totalidad. Es importante considerar que esta medida debe ser realizada inmediatamente después de la ocurrencia de es este tipo de eventos para restablecer el orden del cauce y de esta manera alcanzar mayor eficacia.

En la figura 33 se muestra el proceso de limpieza del cauce en el año 2015.

Figura. 33. Descolmatación en cauce de la quebrada El Pedregal

Fuente: “Descolmatación de quebradas en el distrito de Lurigancho – Chosica. Informe Final. Lima, Perú” por Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica, 2016

D) Instalación de barreras dinámicas en la quebrada El Pedregal

La barrera dinámica es un sistema flexible conformado por redes de anillos circulares de alta resistencia, sujeta a las paredes del cauce mediante postes y anclajes de cables de acero que pueden llegar a alcanzar una profundidad de 9 metros (Ver figura 34). Este sistema tiene la capacidad de retener volúmenes de material sedimentado así como soportar cargas dinámicas y estáticas provenientes del impacto generado por los huaicos de lodo, granulares o mixtos.

Las fuerzas de impacto son absorbidas y transmitidas a los anclajes perimetrales del cauce los cuales aseguran la transmisión de las tensiones al terreno (ANA y TDM PERÚ, 2016). Existen dos tipos de barreras, dependiendo de la morfología del canal de descarga y de los requisitos del proyecto VX y UX. En ambos casos se facilita normalmente el paso del agua por la base sin impedimentos.

Las barreras VX son para canales estrechos con forma de V, este tipo de instalación es para un ancho de hasta 15 metros y una altura de 4 a 6 metros. Las barreras UX son utilizadas para canales anchos y se fijan mediante dos apoyos que pueden llegar hasta 9 metros bajo

tierra, este tipo de diseño puede llegar hasta 25 metros de ancho en el canal, 30 metros de ancho superior y hasta 6 metros de altura (ANA y TDM PERÚ, 2016).

Este tipo de construcciones han sido utilizados en los Alpes Suizos y en los Pirineos en España como medida preventiva ante este tipo de eventos. Asimismo, han sido reconocidas y probadas 1:1 en ensayos en campo por el WSL (Instituto Federal Suizo de Investigación para el Medio Ambiente y Riesgos Naturales). Básicamente estas estructuras se colocan en todo el ancho del cauce de la quebrada. (ANA y TDM PERÚ, 2016).

Figura. 34. Componentes de Barrera Dinámica típica

Fuente: “Instalarán barreras dinámicas en 11 quebradas de Chosica”, por Perú Construye, 2017

A finales del año 2015, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) realizó la instalación de 4 barreras dinámicas en la quebrada El Pedregal con el objetivo de retener el material de arrastre sólido (bolones, bloques de gran tamaño, etc.) ante fuertes precipitaciones y así minimizar las pérdidas humanas al brindar mayor tiempo a la población para tomar las medidas de evacuación necesarias a lugares seguros.

Estas barreras fueron ubicadas según las características geológicas y geométricas de la quebrada. En la figura 35 se muestra la ubicación de las barreras dinámicas en la quebrada El Pedregal (ANA y TDM PERÚ, 2016).

Figura. 35. Ubicación de las barreras dinámicas instaladas en la quebrada El Pedregal
Fuente: Google Earth, 2020

En las visitas de campo realizadas el año 2017 meses después del huaico ocurrido, se verificaron las coordenadas de cada barrera empleando un GPS. En la siguiente tabla 39 se muestra las coordenadas UTM de las barreras corroboradas en campo.

Tabla 39:

Coordenadas UTM de las Barreras Dinámicas instaladas en la quebrada El Pedregal

Barrera N°	Este (m)	Norte (m)
1	314473	8682285
2	314338	8682336
3	314372	8682168
4	314468	8681679

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente tabla 40 se observa las características de las barreras instaladas

Tabla 40:

Características de las Barreras Geodinámicas de la Quebrada El Pedregal.

Barrera N°	Tipos de Barrera	Dimensiones proyectadas	Altura (m)
1	VX 140 H4	B1 = 8m, B2=12m, h=4m , sin postes	4
2	UX 120 H6	B1 = 10m, B2=18m ,h=6m , 2 postes	6
3	UX 180 H6	B1 = 20m, B2=28m, h=6m , 2 postes	6
4	UX 180 H6	B1 = 15m, B2=25m ,h=6m , 2 postes	6

Fuente: Expediente Técnico. Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contra flujo de escombros – Quebrada San Antonio de Pedregal El comercio, por ANAY TDM PERU, 2017

En el anexo 16 se muestra una galería de fotografías tomadas en campo de las 4 barreras dinámicas después del huaico del 2017. Se analizó las siguientes ventajas que tienen este tipo de estructuras:

- Las barreras alcanzan alturas mayores a 4 metros a diferencia de los diques de mampostería descritos en el literal B. De igual manera, tienen un ancho inferior que alcanza entre 8 y 20 metros y un ancho superior que alcanza entre 12 y 28 metros.
- Unas de sus características principales es que es una estructura flexible y dinámica.
- La barrera N° 02 y N° 03 se encontraban semicolmatadas logrando formar terrazas de material sedimentado de longitudes aproximadas de 50 metros, producto del huaico aguas arriba de la barrera generando tramos de terrazas llanas que disipan la energía eficientemente.

En la figura 36 se puede apreciar parte de la terraza sedimentada aguas arriba de la barrera N°2, con presencia de bloques de rocas de diámetros hasta de 2.5 metros, arena y escombros retenidos en la estructura.

Figura. 36. Muestra de la terraza sedimentada aguas arriba de la barrera N° 02.
Fuente: Elaboración Propia

- Las barreras N° 01 y N° 04 están en funcionamiento y no almacenaron material.

Por otro lado, se tuvo también las siguientes observaciones respecto a las barreras:

- Se verificó que en la barrera N°02 se generó el desprendimiento de material de los dados de concreto, como se puede observar en la figura 37, el acero se encuentra en proceso de corrosión. Es importante el mantenimiento mediante el vaciado del concreto de las zapatas para evitar mayor deterioro.

Figura. 37. Desprendimiento de concreto y proceso de corrosión de los dados de concreto de barreras dinámicas N°02
Fuente: Elaboración Propia

- Se verificó que la malla de alambre de acero de la parte inferior de la barrera dinámica N° 04 fue arrastrada por el impacto del huaico. En la figura 38 se observa la malla desprendida, debilitada y arrastrada. Es importante el refuerzo de las mallas ya que cumplen la función de retención del material en la parte inferior de la barrera.

Figura. 38. Desprendimiento de malla de la barrera dinámica N°04

Fuente: Elaboración Propia

No obstante, la tecnología de barreras dinámicas se adecuó a las características de la quebrada El Pedregal y su trabajo ha sido adecuado durante el huaico del 2017. En el siguiente literal se continúa analizando la eficacia de estas estructuras.

E) Descolmatación y mantenimiento de las barreras dinámicas de la quebrada El Pedregal

Inicialmente, en el año 2018 para poder efectuar el mantenimiento y control de las condiciones de las barreras dinámicas post periodo de lluvias, la ANA a través del proceso de Modernización de la Gestión de Recursos Hídricos construyeron un camino de acceso, con la finalidad de permitir el paso de maquinaria y materiales como se aprecia en la figura 39. El camino cuenta con un ancho de 4 metros y rampas con pendientes de máximo 30% (ANA, 2017b).

Presentando las barreras dinámicas una localización con acceso dificultoso para el traslado de materiales, maquinaria y mano de obra, la construcción de este camino fue eficiente ya

que permite la debida descolmatación y/o mantenimiento que requieren las barreras dinámicas luego de la ocurrencia de un huaico.

Figura. 39. Camino de acceso en la quebrada El Pedregal.

Fuente: Documento Técnico de descolmatación y trabajos de rehabilitación y Mantenimiento de las barreras dinámicas contra flujo de escombros, instaladas en la quebrada El Pedregal por ANA, 2017b

Posteriormente se descolmató las dos barreras dinámicas N° 02 y N° 03 mediante la excavación masiva y eliminación de material hacia botaderos. Se descolmató desde la zona de las barreras dinámicas hacia la quebrada aguas arriba. El material excavado ha sido maleza y conglomerados, compuesto por arena, limos y piedras. Una vez descolmatado el material, se procedió al templado de cables, se restableció las condiciones iniciales de las mallas de las barreras y se realizó el vaciado con concreto $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ de zapatas. Asimismo para resguardar las barreras dinámicas de los efectos de erosión, se implementó muros de concreto ciclópeo $f'c: 210 \text{ Kg/cm}^2+30\% \text{ PM}$ en las márgenes como sistema de protección (ANA, 2017b).

Es así como en el año 2019, se realizó una nueva visita de campo para analizar el estado actual de las barreras y verificar las reparaciones realizadas. Esta vez, se pudo apreciar la gran flexibilidad que tienen las barreras, ya que se corroboró que las barreras N° 02 y N° 03 regresaron a su estado inicial al ser descolmatadas. En la figura 40 se puede apreciar cómo

estaba colmatada la barrera N°03 para el año 2017 y en la figura 41 se aprecia cómo se encuentra la barrera descolmatada actualmente. En el anexo 17 se observan las barreras dinámicas N° 02, 03 y 04 luego de su mantenimiento y /o descolmatación.

Figura. 40. Barrera dinámica N° 03 colmatada, 2017
Fuente: Elaboración Propia

Figura. 41. Barrera dinámica N° 03 descolmatada, 2019
Fuente: Elaboración Propia

Se determinó que las barreras dinámicas, para el control de huaicos en la quebrada ha sido una de las mejores construcciones ya que cumplieron su función de retención del flujo de escombros, (sobre todo bloques de roca y bolones de diversos tamaños) y disipar parte de la energía erosiva del huaico evitando efectos catastróficos (como el huaico de 1987).

Hasta el presente año las 4 barreras dinámicas se encuentran aptas y en buen estado para seguir prestando servicio en la quebrada. Sin embargo, como se estudió en el numeral 3.1.7, los daños que aún se presentaron en el huaico del 2017 evidencian un posible déficit de obras de mitigación en la quebrada para futuros huaicos.

F) Construcción de un nuevo dique en la zona media de la quebrada El Pedregal

En el año 2018 la Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica ejecutó un dique con dimensiones distintas a los diques mencionados anteriormente. Tiene una longitud de 30 metros, altura de 6 metros y cimiento de 3 metros aproximadamente como se observa en la figura 42.

Figura. 42. Dique en la quebrada El Pedregal
Fuente: Elaboración Propia

Este dique está ubicado en la parte media del cauce de la quebrada el Pedregal, cerca de la población. Según el alcalde de Chosica, la razón por la cual se eligió la ubicación del dique es para facilitar el acceso de materiales de construcción y para su futura descolmatación. En la tabla 41 se muestra las coordenadas de ubicación tomadas en campo y verificadas en el programa Google Earth como se ve en la figura 43.

Tabla 41:
Coordenadas del dique halladas en campo

Elemento	Este (m)	Norte (m)
Dique de 9m de altura	314755.86	8681069.37

Fuente: Elaboración Propia

Figura. 43. Ubicación de dique en la quebrada El Pedregal.
Fuente: Google Earth, 2019

Los materiales que se utilizaron para la construcción del dique de concreto ciclópeo fueron piedras extraídas de la misma quebrada, concreto premezclado $f'c$: 175 kg/cm² con tuberías PVC de 6" para el sistema de drenaje (Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica, 2017 a)

Su finalidad de la obra es contribuir a disipar parte de la energía y almacenar material de futuros huaicos para dar mayor seguridad a la población, ya que los antiguos diques, como ya se explicó, ya no se encuentran en funcionamiento debido a que fallaron.

3.2.2 Análisis de las medidas no estructurales existentes

Se evaluaron aquellas medidas no físicas implementadas en la quebrada El Pedregal, basadas en políticas, sistemas de evacuación o alerta, el desarrollo de mecanismos de participación de entidades y la población con el fin disminuir los impactos procedentes de los huaicos.

A) Delimitación de la Faja Marginal

El término faja marginal comprende una zona de transición entre el medio acuático y terrestre que corresponde a un área superior al cauce de la fuente de agua ya sea natural o artificial en su máxima creciente. Posee una gran diversidad de procesos ambientales cuyas funciones principales es mantener la integridad hidráulica e hidrológica del cauce, el suelo y la vegetación reduciendo la erosión y manteniendo la calidad del agua, permite la interrupción y retención de sedimentos que son trasladados por la acción del agua (ANA, 2010).

El área que corresponde a la faja marginal representará aquella superficie encerrada entre el lindero del nivel de máximas ordinarias (NAMO) y el nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME), sin considerar los niveles de la máxima crecientes por causas de eventos extraordinarios como se ve en la figura 44.

Figura. 44. Vista en planta y frontal del área de la faja marginal
Fuente: Regulación de las Fajas Marginales, por ANA, 1970

Según la ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos y la “Ordenanza que prohíbe la construcción de viviendas, habilitaciones urbanas y similares en las fajas marginales del río Rímac, quebradas y riberas ubicadas en el distrito de Lurigancho”, el área de una faja marginal es establecido según las dimensiones del cauce de la quebrada y tiene un ancho variable, según la necesidad y uso al que estará destinado. La faja marginal puede estar destinado solo para actividades de protección y conservación de recursos hídricos, caminos de acceso para obras hidráulicas (presas, reservorios, embalses, obras de drenaje, canales de riego, y otros), camino de libre acceso o vigilancia o entre otros servicios (Ordenanza N° 254- MDL, 2017).

El “Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales” menciona que para determinar la faja marginal, inicialmente se determina el límite superior de la ribera mediante huella máxima o modelamiento hidráulico. La huella máxima es la marca dejada por el agua durante el periodo de máxima creciente ordinaria. Según el Artículo 10 del “Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales”, para determinar la huella máxima se utiliza información de Google Earth de alta resolución que permite la configuración del cauce, ribera e información base. Luego se segmenta el cauce natural en tramos por secciones correlativas y se define para cada una de ellas el eje longitudinal, finalmente se identifica la huella máxima en cada sección y en ambos márgenes (ANA, 2016b).

Para el modelamiento hidráulico se utiliza la información topográfica y caudales máximos instantáneos. Para establecer los caudales máximos instantáneos se utiliza un periodo de retorno de 50 años en cauces naturales de terrenos agrícolas, mientras que se utiliza un periodo de retorno de 100 años para cauces naturales cercanos a asentamientos poblacionales. Las metodologías deben ser complementadas con trabajos en campo, con personal calificado y equipos de alta precisión. En la determinación de la ribera no se considerarán las máximas crecidas registradas por eventos extraordinarios (ANA, 2016 b).

Una vez determinada el límite superior de la ribera, se debe tomar en cuenta los criterios generales para determinar el ancho mínimo de la faja marginal según lo señalado en la siguiente tabla 42.

Tabla 42:
Ancho mínimo de faja marginal en cuerpos de agua

Tipo de fuente	Ancho mínimo (m) ⁽¹⁾
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) encañonados de material rocoso	3
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) encañonados de material conglomerado	4
Tramos de ríos con baja pendiente media (1-2%)	5
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y presencia de defensas vivas	6
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y riberas desprotegidas	10

Tramos de ríos con estructuras de defensa ribereñas (gaviones , diques , enrocados , muros , etc. .) medidos a partir del pie de talud externo	4
Tramos de ríos de selva con baja pendiente (menores a 1%)	25
Lagos y Lagunas	10
Reservorios o embalses (Cota de vertedero de demasías)	10
(1) Medidos a partir del límite superior de la ribera	

Fuente: Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, por ANA, 2016.

Con el fin de mantener la integridad hidráulica e hidrológica del cauce, así como disminuir la erosión por efectos de los huaicos y así incrementar la seguridad de los pobladores de la quebrada El Pedregal, el 17 de diciembre del 2015, mediante la Resolución Directoral N° 2070-2015-ANA-CAÑETE-FORTALEZA, la Autoridad Nacional del Agua aprobó la delimitación de la faja marginal en la quebrada El Pedregal que fue establecida por la Autoridad Administrativa del Agua Cañete Fortaleza (ANA, 2015a).

La delimitación de la faja marginal de la quebrada fue georreferenciada en coordenadas UTM WGS 84, con un total 41 hitos correspondientes a la margen derecha e izquierda en un tramo 2.7 km aproximadamente. Los hitos fueron establecidos en el límite exterior de la faja marginal. En la tabla 43 y en la tabla 44 se observa las coordenadas e hitos correspondientes a la margen derecha e izquierda respectivamente para la delimitación de la faja marginal.

Tabla 43:

Relación de hitos georreferenciados para la señalización de la faja Marginal, margen derecha.

Progresivo del tramo del curso fluvial	Código del Hito	Este	Norte
0+000	H1	314648	8679037
0+250	H2	314494	8679298
0+300	H3	314512	8679357
0+425	H4	314439	8679459
0+525	H5	314418	8679562
0+725	H6	314536	8679765
0+950	H7	314544	8679952
1+050	H8	314557	8680063
1+225	H9	314581	8680230
1+325	H10	314589	8680328
1+450	H11	314614	8680482
1+700	H12	314657	8680690
2+000	H13	314699	8680957
2+150	H14	314694	8681113

2+275	H15	314686	8681240
2+375	H16	314600	8681300
2+475	H17	314568	8681398
2+575	H18	314583	8681484
2+625	H19	314559	8681518
2+700	H20	314521	8681582
2+810	H21	314448	8681679

Fuente: Resolución Directoral N° 2070-2015-ANA-CANETE-FORTALEZA, por ANA, 2015

Tabla 44:

Relación de hitos georreferenciados para la señalización de la faja Marginal, margen izquierda.

Progresivo del tramo del curso fluvial	Código del Hito	Este	Norte
0+000	H1	314769	8679203
0+250	H2	314621	8679455
0+300	H3	314606	8679654
0+425	H4	314666	8679786
0+525	H5	314648	8679988
0+725	H6	314637	8680191
0+950	H7	314647	8680313
1+050	H8	314681	8680378
1+225	H9	314736	8680469
1+325	H10	314772	8680672
1+450	H11	314809	8680971
1+700	H12	314807	8681113
2+000	H13	314777	8681191
2+150	H14	314754	8681261
2+275	H15	314690	8681354
2+375	H16	314632	8681417
2+475	H17	314642	8681488
2+575	H18	314637	8681577
2+625	H19	314605	8681630
2+700	H20	314531	8681732

Fuente: Resolución Directoral N° 2070-2015-ANA-CAÑETE-FORTALEZA, por ANA, 2015

En la figura 45 se observa la delimitación de la faja marginal realizada por el ANA.

Figura. 45. Delimitación de la Faja Marginal.
Fuente: Informe de delimitación de faja marginal quebrada El Pedregal, por ANA, 2015

Como se puede observar, a pesar de que el reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos que sostiene que “está prohibido el uso de las fajas marginales para fines de asentamiento humano, agrícola u otra actividad que las afecte” (Decreto Supremo N° 001-2010-AG, 2010, art.115) la faja marginal ha sido invadida por pobladores que establecieron sus viviendas a través de los años en zonas cerca al cauce principal de la quebrada, demostrando la falta de conciencia e información de la población frente al riesgo de huaicos y la debilidad institucional del gobierno local en el cumplimiento de la normativa que prohíbe asentamientos en zona de riesgo. Esta situación ha generado la reducción y/o modificación del cauce y el aumento de la vulnerabilidad de los pobladores ante la generación de huaicos.

B) Instalación de sistema de alerta temprana piloto

Un Sistema de Alerta Temprana (SAT) es el conjunto acciones, procedimientos y herramientas que están vinculados para alertar de forma oportuna a las autoridades y a la población sobre la proximidad de un peligro, con el fin de obtener una respuesta adecuada. En el marco legal de la Ley N° 29664– SINAGERD se establece que un SAT debe tener la participación de plataformas de defensa civil y voluntariado, el funcionamiento del Centro de Operaciones de Emergencias (COE) y la organización de simulacros (Soluciones Prácticas, 2015).

Para finales del 2016 la ONG Soluciones Prácticas en coordinación con la Agencia de Cooperación Internacional de Korea (KOICA), la Municipalidad Distrital de Chosica, el INDECI y el financiamiento del grupo Zurich, implementaron el proyecto piloto de un Sistema de Alerta Temprana ante huaicos en la quebrada El Pedregal.

La ONG Soluciones Prácticas menciona que se instalaron modernas estaciones de saturación del suelo, de monitoreo visual y de lluvias (equipo con una cámara incorporada) y estación pluviométrica artesanal todas ubicadas estratégicamente para brindar mayor cobertura (mediante internet o frecuencia de radio) la información del patrón de precipitaciones de la zona al Centro de Operaciones de Emergencia (COE) Chosica. El SAT implementado en la quebrada aún es un proyecto piloto debido a que los encargados y especialistas aún están

verificando la relación existente entre el evento ocurrido (huaico) y las precipitaciones cada año (INFOINUNDACIONES, 2019).

En el anexo 18 se muestra un esquema del funcionamiento del SAT piloto instalado en la quebrada el Pedregal. Según Soluciones Prácticas (2015), el SAT de la zona de estudio tiene 4 componentes importantes:

- Conocimiento del riesgo: Recopilación de información sobre peligros y vulnerabilidades existentes en la zona y evaluaciones participativas con la población.
- Monitoreo: Instituciones especializadas brindan el servicio de monitoreo permanente de los peligros, y pronostican sobre una base técnico científica y la información emitida vía internet por los equipos instalados en la quebrada.
- Comunicación: El COE recibe la información procesada, la valida con la población y serenazgos. Una vez validada la información, toma decisiones y transmite la información a las autoridades y brigadistas comunitarios y representantes de instituciones.
- Respuesta: Se difunde la alerta a la población a través de sistemas de comunicaciones en el que se usen instrumentos como alarmas, megáfonos, radios, sirenas, silbatos, entre otros e inician las actividades de evacuación y activación de brigadas.

Sin embargo, en las visitas hechas en campo meses después del huaico ocurrido en el año 2017 se tuvo la oportunidad de realizar entrevistas a los pobladores de la quebrada El Pedregal. Algunos de ellos afirmaron que no tenían conocimiento del Sistema de Alerta Temprana piloto instalado en la quebrada, además afirman que cuando el evento ocurrió, se alertaron entre los vecinos, salieron rápidamente de sus viviendas y buscaron las zonas cercanas más altas sin llevar a cabo ningún proceso de evacuación. En el anexo 19 se detalla la entrevista realizada a la población. Ante esta situación, se entiende que la información del SAT piloto no ha sido difundida a la población en su totalidad. Este punto es imprescindible y clave para el desarrollo eficiente del sistema.

Asimismo, el SAT actual para alertar pasa por diversos procesos como estimar probabilísticamente la ocurrencia de un huaico en función del patrón de precipitaciones de la zona y la saturación del suelo, recibir la información procesada, verificarla con los pobladores o serenazgos de la zona y recién tomar la decisión de difundir y alertar, por lo que es probable que si ocurriera un huaico en horario nocturno o en la madrugada, el sistema sería ineficiente en su componente de comunicación por la lentitud del aviso y la restricción de oscuridad y peligro que impediría la verificación o validación en campo de los pobladores y/o serenazgos sobre la ocurrencia del huaico.

3.2.3 Análisis Institucional

Luego del evento ocurrido en la quebrada El Pedregal en 1987 se dio mayor énfasis al fenómeno del huaico, por ello intervinieron distintas organizaciones y entidades que se encargaron de efectuar medidas de mitigación ante este tipo de eventos. Entre las principales entidades se encuentran:

- La Municipalidad Distrital de Lurigancho – Chosica, entidad que gestionó e implementó la mayoría de obras de mitigación contra la ocurrencia de huaicos como los muros de contención, obras de protección y diques, no siendo suficiente las obras implementadas. La obra más notable es la construcción del nuevo dique de concreto ciclópeo, mientras que los antiguos diques de mampostería no se encuentran en funcionamiento. Es la entidad que ha cumplido muchas veces el rol ejecutor para la mitigación de desastres generados por huaicos en la quebrada El Pedregal
- ANA en convenio con entidades privadas, se encargó de la implementación y reparación y mantenimiento de las barreras dinámicas de la quebrada El Pedregal, siendo una de las mejores obras preparadas para la retención de flujo de escombros. Igualmente aprobó la delimitación de la faja marginal de la quebrada El Pedregal. Es la entidad que cumplió el rol ejecutor para la mitigación de desastres generados por huaicos en la quebrada El Pedregal
- INDECI ha realizado estudios donde la quebrada El Pedregal es declarada una de las áreas urbanas en estado de riesgo ante el huaico. Asimismo, brinda asistencia técnica a la quebrada cuando está sujeto a un evento de huaico. Es la entidad que

cumplió el rol técnico asesor para la mitigación de desastres generados por huaicos en la quebrada El Pedregal.

- El Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) en convenio con la Municipalidad Distrital de Lurigancho – Chosica construyeron 15 diques de mampostería de disipación en la quebrada El Pedregal. Los diques de mampostería no se encuentran en funcionamiento. Es una de las primeras entidades que cumplió su rol ejecutor y promotor para la mitigación de desastres generados por huaicos en la quebrada El Pedregal.
- La ONG Soluciones Prácticas implementó en convenio con el Grupo Zurish, KOICA E INDECI el Sistema de Alerta Temprana piloto (SAT). Esta entidad privada cumplió su rol ejecutor y promotor para la mitigación de desastres generados por huaicos en la quebrada El Pedregal.

Descritos los antecedentes de gestión institucional de entidades públicas y privadas que intervinieron en la quebrada El Pedregal para la mitigación de riesgo de huaico, se verifica que estas entidades realizan actividades aisladas evidenciando la falta de una planificación integral con objetivos claros, ordenados y coordinados para tener mejores resultados.

3.2.4 Análisis Económico

La ejecución de los proyectos de mitigación de desastres para las quebradas de Chosica depende de las transferencias económicas por parte del Ministerio de Economía y Finanzas a las entidades públicas. Respecto a las inversiones de las entidades privadas, lo realizaron mediante convenios con entidades públicas. Este análisis se basa en las inversiones de los proyectos de mitigación de desastres ejecutados en la quebrada El Pedregal y registrados en el Ministerio de Economía y Finanzas y/o publicadas en informes por distintas entidades públicas.

En la tabla 45 se presenta un resumen de la inversión total de las obras de mitigación de desastres ejecutadas por entidades públicas y privadas en la quebrada El Pedregal en el periodo 2014 – 2019. El detalle de las inversiones se muestra en el anexo 20.

Tabla 45:

Resumen de inversión total en obras de mitigación de desastres ejecutadas por entidades del estado y privadas en la quebrada El Pedregal en el periodo 2014 – 2019

ENTIDAD	INVERSIÓN S/.
MUNICIPALIDAD LURIGANCHO- CHOSICA	6,221,069.00
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA)	4,248,299.61
ONG SOLUCIONES PRACTICAS, GRUPO ZURISH , KOICA E INDECI	83,500.00
INVERSION TOTAL EN OBRAS EJECUTADAS POR ENTIDADES PÚBLICAS Y PRIVADAS EN LA QUEBRADA EL PEDREGAL EN EL PERIODO 2014 - 2019	10,552,868.61

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, como se explicó anteriormente, el JICA presentó una propuesta de inversión planteando como solución la construcción de grandes presas SABO junto a un conjunto de medidas no estructurales, sin embargo no se llegó a ejecutar.

En la tabla 46 se detalla la inversión planteada por el Proyecto JICA.

Tabla 46:

Presupuesto del Proyecto JICA

ENTIDAD	INVERSION PROYECTADA USD	INVERSION PROYECTADA S/.
Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA)	11,649,440.00	38,909,129.60

Fuente: Informe final para el estudio de plan maestro sobre el proyecto de prevención de desastres en la cuenca del Río Rímac por JICA, 1988

Como se puede apreciar, el total de la inversión en obras de mitigación ejecutadas por entidades públicas y privadas son menores respecto a la inversión que requiere el Proyecto JICA debido a que no cuentan con la capacidad financiera para cubrir los costos de la implementación de un megaproyecto como las presas SABO, es posible que por esta razón hasta la fecha no se ha puesto en marcha la propuesta de ejecutar un proyecto piloto de este tipo de tecnología japonesa.

La falta de una buena planificación y la falta de financiamiento, no permite ejecutar obras de gran envergadura. Sin embargo, el alcalde del distrito de Lurigancho - Chosica en convenio con entidades públicas o privadas puede gestionar el financiamiento y ejecutar los proyectos, siempre y cuando tengan buen sustento de rentabilidad para pedir apoyo económico basado en una solución de un problema social.

3.2.5 Análisis Social

Este análisis se basa en evaluar el contexto social, el sentir y el pensamiento de la población de la quebrada El Pedregal respecto a la ocurrencia del evento de huaico, con el fin de conocer las necesidades y preocupaciones que manifiesta, así mismo para verificar cuan organizados están frente al evento.

A través de los años, la población se ha establecido en la quebrada sin tomar en cuenta que la zona es altamente vulnerable, situación que va en aumento y es cada vez más alarmante por la ocurrencia de los huaicos.

Para evaluar con mayor detalle, en las visitas in situ (meses después del evento ocurrido del año 2017) se obtuvo información mediante entrevistas a los pobladores ya descritas en el anexo 19.

Con la información recopilada en la entrevista, se verificó que pese a las medidas implementadas y existentes en la quebrada (medidas estructurales y no estructurales que ya fueron analizadas en los numerales precedentes) el huaico del 2017 si ocasionó daños en la población. Los pobladores manifestaron que las barreras dinámicas instaladas en la quebrada funcionaron y las consideran entre las mejores obras instaladas que observaron hasta la fecha porque han contribuido a retener piedras de diversos tamaños que arrastra el huaico por el cauce. A pesar de ello, presenciaron como aun algunos bloques de roca y piedras transportados por el huaico, al llegar a la zona urbana dañaron las viviendas más cercanas al cauce, pistas, infraestructura y servicios básicos. Por lo que actualmente temen ante la ocurrencia de nuevos huaicos de mayor magnitud que provoquen mayores daños.

Asimismo se ha determinado que actualmente la población carece de planificación y organización adecuada respecto a la ocurrencia de eventos de huaicos debido a que no saben

cómo actuar antes, durante y después de la ocurrencia de un evento, además afirman que no tienen conocimiento del Sistema de Alerta Temprana piloto instalado en la quebrada, por lo que posiblemente no ha sido difundida a la población de manera apropiada. Igualmente los pobladores manifestaron que durante la ocurrencia del evento, se alertan entre ellos y salen de sus viviendas desesperados, estresados y con mucho temor buscan lugares altos para protegerse, constatando la débil resiliencia y la falta de preparación de los pobladores para responder adecuadamente en caso de la ocurrencia de un huaico. Y luego de la ocurrencia de un huaico, la población se agrupa por sectores liderados por los directivos del pueblo Joven “San Antonio de Pedregal” y la asociación de viviendas “San Miguel”, para realizar faenas de rehabilitación de algunos servicios básicos destruidos o las viviendas que aún pueden ser reconstruidas. Las faenas se realizan con aporte propio y en algunas ocasiones con apoyo de entidades públicas o privadas.

3.3 Evaluación del Riesgo frente a los efectos del huaico

El riesgo es el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos, como esta descrito en la ecuación (1) en el marco teórico, con el fin de determinar los posibles daños sociales, económicos y ambientales asociados a fenómenos peligrosos. A continuación se evalúa el peligro, la vulnerabilidad y finalmente el riesgo de la zona de estudio.

3.3.1 Evaluación del Peligro

Para la evaluación del peligro se ha considerado el estudio realizado por INDECI (2005) mediante el cual ha realizado el Mapa de Peligros de las quebradas de Chosica, en el que se ha representado los niveles de peligrosidad considerando aspectos geológicos, hidrológicos y geotécnicos de la zona.

Los niveles de peligrosidad diferenciados se describen en la siguiente tabla 47:

Tabla 47:*Niveles de Peligrosidad*

NIVEL DE PELIGROSIDAD	DESCRIPCIÓN
ZONA DE PELIGRO MUY ALTO	Sectores amenazados por alud-avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo (huaicos). Zonas de deposición de quebradas afectables por flujos de lodo. Sectores amenazados por deslizamientos. Zonas amenazadas por inundaciones a gran velocidad, con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo. Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de Licuación generalizadas o suelos colapsables en grandes proporciones. Corresponden a las áreas de quebradas y cárcavas de fuerte pendiente que se encuentran ocupadas, asimismo las riberas del río Rímac.
ZONA DE PELIGRO ALTO	Sectores, que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días. Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos. Corresponden a las laderas de las principales quebradas y la llanura de inundación, que actualmente en su mayor parte se encuentra ocupada por viviendas y comercio.
ZONA DE PELIGRO MEDIO	Suelo de calidad intermedia, Inundaciones muy esporádicas con bajo tirante y velocidad. Esta zona corresponde a las laderas de las quebradas y las partes intermedias de las laderas que colindan con la ciudad.
ZONA DE PELIGRO BAJO	Terrenos planos o con poca pendiente, roca o suelo compacto y seco, con alta capacidad portante. Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznales.

Fuente: “Mapa de Peligros y Plan de usos de suelos y medidas de mitigación de desastres de la ciudad de Chosica” por INDECI, 2005

En la figura 46 se muestra el mapa de peligro de la quebrada El Pedregal (adaptado del Mapa de Peligros de la ciudad de Chosica) que permite representar de forma objetiva el nivel de peligrosidad en que se encuentra la quebrada.

MAPA DE PELIGRO DE LA QUEBRADA

LEYENDA

Hidrografía

- Río
- - - Quebrada
- * * * Cárcava
- Acequia
- Tubería de Descarga
- Tunel de Conducción

Signos Convencionales

- Via de primer orden
- - - Via proyectada
- + + + Ferrocarril
- Trocha Carrozable
- - - Limite de Ambito de Estudio
- - - Limite Distrital
- p — Línea de Alta Tensión

Niveles de Peligro

- Pelgro Bajo
- Peligro Medio
- Peligro Alto
- Peligro Muy Alto

Figura. 46. Mapa de peligro de la quebrada el Pedregal

Fuente: “Mapa de Peligros y Plan de usos de suelos y medidas de mitigación de desastres de la ciudad de Chosica” por INDECI, 2005

Como se observa, se ha determinado áreas con niveles de Peligro Muy Alto, Alto y Medio, sin embargo no se determinaron áreas de Peligro Bajo.

Asimismo, posterior a las visitas de campo y los estudios de caracterización de la quebrada El Pedregal de la presente tesis, el peligro de la zona se identificó a través del estudio hidrológico, geológico, topográfico y el estudio huaicos más catastróficos ocurridos. A partir de ello, se determinó que la quebrada El Pedregal presenta condiciones naturales desfavorables que generan como resultado diversos escenarios que facilitan la ocurrencia de los huaicos. Es importante resaltar que los huaicos no pueden ser evitados ya que su ocurrencia es impredecible y tienen periodos de retorno muy variados

3.3.2 Evaluación de la Vulnerabilidad

Para la evaluación de vulnerabilidad se ha considerado el estudio realizado por INDECI (2005) que determina el grado de fortaleza o debilidad de cada sector de la ciudad de Chosica ante la ocurrencia de un evento natural adverso como el huaico.

INDECI realizó el Mapa de Vulnerabilidad de la ciudad de Chosica en base a aspectos fundamentales que podrían ser impactados ante la ocurrencia de un evento, estos son: asentamientos humanos, servicios vitales, actividades económicas y patrimonio histórico.

Los niveles de vulnerabilidad se describen en la siguiente tabla 48:

Tabla 48:
Niveles de Vulnerabilidad

NIVEL DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN
ZONA DE VULNERABILIDAD MUY ALTA	Zonas con viviendas de materiales precarios, viviendas en mal estado de construcción, con procesos acelerados de hacinamiento y tugurización, población de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, inexistencia de servicios básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencias.
ZONA DE VULNERABILIDAD ALTA	Zonas con predominancia de viviendas de materiales precarios, viviendas en mal y regular estado de construcción, con procesos de hacinamiento y tugurización en marcha, población de escasos recursos económicos, sin cultura de prevención, cobertura parcial de servicios básicos, accesibilidad limitada para atención de emergencia.
ZONA DE VULNERABILIDAD MEDIA	Zonas con predominancia de viviendas de materiales nobles, viviendas en regular y buen estado de construcción, población con un nivel de ingreso económico medio, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura parcial de servicios básicos, con facilidades de acceso para atención de emergencia.
ZONA DE VULNERABILIDAD BAJA	Zonas con viviendas de materiales nobles, en buen estado de construcción, población con un nivel de ingreso económico medio y alto, cultura de prevención en desarrollo, con cobertura de servicios básicos, con buen nivel de accesibilidad para atención de emergencias.

Fuente: “Mapa de Peligros y Plan de usos de suelos y medidas de mitigación de desastres de la ciudad de Chosica” por INDECI, 2005

En la figura 47 se muestra el Mapa de Vulnerabilidad de la quebrada El Pedregal (adaptado del Mapa de Vulnerabilidad de la ciudad Chosica) que permite representar de forma objetiva los niveles de vulnerabilidad que se presentan en la quebrada.

Asimismo, posterior a la evaluación en campo y los estudios de la situación actual en que se encuentra la quebrada (población, crecimiento urbano, actividades económicas, usos de suelo características de las viviendas, servicios básicos, eficacia de las medidas estructurales y no estructurales existentes, análisis social, institucional y económico), se estima que la vulnerabilidad de la zona de estudio continua incrementando.

3.3.3 Evaluación de Riesgo

Una vez evaluado el peligro y la vulnerabilidad en que se encuentra la quebrada El Pedregal, se procede a identificar el riesgo en el área a investigar. INDECI (2005) desarrolló el Mapa Síntesis de Riesgo de la ciudad de Chosica en base a la interacción del peligro natural y la vulnerabilidad determinada para cada sector urbano. Para ello estableció la Matriz de Zonificación de Riesgos que se muestra en la tabla 49 y los niveles de riesgo diferenciados se describen en la tabla 50.

Tabla 49:
Matriz de Zonificación de Riesgos

		VULNERABILIDAD EN AREAS OCUPADAS URBANAS			
		Zonas de Vulnerabilidad Muy alta	Zonas de Vulnerabilidad Alta	Zonas de Vulnerabilidad Media	Zonas de Vulnerabilidad Baja
PELIGROS	Zonas de Peligro Muy alto	Zonas de Riesgo Muy Alto	Zonas de Riesgo Muy Alto	Zonas de Riesgo Alto	Zonas de Riesgo Alto
	Zonas de Peligro Alto	Zonas de Riesgo Muy Alto	Zonas de Riesgo Alto	Zonas de Riesgo Medio	Zonas de Riesgo Medio
	Zonas de Peligro Medio	Zonas de Riesgo Alto	Zonas de Riesgo Medio	Zonas de Riesgo Medio	Zonas de Riesgo Bajo
	Zonas de Peligro Bajo	Zonas de Riesgo Alto	Zonas de Riesgo Medio	Zonas de Riesgo Bajo	Zonas de Riesgo Bajo

Fuente: “Mapa de Peligros y Plan de usos de suelos y medidas de mitigación de desastres de la ciudad de Chosica” por INDECI, 2005

Tabla 50:
Niveles de Riesgo

RIESGO	
ZONAS DE RIESGO MUY ALTO	Sectores críticos donde se deben priorizar obras, acciones e implementación de medidas de mitigación ante desastres. De ser posible, reubicar a la población en zonas más seguras de la ciudad. Colapso de todo tipo de construcciones ante la ocurrencia de un huaico.
ZONAS DE RIESGO ALTO	Sectores críticos donde se deben priorizar obras, acciones e implementación de medidas de mitigación ante desastres. Educación y capacitación de la población y autoridades. No son aptas para procesos de densificación y localización de equipamientos urbano.
ZONAS DE RIESGO MEDIO	Suelos aptos para uso urbano. Es deseable implementar medidas de mitigación ante desastres y educación y capacitación de la población en temas de prevención. Pueden densificarse con algunas restricciones. Daños considerables en viviendas en mal estado.
ZONAS DE RIESGO BAJO	Suelos aptos para uso urbano de alta densidad y localización de equipamientos urbanos de importancia, tales como hospitales, grandes centros educativos, bomberos, cuarteles de policía, etc. Daños menores en las edificaciones

Fuente: “Mapa de Peligros y Plan de usos de suelos y medidas de mitigación de desastres de la ciudad de Chosica” por INDECI, 2005

En la figura 48 se muestra el Mapa de Riesgo de la quebrada El Pedregal (adaptado del Mapa Síntesis de Riesgo de la ciudad Chosica) que permite representar de forma objetiva el nivel de riesgo que presenta la quebrada.

MAPA DE RIESGO DE LA QUEBRADA EL PEDREGAL

LEYENDA

Hidrografía

- Río
- Quebrada
- Cárcava
- Acequia
- Tubería de Descarga
- Tunnel de Conducción

Signos Convencionales

- Via de primer orden
- Via proyectada
- Ferrocarril
- Trocha Carrozable
- Limite de Ambito de Estudio
- Limite Distrital
- Línea de Alta Tensión

Niveles de Riesgo

- Riesgo Bajo
- Riesgo Medio
- Riesgo Alto
- Riesgo Muy Alto

Figura. 48. Mapa de Riesgo en la quebrada El Pedregal

Fuente: “Mapa de Peligros y Plan de usos de suelos y medidas de mitigación de desastres de la ciudad de Chosica” por INDECI, 2005

Se considera como Zona de Riesgo Alto, el área urbana ubicada en la quebrada El Pedregal (el pueblo Joven “San Antonio de Pedregal” y la asociación de viviendas “San Miguel de Pedregal”). Igualmente la quebrada El Pedregal se establece como sector preponderantemente crítico debido a que representa una de las zonas urbanas más pobladas de Chosica que se encuentra en alto riesgo y por presentar los peligros más violentos y de mayor desastre en la cuenca del río Rímac (INDECI, 2005).

Adicionalmente, la ANA mediante su estudio de "Complementación de identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2016-2017", señala que un total de 6990 habitantes de la quebrada El Pedregal y 600 viviendas asentadas en el cauce y en la faja marginal se encuentran en riesgo y podrían sufrir daños ante la ocurrencia de nuevos huaicos (ANA, 2016a). En la tabla 51 se muestra en N° de viviendas y N° de habitantes en riesgo en la quebrada El Pedregal.

Tabla 51:

Viviendas y Habitantes en riesgo en la quebrada El Pedregal por ocurrencia de huaico

Quebrada	N° Viviendas en Riesgo	N° Habitantes en riesgo (Directamente Afectados)	N° Habitantes en riesgo (Indirectamente Afectados)	Total de Habitantes en riesgo
El Pedregal	600	3,000	3,990	6,990

Fuente: “Complementación de identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2016-2017” por ANA, 2016 a

Luego de los estudios precedentes desarrollados en el presente capítulo y junto al estudio de campo de la situación actual de la quebrada, se determina dos factores o causas primordiales que influyen en la vulnerabilidad y por consiguiente incrementan el alto riesgo de la quebrada El Pedregal. El primer factor se refiere a la continua ocupación del territorio por parte de los pobladores para establecer sus viviendas a pesar de que la quebrada El Pedregal es considerada como una zona de alto riesgo. Esta situación es producto de la migración, la falta de información o concientización sobre el riesgo de la zona, la falta de medios económicos de pobladores para establecerse en lugares más seguros y la debilidad

institucional del gobierno local en el cumplimiento de la normativa que prohíbe asentamientos en zona de riesgo.

El segundo factor está referido al déficit de medidas de prevención y mitigación e inadecuada planificación por ocurrencia de huaicos producto de la falta de capacitación de los pobladores sobre cómo actuar antes, durante y después del evento, el déficit de obras de mitigación en la quebrada ante futuros huaicos, las acciones de mitigación aisladas de entidades públicas y privadas y el insuficiente financiamiento por parte del Gobierno para la construcción de obras de mitigación.

Por consiguiente, el problema de la zona de estudio es el alto riesgo por la ocurrencia de huaicos y las condiciones de vulnerabilidad existentes mientras que los efectos son los daños o pérdidas sociales, económicas y ambientales. Para contribuir a reducir los daños ocasionados por huaicos se determina que el riesgo debe ser disminuido y para ello uno de sus componentes debe ser reducido.

Dado que no es posible actuar sobre el peligro debido a que el huaico es generado por las condiciones naturales desfavorables de la quebrada El Pedregal, se ha considerado la posibilidad de actuar sobre la vulnerabilidad revirtiendo o mitigando las causas o factores que influyen en su generación y/o incremento, mediante la implementación de medidas estructurales y no estructurales establecidas en un plan de gestión integral que será desarrollado en los siguientes capítulos.

4 FORMULACIÓN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL

Para formular el plan en el presente capítulo, primero se formulan y evalúan alternativas de medidas de corrección y prevención estructurales y no estructurales para la zona de estudio, para seleccionar y proponer las más adecuadas, las mismas que conformaran el Plan de Gestión Integral.

4.1 Medidas de Corrección

En el presente numeral se proponen medidas de corrección subdivididas en medidas estructurales y no estructurales.

Las medidas estructurales de corrección representan aquellas acciones que se encargan de corregir el impacto generado después de la ocurrencia de un evento.

Las medidas no estructurales de corrección se encargan de corregir o revertir progresivamente las causas secundarias que constituyen una causa primaria que genera la vulnerabilidad de la quebrada El Pedregal, referida a la ocupación del territorio por parte de la población para establecer sus viviendas en zonas de riesgo.

4.1.1 Medidas Estructurales de Corrección

a) Reconstrucción de tramos de muros de contención:

Los pobladores que se encuentran aledaños al cauce de la quebrada, son propensos a ser afectados, ya que el terreno en el que se encuentran es socavado o erosionado por acción del flujo de escombros, generando que la capacidad del terreno no sea suficiente para su soporte.

Después de evaluar la eficacia de los tramos de muro de contención se considera que si son afectados o es dañado luego de un futuro evento, es de suma importancia su reconstrucción. Para ello se debe ejecutar en base a un adecuado proceso constructivo y uso de materiales, para mejorar la seguridad y evitar mayores desastres, ya que estos muros sirven de estabilidad de las viviendas que se encuentran aledañas al cauce del huaico.

b) Limpieza adecuada del Cauce

Como ya se indicó en el año 2015 la Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica descolmató el material arrastrado en el cauce de la quebrada El Pedregal por efecto del huaico. Sin embargo, durante la emergencia y después de cada evento de huaico, esta actividad debe ser empleada de manera adecuada, ya que algunas piedras y bolones como se ve en la figura 49, han sido transportados a las partes laterales para servir como soporte de algunos tramos de muros de contención del cauce.

Sin embargo, ante futuros huaicos, las piedras y bolones transportados a las paredes laterales pueden ser arrastrados por la fuerza del flujo y generar más daños, por lo que se propone el carguío de todas las piedras, bolones y bloques de roca posibles y la eliminación de escombros, basura del cauce con la finalidad de brindar mayor seguridad a la población aledaña y prevenir la generación de mayores daños.

Figura. 49. Piedras y bolones en la parte lateral del cauce del huaico en la Quebrada El Pedregal
Fuente: Elaboración Propia

c) Restablecimiento del Tránsito

El restablecimiento del tránsito es una actividad basada en la limpieza, carguío y eliminación de material como (escombros, piedras) de las vías urbanas y/ o los tramos de la Carretera Central ubicado en el cono de deyección de la quebrada El Pedregal que son afectados por el huaico. Esta medida debe ser ejecutada inmediatamente ocurrido el evento y así tratar de reducir los daños económicos como la interrupción del tránsito en la minería, productos agrícolas predecibles y horas- hombre.

d) Reconstrucción y mantenimiento de dique concreto ciclópeo

Actualmente se encuentra listo para su funcionamiento el dique de concreto ciclópeo, ya que tras su construcción en el año 2018, no se ha suscitado ningún evento de huaicos hasta la fecha. Es importante mencionar que luego de la ocurrencia de un huaico se debe realizar un mantenimiento y reforzamiento adecuado para evitar que el dique colapse y que la cimentación no sea socavada en su totalidad en los próximos eventos. Es decir, se debe limpiar y llenar con concreto las grietas y los huecos que se generen con la debida mano de obra especializada en el tema.

e) Reconstrucción y mantenimiento de barreras dinámicas

Si bien la descolmatación realizada después de la ocurrencia del huaico del 2017, fue una medida correctiva eficiente es importante que después de cada evento se haga un mantenimiento y reconstrucción de cada barrera dinámica que se encuentre colmatada, para conservar el buen estado y funcionamiento de las estructuras.

4.1.2 Medidas No Estructurales de Corrección

a) Concientización de la población sobre el cumplimiento de la Faja Marginal

Para complementar la información de la faja marginal de la zona de estudio se verificaron los hitos georreferenciados brindados por la ANA mediante el programa Google Earth.

En la figura 50 se observa los límites de la faja marginal de la margen derecha y la margen izquierda en la quebrada El Pedregal.

Figura. 50. Delimitación de la Faja Marginal de la Quebrada El Pedregal
Fuente: Google Earth, 2019

Según la tabla 42 señalada en el numeral 3.2.2 precedente, se determinó que el ancho mínimo de la faja marginal es de 3 m debido a que es una quebrada con alta pendiente encañonada de material rocoso. Estimando el nivel de máximas crecidas de avenidas ordinarias por inspección visual en campo y en Google Earth, considerando la longitud del tramo de la faja marginal y el ancho mínimo hallado, se determinó el área aproximada de la faja marginal por la margen derecha es de 12.5 hectáreas mientras que por la margen izquierda es de 14 hectáreas. En el anexo 21 se muestra el área de la faja marginal para cada margen.

Como ya fue analizado en el numeral 3.2.2 precedente, en la quebrada El Pedregal no se pudo evitar que gran parte de la faja marginal sea ocupada por los pobladores para establecer sus viviendas y actualmente esta situación continúa. De esta manera se refleja la falta de conciencia o información por parte de los pobladores frente al riesgo de huaicos y la debilidad institucional del gobierno local en el cumplimiento de la normativa que prohíbe asentamientos en zona de riesgo

Es por ello que se propone como medida correctiva la concientización de la población sobre el cumplimiento de la faja marginal de la quebrada El Pedregal que consiste en el desarrollo de talleres periódicos con el fin de sensibilizar y obtener el compromiso de cuidado y

preservación de la faja marginal y fomentar la autoprotección brindando mayor percepción sobre el riesgo de la zona.

Se necesita de la labor coordinada de todos los agentes sociales posibles, como pobladores de la quebrada, autoridades locales y funcionarios públicos, instituciones y especialistas que desarrollen y promuevan esta medida, de esta manera se contribuirá a controlar el aumento de la ocupación total de las áreas de la faja marginal que aún no han sido invadidas ya que los funcionarios y autoridades estarán más fortalecidos y concientizados para el cumplimiento de la ley N° 29338 , Ley de Recursos Hídricos, prohibiendo futuros asentamientos en la faja marginal.

Por otro lado, se contribuirá a que los pobladores y autoridades locales tomen conciencia progresiva y articuladamente de la necesidad de reducir los asentamientos sobre la faja marginal que actualmente incrementan el riesgo de la quebrada. Así se espera que la LEY N° 30645 (2017); ley que establece el reasentamiento oportuno de titulares y ocupantes de predios que se encuentren ubicados en zonas de riesgo recurrente por huaicos, obtenga la aceptación progresiva y generalizada por parte de la población y que las autoridades competentes tomen conciencia y logren a largo plazo la reubicación de la población (sobre todo aquellos pobladores ocupando la faja marginal).

4.2 Medidas de Prevención

Son aquellas acciones que se establecen de manera anticipada revirtiendo o mitigando las causas de la vulnerabilidad con la finalidad de minimizar el alto riesgo en la quebrada El Pedregal, tomando las medidas más necesarias y adecuadas antes de la ocurrencia de futuros huaicos. En el presente numeral se proponen medidas de prevención subdivididas en medidas estructurales y no estructurales en base a las causas secundarias que constituyen la segunda causa primaria que genera la vulnerabilidad de zona de estudio, referida al déficit de medidas de prevención y mitigación e inadecuada planificación por ocurrencia de huaicos.

4.2.1 Medidas Estructurales de Prevención

Para proponer las medidas estructurales de prevención más adecuadas para revertir la insuficiencia o déficit de obras de mitigación de la zona, se consideró realizar un previo análisis comparativo de cuatro medidas estructurales como alternativas de solución. Estas alternativas corresponden a las obras hidráulicas proyectadas y/o ejecutadas en el cauce de la quebrada El Pedregal. Posteriormente se selecciona la alternativa más adecuada y se presenta la medida estructural de prevención como propuesta de solución para revertir el déficit de obras de mitigación de la zona y de esta manera contribuir a la disminución del impacto negativo causado por el huaico.

Análisis de alternativas

El análisis se basa en la evaluación del presupuesto, la capacidad de retención de material, las características técnicas y el estado actual de las obras hidráulicas de mitigación ejecutada y/o proyectada en el cauce de la quebrada El Pedregal, para ello se considera la información y análisis realizado en el numeral 3.2.1 precedente. Las alternativas a analizar son:

- **Presa SABO:** La presa SABO es una terminología japonesa, cuyas estructuras fueron evaluadas y propuestas para el control de flujos de escombros. Este proyecto no fue ejecutado, sin embargo, se evaluará según la información que se presenta en el Plan Maestro JICA.
- **Diques de Mampostería:** Diques de gravedad que resisten al impacto del agua y están formados con piedra y hormigón. El análisis se realizará con el dique N°14 que se encontraba en la parte alta de la quebrada.
- **Dique Seco de Concreto Ciclópeo:** Dique de retención de flujo de concreto ciclópeo con la finalidad de atenuar el caudal atrapando el material sólido de arrastre del huaico.
- **Barreras Dinámicas:** Tecnología implementada por los suizos, contruidos con redes de anillos ROCCO con la finalidad de brindar protección y seguridad a la zona (ANA, 2015) El análisis se realizará con la Barrera N° 03.

Para mayor detalle de cada alternativa analizada, ver sección de planos:

- Presa SABO: Plano F4-10, F4-11
- Dique de Mampostería: Plano DM-01
- Dique Seco de Concreto Ciclópeo: Plano DCC-01
- Barreras Dinámicas: Plano ING-BA-PLDZ-003

Para el análisis se siguió el siguiente procedimiento:

❖ Evaluación de Presupuesto

En el anexo 22 se muestra el presupuesto de cada alternativa evaluada y el reajuste del presupuesto al año 2019. En la tabla 52 se presenta el resumen de los presupuestos analizados y reajustados al año 2019.

Tabla 52:

Resumen de presupuestos totales y reajustados al año 2019 de alternativas

EVALUCIÓN DE PRESUPUESTO	PRESA SABO	DIQUE DE MAMPOSTERÍA	DIQUE CONCRETO CICLÓPEO	BARRERA DINÁMICA
TOTAL (S/.)	24,483,129.10	425,032.36	593,900.13	1,377,881.00

Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla precedente, la ejecución del dique de mampostería y del dique de concreto ciclópeo tiene un presupuesto similar a diferencia de la barrera dinámica cuyo presupuesto de proyecto se duplica. Por otro lado, la presa SABO cuenta con un presupuesto mucho más elevado.

❖ Estimación de la capacidad de retención de material

Se estimó el volumen de retención de material de huaico de las cuatro obras, según lo observado en campo y con la información recopilada.

Para el análisis de la Presa SABO, se empleó los planos F4-10 y F4-11 extraídos del Plan Maestro JICA. Se estimó que el volumen de retención es 117,300.00 m³.

Para estimar la capacidad de retención del dique de mampostería y del dique seco de concreto ciclópeo se empleó el software Google Earth y los planos DM-01 y DCC-01 respectivamente. Se estimó que el volumen de retención del dique de mampostería fue de 550 m³ y mientras que el volumen de retención del dique de concreto ciclópeo fue de 2550 m³ aproximadamente. En la figura 51 y la figura 52 se observa los volúmenes de retención respectivos.

Figura. 51. Imagen satelital y volumen retenido estimado de dique de mampostería
Fuente: Google Earth, 2017

Figura. 52. Imagen satelital y volumen retenido estimado de dique seco de concreto ciclópeo en la quebrada El Pedregal.
Fuente: Google Earth, 2017

Por último mediante un análisis visual de campo y el uso de Google Earth, se estimó que el volumen de retención de la barrera dinámica N° 03 post huaico del año 2017 fue 2600 m³ aproximadamente. En la figura 53 se muestra el volumen retenido estimado de la barrera N° 03.

Figura. 53. Imagen satelital y volumen retenido estimado de Barrera Dinámica N°03 en la quebrada El Pedregal.
Fuente: Google Earth, 2017

Según lo descrito, el dique de mampostería tiene una capacidad de retención de material de huaico menor a diferencia del dique de concreto ciclópeo y la barrera dinámica que poseen una capacidad de retención mayor y similar. Por otro lado, la presa SABO cuenta con una capacidad de retención más elevada.

❖ Características técnicas de las alternativas

Se evaluó ciertas características de construcción y funcionamiento de cada obra para analizar sus diferencias con mayor énfasis.

Respecto al tiempo de ejecución se distingue que la construcción de diques de concreto ciclópeo y de diques de mampostería así como de una presa SABO es mayor que el tiempo de ejecución de una barrera dinámica. Esto se debe a que una presa o dique cuenta con un tiempo de construcción aproximadamente de 6 meses a más, a diferencia de una barrera que cuenta con un tiempo de ejecución de 3 meses. Es importante resaltar que el tiempo de ejecución de una obra, considerando la circunstancia en que se encuentra la quebrada, es clave para la mitigación de desastres.

Por otro lado, los materiales de construcción que se necesitan para ejecutar un dique de mampostería o concreto ciclópeo y una presa SABO son más factibles de adquirir en el país, sin embargo el agua es un recurso principal para la construcción de estas obras. Si bien los pobladores de la quebrada El Pedregal cuentan con abastecimiento de agua, este es un recurso escaso por lo que solo es utilizado para fines de consumo humano, de manera que no se lograría una ejecución óptima de la presa y diques sin presencia de agua. Esta situación ya se vio reflejada en los diques de mampostería construidos anteriormente en la quebrada, cuya eficacia ya fue analizada en el numeral 3.2.1 precedente.

No obstante, para la implementación de la tecnología de las barreras dinámicas la presencia de agua es mínima ya que solo se utiliza para los cimientos de la barrera, por lo que su ejecución es más viable, rápida y práctica.

Respecto al funcionamiento de cada obra, es importante mencionar que durante la ocurrencia de un huaico se genera un primer impacto entre el flujo de escombros y el talud aguas arriba de la estructura. Los diques o presas no son capaces de absorber esa fuerza de impacto debido a su comportamiento rígido. Por otro lado, una vez que las estructuras se colmatan, el material rocoso excedente (con diámetros mayores a 1m) se desbordará y pasará por encima de la estructura, causando el deterioro del talud aguas abajo y disminuyendo el tiempo de vida útil proyectado de la estructura.

En la figura 54 se muestra el proceso descrito en un dique de mampostería o dique de concreto ciclópeo

Figura. 54. Impacto y deterioro de talud aguas debajo de dique de mampostería o de concreto ciclópeo.
Fuente: Elaboración Propia

Sin embargo, el funcionamiento de la barrera dinámica es distinto. Al generarse el impacto aguas arriba entre el huaico y la malla de la barrera dinámica, esta es capaz de absorber la fuerza de impacto y toma la forma de una semicircunferencia gracias a su carácter flexible. En la figura 55 se muestra la flexibilidad vista en campo de la barrera dinámica N°03.

Figura. 55. Flexibilidad de la barrera dinámica N°03 después del huaico 2017
Fuente: Elaboración Propia

Esta característica permite que, una vez colmatada la barrera, el material rocoso excedente pase por encima de ella y se desmorone en el cauce sin causar daños a la estructura en el talud aguas abajo. En la figura 56 se muestra el proceso descrito.

Figura. 56. Proceso de impacto de material rocoso con el cauce, sin dañar el talud aguas abajo de la barrera dinámica.

Fuente: Elaboración Propia

Otra característica importante a resaltar es que la barrera dinámica es una estructura hueca y permeable, lo que generará que durante la ocurrencia de un huaico el drenaje del flujo permita que el depósito de materiales aguas arriba de la barrera disminuyan sus presiones y su tiempo de secado tenga mayor rapidez, de esta manera se contribuya con la disipación de la energía en el cauce de la quebrada. En la figura 57 se muestra lo descrito.

Figura. 57. Drenaje de huaico en las barreras dinámicas

Fuente: Expediente Técnico. Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contra flujo de escombros, por ANA y TDM, 2016

Alternativa seleccionada

Analizado el presupuesto, la capacidad de retención y las características de cada alternativa, se detalló en la tabla 53 un cuadro comparativo de las cuatro alternativas de solución para finalmente seleccionar la medida estructural de prevención más adecuada.

Tabla 53:

Tabla comparativa de las cuatro alternativas

N° Alternativa	Descripción	Presupuesto Actualizado al 2019 S/.	Volumen retenido de material (m3)	N° de uso	Estado	Presupuesto S/. / Volumen Retenido/ N° de uso
1	Presa SABO	24,483,129.10	117,300	1	No fue ejecutado	209
2	Dique Mampostería	425,032.36	550	2	Colapsó en el huaico del 2017	386
3	Dique concreto ciclópeo	593,900.13	2,550	2	En funcionamiento y apta para 1° uso	116
4	Barrera dinámica N° 03	1,377,881.01	2,600	5	En funcionamiento descolmatada y apta para el 2° uso	106

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, se estableció una relación entre el presupuesto, el volumen retenido y el N° de uso estimado de cada estructura. Se demuestra que la barrera dinámica al presentar el menor costo de S/ 106 por cada m³ de volumen de material de huaico retenido entre todas las alternativas tiene una clara ventaja en su precio, en su capacidad de retención y la cantidad de veces en que la estructura funcionará y brindará servicio sin llegar al colapso ante la ocurrencia de un huaico. Además las características de funcionamiento y de construcción son las que distinguen a la barrera dinámica entre las cuatro alternativas, como una estructura eficiente para revertir el déficit de obras de mitigación de la zona y por consiguiente, se contribuya a la reducción de riesgo ante la ocurrencia de huaico.

Cabe recalcar que según la encuesta realizada en la quebrada (anexo 19), las barreras dinámicas son aprobadas por los pobladores. Por lo que la alternativa de solución seleccionada como mejor medida de prevención estructural es la barrera dinámica.

Seleccionada la alternativa, a continuación se propone la medida estructural de prevención como propuesta de solución al déficit de obras de mitigación de la zona y de esta manera contribuir a la disminución del impacto negativo causado por el huaico.

a) Implementación de dos nuevas barreras dinámicas

Se propone como medida estructural de prevención la implementación de dos nuevas barreras dinámicas (N° 05 y N° 06) en la quebrada El Pedregal con la finalidad de revertir el déficit de obras de mitigación ante la ocurrencia de futuros huaicos, disipar con mayor eficacia la energía del flujo de escombros, proteger a la población y por consiguiente contribuir a la reducción del alto riesgo. Para determinar esta propuesta de solución, se desarrolló el siguiente procedimiento

Predimensionamiento y selección del N° de barreras

Los criterios para el predimensionamiento y la selección de la cantidad de barreras dinámicas son los siguientes.

➤ Ubicación

En primer lugar, se proyectó la ubicación dos nuevas barreras dinámicas tomando en cuenta la accesibilidad y la cercanía a la población, para que de esta manera el transporte de materiales y la ejecución de las barreras no sean complejas ni perjudique las viviendas de los pobladores, por lo que se consideró la zona media de la quebrada para la ubicación. En segundo lugar se ubicó en el lugar donde dos diques de mampostería colapsaron en el último huaico del 2017, de los cuales en uno de ellos se consideró establecer un BM como punto de referencia para realizar el levantamiento topográfico de las barreras propuestas. En las figuras 58 y 59 se muestran los diques de mampostería colapsados considerados para la ubicación de las futuras barreras N°05 y N°06. Mientras que en la tabla 54 se presentan las coordenadas de ubicación.

Figura. 58. BM establecido para el estudio, ubicación de la barrera N°05

Fuente: Elaboración Propia

Figura. 59. Ubicación de la barrera N°06

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 54:

Coordenadas de ubicación de BM y barreras dinámicas futuras.

BARRERA N°	ESTE (m)	NORTE (m)
BM	314509	8681606
05	314505	8681604
06	314538	8681560

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 60 se muestra la ubicación de las barreras dinámicas existentes y proyectadas en la quebrada El Pedregal, las cuales fueron establecidas en el programa Google Earth.

Figura. 60. Ubicación de las Barreras dinámicas implementadas y propuestas en la Quebrada El Pedregal.

Fuente: Google Earth, 2019

Se observa que la ubicación de las dos barreras se propone en la zona media de la quebrada antes de la zona de urbana, por lo tanto la ubicación planteada se adapta a las características físicas de la quebrada y al espacio permitido para la implementación de este tipo de estructuras.

Por otro lado para el predimensionamiento de las barreras se evaluó la topografía y las medidas realizadas en campo de la geometría de la sección del cauce en los puntos de ubicación propuestos. A través de esta evaluación, se determinó que las barreras dinámicas podrían ser del mismo tipo de las barreras existentes N°03 y N°04, es decir barreras tipo UX 180H6.

En la tabla 55 se presenta las dimensiones y tipos de barrera proyectadas, las mismas que serán verificadas más adelante en el software DEBFLOW.

Tabla 55:
Dimensiones y tipos de barreras proyectadas

BARRERA N°	TIPO DE BARRERA	DIMENSIONES PROYECTADAS
05	UX 180 H6	B1= 15 , B2= 25, h=6m
06	UX 180 H6	B1= 12 , B2= 26, h=6m

Fuente: Elaboración Propia

Donde:

B1: ancho inferior de barrera dinámica

B2: ancho superior de barrera dinámica

h: altura de barrera dinámica

➤ **Volumen de Retención estimados y observados**

Inicialmente con apoyo del programa Google Earth, se aproximó el volumen total de retención o capacidad de retención de material de las barreras existentes, considerando un área y longitud aproximada de material según la topografía de la zona y una altura promedio de material de 2.5 m debido a que no hay una altura única de volumen de material almacenado por la disminución de la altura según la pendiente.

En la tabla 56 se muestra los datos obtenidos.

Tabla 56:*Capacidad de retención estimado para barreras N°01 – N°04*

Barrera Dinámica N°	Área aproximada de sedimentos en planta (m ²)	h promedio (m)	Capacidad de retención estimado (m ³)	Porcentaje de retención
B01	170	2.5	425	100%
B02	747	2.5	1868	100%
B03	1091	2.5	2726	100%
B04	1125	2.5	2813	100%
CAPACIDAD TOTAL DE RETENCIÓN DE LAS 4 BARRERAS (m³)			7832	100%

Fuente: Elaboración Propia

En una de las visitas de campo realizadas en julio después del huaico del 2017, se evaluó los volúmenes retenidos observados y el porcentaje de retención de material en las barreras colmatadas N° 02 y N° 03. En la tabla 57 se detalla los volúmenes de retención observados en campo.

Tabla 57:*Capacidad de retención observada en el año 2017*

Barrera Dinámica N°	Área aproximada de sedimentos en planta (m ²)	h promedio (m)	Volumen de retención observado en campo en 2017 (m ³)	Porcentaje de retención
01	-	-	-	NO RETUVO
02	710	2.5	1775	95%
03	1036	2.5	2590	85%
04	-	-	-	NO RETUVO
VOLUMEN TOTAL RETENIDO AÑO 2017 (m³)			4365	

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que las barreras N°01 y N°04 no retuvieron material, mientras que las barreras dinámicas N°02 y N°03 retuvieron un total de 1775 m³ y 2590 m³ respectivamente. Es posible que la barrera dinámica N°01; la cual se encuentra en la margen izquierda de la quebrada; no haya retenido material rocoso debido a que solo pasaron residuos arenosos puesto que en campo se observó que la zona de la margen izquierda está conformada por suelo y roca más firme. Mientras que la margen derecha de la quebrada es la que generó

mayor producción ya que se observó que la barrera N°02 retuvo abundancia de bolones y bloques de roca que se encuentran en proceso de descomposición.

Como ya se describió en el numeral precedente 3.2.1, en el año 2018 efectuaron la descolmatación de las barreras N°02 y N°03, por lo que actualmente las cuatro barreras están aptas y listas para retener aproximadamente 7832 m³ de material de huaico en futuro evento. De la misma manera, en la tabla 58 se observa la evaluación de los volúmenes de retención estimados de las barreras dinámicas N°05 y N° 06 en futuros eventos.

Tabla 58:

Volumen de retención estimado para barreras N°05 y N°06

Barrera Dinámica N°	Área estimada de sedimentos en planta (m ²)	h promedio (m)	Volumen de retención estimados en campo en futuros eventos (m ³)	Porcentaje de almacenamiento (%)
05	520	2.5	1338	100%
06	640	2.5	1600	100%
Volumen total de retención estimado por barreras B5 Y B6 (m ³)			2900	100%
Volumen de retención promedio por barrera proyectada (m ³)			1450	

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el volumen de retención estimado de las barreras N°05 y N°06 será de 1338 m³ y 1600 m³ respectivamente en futuros eventos. En la figura 61 se observa un mapa que presenta las áreas que ocuparía el material de huaico y que ha permitido determinar los volúmenes de retención estimados para cada barrera dinámica.

Figura. 61. Mapa de áreas que ocuparía el material de huaico que permite determinar los volúmenes de retención estimados para Barreras N°01 – N°06
Fuente: Google Earth, 2019

➤ **Estimación de volumen de producción**

Para estimar el volumen de producción de sedimentos en la zona de estudio, se tomó como referencia la fórmula empírica que JICA (1988) elaboró evaluando la vulnerabilidad en la cuenca del río Rímac, tomando como base la estimación del volumen de producción de sedimentos o descarga de flujo de escombros ocurridos en la quebrada El Pedregal en marzo de 1987. De esta manera JICA inicialmente formuló la ecuación:

$$V = \left(\frac{V_p}{C_p} \right) \times A \times 1.2 \times F \quad (20)$$

Dónde:

- ❖ V : Volumen de producción de sedimentos o descarga del flujo de escombros (en m³)
- ❖ V_p : Volumen de producción de sedimentos o descarga del flujo de escombros ocurrido en la quebrada El Pedregal en marzo de 1987 calculado por JICA (157,200.00 m³)
- ❖ C_p : Área de captación de la subcuenca de la quebrada El Pedregal calculado por JICA (10.6 km²)
- ❖ 1.2 : Factor de seguridad determinado por JICA, en debida consideración de la precipitación de medición de volumen de descarga o producción
- ❖ F : coeficiente empírico que depende de la cobertura vegetal
- ❖ A : área de captación (en km²)

Tomando en consideración los valores descritos, JICA resume la ecuación de la siguiente manera:

$$V = 14800 \times A \times 1.2 \times F \quad (21)$$

Para el caso de la quebrada El Pedregal, considerando la escasa vegetación el coeficiente "F" que le corresponde es 0.8. En el anexo 23 se muestra el criterio de selección del coeficiente. Mientras que el valor del área de captación "A" se calculó en base a los puntos de ubicación de cada barrera dinámica ejecutada y proyectada para la subcuenca de estudio. En la tabla 59 se observa el volumen estimado de producción de sedimentos en la quebrada El Pedregal mediante la fórmula empírica de JICA.

Tabla 59:

Volumen estimado de producción de sedimentos en la quebrada El Pedregal mediante la fórmula empírica de JICA

Descripción	Área de captación (km ²)	Volumen de producción estimado de sedimentos de JICA (m ³)
Barrera dinámica N°01	3.4	48,875.52
Barrera dinámica N°02	2.6	36,230.40
Barrera dinámica N°03	6.1	86,668.80
Barrera dinámica N°04	7.5	106,560.00
Barrera dinámica N°05	7.8	110,822.40
Barrera dinámica N°06	8.5	120,768.00

Fuente: Elaboración Propia

Debido a la incertidumbre observada en la fórmula de JICA por los resultados altos del volumen de producción estimado, se decidió corregir dichos resultados usando los valores observados de material retenido en las barreras dinámicas N° 02 y N° 03 luego del evento del 2017.

Considerando que en el 2017 no se produjo el evento máximo posible se decidió usar un factor de corrección para aproximar la máxima producción de un evento futuro, por lo que se asumió que lo observado en el 2017 es la mitad del máximo posible.

En la tabla 60 se muestran las correcciones de volúmenes de producción estimados de sedimentos máximos en la quebrada El Pedregal.

Tabla 60:

Correcciones de volúmenes de producción estimados de sedimentos máximos en la quebrada El Pedregal.

Descripción	(a) Volumen de producción estimado de sedimentos de JICA (m³)	(b) Volumen retenido estimado futuro evento (m³)	c= b/a	(d) Factor de corrección (promedio de c)	(a*b) Volumen de producción estimado de sedimentos corregido máximo (m³)
Nº01	48,875.52			0.079	3,855.10
Nº02	36,230.40	3,550.00	0.10	0.079	2,857.70
Nº03	86,668.80	5,180.00	0.06	0.079	6,836.08
Nº04	106,560.00			0.079	8,405.01
Nº05	110,822.40			0.079	8,741.22
Nº06	120,768.00			0.079	9,525.68

Nota: Para el volumen de producción de futuro evento estimado se consideró el doble del volumen retenido observado en el 2017, en las barreras B02 y B03.

Fuente: Elaboración Propia

El volumen de producción de escombros calculado es 9526 m³ y dado que las barreras existentes actuales Nº01, Nº02, Nº03 y Nº04 podrían retener aproximadamente 7832 m³ queda un volumen excedente de 1693 m³. Por lo tanto se requieren implementar dos barreras adicionales ya que cada barrera nueva podría retener aproximadamente 1450 m³. En la tabla 61 se muestra un resumen de los volúmenes calculados.

Tabla 61:

Resumen de volúmenes de producción y retención calculados en la quebrada El Pedregal

(1) Volumen de producción máximo calculado para próximo evento (m³)	9,526
(2) Volumen de retención actual de las 4 barreras (m³)	7,832
(1) - (2) = (3) Volumen de retención excedente (m³)	1,693
(4) Volumen total retenido por barreras Nº05 y Nº06 (m³)	2,900
(5) Volumen retenido promedio por cada barrera Nº05 y Nº06 (m³)	1,450
(3)/(5) = Cantidad de barreras nuevas a implementar	1.2
(6) Cantidad de barreras nuevas a implementar (und)	2
Volumen retenido estimado en futuro evento por 6 barreras (m³)	10,732

Fuente: Elaboración Propia

Dimensionamiento de las barreras

Luego del predimensionamiento y la selección de la cantidad de barreras propuestas para implementar, es necesario la verificación de estos cálculos para plantear el dimensionamiento final de las barreras N°05 Y N°06. Para ello, se utilizó el software DEBFLOW, el cual es considerado por la empresa suiza GEOBRUGG como la herramienta oficial de dimensionamiento, evaluación de volúmenes de retención y comprobación de la estabilidad de las barreras dinámicas. El software DEBFLOW está compuesto por parámetros de huaicos y parámetros específicos para cada tipo de barrera, los cuales están basados en la experiencia de las numerosas pruebas de campo y laboratorio obtenidos por la empresa. En el anexo 24 se muestra algunas formulaciones que el software utiliza para el cálculo de dimensiones de las barreras.

Como datos de entrada se introdujo información de la densidad del material de huaico, del caudal máximo determinado en el estudio hidrológico y los volúmenes estimados de producción de un futuro huaico, en base a ello el software determinó el % agua que representa un 33 % de la mezcla. Además, se introdujo los datos de predimensionamiento y a partir de ello, se comprobó el dimensionamiento, la cantidad, los volúmenes de retención y la estabilidad de las barreras dinámicas ante la aparición de fuerzas hidrostáticas y dinámicas durante el proceso de llenado y el desbordamiento del huaico en las barreras. El proceso de dimensionamiento de la barrera dinámica N°05 y N° 06 en el software DEBFLOW se presenta en el anexo 25. En la tabla 62 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en el software DEBFLOW.

Tabla 62:

Resumen de resultados obtenidos en software DEBFLOW

BARRERA	DIMENSION PROYECTADA	TIPO PROYECTADO	VOLUMEN DE RETENCIÓN RESULTANTE - DEBFLOW (m ³)	COMPROBACIÓN
N° 05	B1= 15, B2= 25, h=6m	GEOBRUGG UX 180 - H6	1357	CUMPLE
N° 06	B1= 12 , B2= 26, h=6m	GEOBRUGG UX 180 - H6	1758	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar las barreras dinámicas planteadas fueron verificadas y aprobadas por el software DEBFLOW que usa la empresa GEOBRUGG para el diseño de estas estructuras. Cabe resaltar que la implementación de las dos nuevas barreras propuestas N° 05 y N° 06 contribuirán a retener el material excedente calculado del próximo evento de huaico y a complementar y regular la función disipadora de las barreras dinámicas existentes, lo cual permitiría brindar mayor seguridad, mayor tiempo para que la población evacúe y así reducir el alto riesgo por ocurrencia de huaicos.

➤ **Características Técnicas**

Las características técnicas de las barreras dinámicas N°05 y N°06 serán las mismas que han sido establecidas por el fabricante GEOBRUGG para el tipo de barrera dinámica UX180 H6. En la tabla 63 se detallan las principales características técnicas de este tipo de barrera.

Tabla 63:

Datos técnicos de la barrera geodinámica UX180-H6

BARRERAS CON POSTES	UX180 - H6
Presión del flujo de escombros	180 Kn/m/h
Altura estándar de instalación	6m
Ancho máximo	30m
Perfil del poste	HEB 260
Tipo de red de anillos	ROCCO 16/3/300

Fuente: Expediente Técnico. Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contra flujo de escombros – Quebrada San Antonio de Pedregal, por ANA Y TDM, 2016

Las Barreras UX 180 H6 son capaces de resistir una presión cinemática de huaicos de hasta 180 KN/m². Presenta dos postes intermedios, una altura máxima de 6m y el máximo ancho superior es 30m. En la figura 62 se observan un esquema de los componentes del sistema de barreras UX

1. poste de acero	5. anclaje de cables flexible
2. cable de soporte inferior	6. cable perimetral lateral
3. cable de soporte superior	7. Aliviadero para descarga normal
4. cable de soporte intermedio	

Figura. 62. Esquema de las componentes de la barrera UX

Fuente: Expediente Técnico. Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contraflujo de escombros – Quebrada San Antonio de Pedregal, por ANA Y TDM, 2016

En la figura 63, se observa el detalle de la sección transversal de este tipo de barrera dinámica UX 180 H6.

Figura. 63. Detalle de la sección transversal de barrera UX

Fuente: Expediente Técnico. Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contraflujo de escombros – Quebrada San Antonio de Pedregal, por ANA Y TDM, 2016

Para mayor detalle de la propuesta de implementación de dos barreras dinámicas, se elaboró planos que presentan el detalle en planta, sección transversal y perfil longitudinal de las barreras dinámicas N°05 y N°06 planteadas. (Ver Planos BD-01, BD-02 y BD-03)

Por otro lado, a continuación se propone otra medida estructural de prevención que complementará la medida estructural descrita en párrafos precedentes y por lo tanto también contribuirá a revertir el déficit de obras de mitigación de la zona y de esta manera aportará a la disminución de alto riesgo de la zona de la quebrada El Pedregal .

b) Incorporación de sensores al SAT:

Como parte de una mejora en el sistema de alerta temprana existente en la quebrada El Pedregal, se propone la incorporación de sensores como herramienta de advertencia rápida a la población y autoridades ante la proximidad de un huaico. La herramienta a implementar se trata de verniers con sensor ubicados estratégicamente en la parte superior de uno de los postes de acero de la barrera dinámica N°03 y la barrera dinámica nueva N°06.

La activación de los verniers sensores se generará durante la ocurrencia de un huaico, cuando el flujo de escombros excedente pase por encima de la barrera colmatada y empuje el vernier sensor hasta su límite, momento en el cual se emitirá una señal del sensor hacia la antena que será reflejada y captada por el software de procesamiento de alerta que estará ubicado en las oficinas del Centro de Operaciones de Emergencia COE.

Recibida la señal, el software de procesamiento de alerta comienza a funcionar llamando y mandando mensajes automáticos y grabados a teléfonos y celulares de los agentes sociales posibles entre los cuales se encuentran el alcalde de la Municipalidad de Lurigancho-Chosica, serenazgo de la municipalidad, brigadistas voluntarios, representantes de COE, INDECI y directivos del pueblo Joven “San Antonio de Pedregal” y la asociación de viviendas “San Miguel”. Igualmente se enviará mensajes de texto de alerta a los celulares de los pobladores de los centros poblados antes mencionados de la quebrada El Pedregal.

Se propone que la señal emitida por los verniers con sensores se interprete como se indica en la tabla 64 y en función a ello se efectúen las llamadas y se envíen los mensajes de alerta temprana a las personas descritas en el párrafo precedente.

Tabla 64:

Interpretación de la señal emitida por los verniers con sensores

Activación de vernier de Barrera N ° 03	Indicación de advertencia que el huaico está próximo a la zona urbana de la quebrada El Pedregal. Estar alertas, prepararse e iniciar el proceso de evacuación.
Activación de vernier de Barrera N ° 06	Indicación de advertencia que el huaico está a 100 m de la zona urbana de la quebrada El Pedregal. Terminar de evacuar rápidamente.

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 64 se observa un esquema del vernier con sensor instalado listo para su activación mientras la barrera dinámica está en proceso de colmatación. En la figura 65 se muestra un esquema del vernier con sensor durante su activación.

Figura. 64. Esquema de vernier con sensor instalado en barrera dinámica

Fuente: Elaboración Propia

Figura. 65. Esquema de vernier con sensor activado indicando colmatación de la barrera.

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en consideración estas propuestas de mejora planteada para el actual SAT piloto implementado en la quebrada, se estaría estableciendo un SAT más efectivo e integral dado que esta medida permitirá alertar y proporcionar tiempo (aproximadamente 10 minutos) a la población para evacuar a zonas seguras evitándose pérdidas humanas, complementando y

brindando mayor seguridad y efectividad de la etapa de comunicación y respuesta del actual SAT piloto.

4.2.2 Medidas No Estructurales de Prevención

Se proponen las medidas no estructurales de prevención más adecuadas como propuestas de solución para revertir o mitigar la implementación de acciones de mitigación aisladas no planificadas de entidades públicas y privadas, el insuficiente financiamiento y la falta de capacitación sobre cómo actuar antes, durante y después del evento.

a) Fortalecimiento de la Institucionalidad Local y cofinanciamiento para el Plan de Gestión Integral de Riesgo

Esta medida no estructural surge a partir del concepto de la gestión integral. El fortalecimiento de las instituciones y el cofinanciamiento se debe desarrollar para asegurar que el plan funcione con integridad con un enfoque participativo, articulado, horizontal, transparente y continuo, de esta manera cada uno de los participantes aplica sus conocimientos y actúan de forma coordinada para el logro de las medidas establecidas en el plan.

Es preciso señalar que esta medida estará conformada por reuniones anuales para suscribir convenios de cooperación interinstitucional de cofinanciamiento, para difundir sobre el alcance, roles, participantes, medidas y recursos del plan hacia la población y para el desarrollo de una evaluación participativa estableciendo un espacio democrático u horizontal en donde se dialogue, intercambie y aporte ideas entre la experiencia sobre su realidad de la población en general y el conocimiento técnico de especialistas, funcionarios locales y entidades públicas o privadas.

De esta manera, contribuir a que se combinen las medidas, participantes y recursos del plan en un todo armónico y alcanzar el éxito previsto, evitando la desarticulación de acciones de mitigación no planificadas de entidades públicas y privadas y revirtiendo el insuficiente financiamiento. Más adelante, en el numeral 4.3.1 se presenta mayor detalle sobre esta medida no estructural.

b) Capacitación de una cultura de resiliencia

La palabra resiliencia no está registrada por la Real Academia Española, pero su uso es cada vez más frecuente en el lenguaje especializado de gestión de desastres. La resiliencia es la destreza del ser humano para poder recuperarse ante las adversidades de un desastre o catástrofe. Si bien vivir un evento traumático es una de las situaciones que más transforma la vida de una persona, es necesario enfrentar y superar los desastres de manera más activa para así minimizar los daños. Es decir, la población debe adoptar una cultura de resiliencia, la cual involucra una serie de conductas o comportamientos, acciones y pensamientos ante la adversidad (Gerens, 2017).

Según Uriarte (2010) se considera:

- La resiliencia como resistencia: Se entiende como la capacidad de manejar sentimientos e impulsos fuertes ante la situación, ser capaz, permanecer estable o competente y desarrollarse con normalidad en un ambiente de riesgo que genera daños y estrés.
- La resiliencia como recuperación: Se describe como la capacidad para volver al estado original luego de alguna situación adversa, evitando ver la crisis como un obstáculo insuperable. Se debe cambiar la forma en que se reacciona ante las dificultades, procurando tener una visión más optimista y superación frente a las situaciones difíciles. Una persona o grupo que se recupera con rapidez sería considerada más resiliente que aquella que difícilmente se recupera a pesar del tiempo transcurrido.
- La resiliencia como transformación: Esta perspectiva destaca las capacidades de las personas para la adaptación a los cambios, aprender y salir fortalecidos o transformados positivamente por la experiencia. En algunos casos los desastres pueden producir oportunidades para cambiar o corregir las condiciones de vida de los afectados.

El grupo de Red de Líderes Resilientes de la Cuenca del Río Rímac, conformado por dirigentes de las poblaciones afectadas de los distritos de Chosica; entre ellas la población

de la quebrada El Pedregal y junto con el apoyo de otras entidades como CENEPRED, GRUPO ZURICH, PREDES; efectuaron charlas informativas sobre el riesgo de desastres y el conocimiento de una comunidad resiliente. Sin embargo, mediante las entrevistas realizadas a pobladores y las visitas a campo post evento se ha determinado que las charlas no fueron difundidas a la gran mayoría de los pobladores de la quebrada El Pedregal.

Por ello, para revertir la falta de capacitación sobre cómo actuar durante y después del evento se establece las capacitaciones de una cultura de resiliencia como una medida no estructural de prevención. De esta manera contribuir a que los pobladores de la quebrada el Pedregal estén preparados y capacitados para ser participantes activos y no solo receptores pasivos ante la problemática del huaico, demostrando que existen fortalezas humanas como el optimismo, la persistencia y el valor que actúan como defensa ante los desastres.

Se considera adecuado que las capacitaciones se realicen periódicamente, que aporten todo el conocimiento disponible sobre el tema e impliquen la participación de todos los agentes sociales posibles como pobladores de la quebrada El Pedregal (sobre todo los más afectados por la ocurrencia de huaicos), autoridades (Municipalidad de Lurigancho Chosica), entidades públicas (INDECI , CENEPRED) o privadas (ONG), especialistas (sociólogos, ingenieros de gestión de riesgo) y/o voluntarios, incluyendo al grupo de Red de Lideres Resilientes de la cuenca del Rio Rímac, para desarrollar progresivamente una cultura de resiliencia que contribuya a fortalecer la capacidad de las personas de manera individual y colectiva de resistir, responder, recuperarse , reorganizarse y adaptarse ante situaciones o circunstancias adversas que genera la ocurrencia de huaicos.

c) Capacitaciones de Seguridad y Salud

En la quebrada El Pedregal es necesario el desarrollo de capacitaciones constantes en las que se informe a los pobladores las medidas estructurales y no estructurales que se establecerán en el plan, así como también el funcionamiento de la incorporación de sensores al actual Sistema de Alerta Temprana piloto , información y preparación hacia zonas de evacuación, información sobre las enfermedades o infecciones que puede generar el huaico, implementos que se debe tener en los hogares para las emergencias, etc. De esta manera, se contribuirá a la disseminación más eficiente de las alertas, la toma de conciencia de los

pobladores y la preparación constante para actuar adecuadamente antes, durante y después de la ocurrencia de un huaico.

Las capacitaciones serán realizadas por especialistas en los diversos temas a tratar (especialistas en seguridad, en salud e ingenieros de gestión de riesgo) asesorados por representantes de entidades públicas o privadas (INDECI, CENEPRED, SOLUCIONES PRACTICAS, MINSA, ONG, etc) y con la participación de autoridades locales, brigadistas voluntarios y la población de la quebrada El Pedregal. Las capacitaciones se dividirán de la siguiente manera:

- **Concientización del uso de mochila de supervivencia**

Se debe concientizar constantemente mediante charlas informativas a los pobladores de la quebrada sobre el uso de una mochila básica de supervivencia ante la ocurrencia de huaicos, ya que permitirá afrontar las primeras horas del desastre. Debe estar ubicada en un lugar seco, protegido y estratégico de la vivienda y el tamaño o cantidad de mochilas depende de la cantidad de personas que integre cada familia.

INDECI (2019) menciona los artículos vitales que debe contener la denominada mochila de supervivencia ante una emergencia por la generación de huaicos:

- Botiquín de primeros auxilios
- Artículos de higiene
- Alimentos: comida enlatada, paquetes de galleta, chocolates y agua embotellada.
- Abrigos, mantas polares
- Dinero
- Herramientas de comunicación como radios, linternas, pilas y silbatos
- Si se tiene mascotas : comida para perro o gatos y una correa

- **Capacitación del Sistema de Alerta Temprana**

Como ya se evaluó en el numeral 3.2.2, se ha verificado que el funcionamiento del actual Sistema de Alerta Temprana piloto instalado en la quebrada El Pedregal, no fue difundido a la población de manera apropiada hasta la fecha. Por lo que, se plantea como medida no

estructural el desarrollo de capacitaciones del Sistema de Alerta Temprana (incluyendo la incorporación de los dos sensores de alerta propuestos en las medidas estructurales) las cuales se darán de manera periódica y contribuirán a fortalecer el componente de respuesta del actual SAT piloto.

Las capacitaciones estarán conformadas por:

- Charlas informativas sobre el alto riesgo de la zona por ocurrencia de huaicos y sobre el funcionamiento de los sensores incorporados al SAT.
- Talleres de preparación para la emergencia (planificación de acciones familiares de emergencia dentro de los hogares, simulacros de evacuación, ubicación de rutas de evacuación y habilitación de zonas seguras y puntos de encuentro, entre otras).
- Talleres de sensibilización y compromiso sobre la importancia de participar activa y conscientemente en las acciones de respuesta ante la activación de la alerta emitida por la señal de los sensores y recepcionada en sus teléfonos o celulares.

INDECI desarrollo el Mapa de Peligros, Mapa de Vulnerabilidad y el Mapa de Riesgos de la quebrada El Pedregal los cuales se muestran en el numeral 3.3 de Estimación del Riesgo. Asimismo en el 2018 elaboró el Mapa de Rutas de Evacuación y zonas seguras de la quebrada El Pedregal que se muestra en el anexo 26. El uso de estos recursos será importante para el desarrollo de la medida propuesta.

- **Capacitación sobre la Salud**

Las personas afectadas por la ocurrencia de huaicos están más expuestas a contraer enfermedades, debido al colapso de los servicios de agua potable y desagüe, el inadecuado manipuleo de alimentos y malas prácticas de higiene. Entre los daños a la salud se puede mencionar la expansión de agentes infecciosos, alteraciones en el ecosistema trayendo enfermedades como malaria, dengue, sika, cólera, neumonías, rabia, peste, enfermedades diarreicas agudas, infecciones respiratorias, enfermedades de la piel (MINSA, 2017).

La Dirección General de Gestión del Riesgo de Desastres y la Defensa Nacional de Salud ha desarrollado el “Plan de Contingencia del Ministerio de Salud, frente a los efectos de las lluvias, 2017” en el que se establece que debe priorizarse las intervenciones en los escenarios

de alto riesgo, protegiendo la vida salud de las personas afectadas por el desastre, a través de una respuesta inmediata (MINSA, 2017).

Por lo que en cumplimiento de lo establecido en plan precedente, se propone brindar capacitaciones y charlas informativas sobre los efectos en la salud por ocurrencia de huaicos a los pobladores de la quebrada El Pedregal (incluyendo a los directivos de las organizaciones comunales de San Antonio El Pedregal y la asociación de viviendas San Miguel de Pedregal) y los brigadistas voluntarios.

Asimismo es necesario capacitar respecto a las acciones de preparación y atención de primeros auxilios durante y después de la emergencia, sobre el despliegue de brigadas o voluntarios para la atención en la zona, la repartición de medicamentos y alimentos necesarios y sobre las prácticas de higiene y cuidado que debe tener cada poblador antes, durante y después de un evento.

4.3 Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada El Pedregal, Chosica

Para llevar a cabo la formulación del plan, se desarrolló una serie de procedimientos en los capítulos precedentes, que se enlistan a continuación:

- ✓ Identificación de la zona
- ✓ Caracterización de la quebrada El Pedregal
- ✓ Análisis de la eficacia de las medidas existentes
- ✓ Identificación de actores nacionales e internacionales
- ✓ Evaluación del riesgo existente
- ✓ Formulación de Medidas de Prevención y Corrección estructurales y no estructurales

Para mayor detalle, en el anexo 27 se presenta un esquema metodológico para la formulación del plan. Es importante recalcar que luego del análisis de la eficacia de las medidas existentes realizado en el capítulo precedente, se determinó que las diferentes actividades que se han desarrollado por distintos actores en la quebrada El Pedregal frente a la ocurrencia de huaicos se encuentran como acciones aisladas no conformantes de un plan. Estas acciones fueron ejecutadas, financiadas y gestionadas por entidades públicas y privadas, ONG y la población

bajo un enfoque muy fragmentado debido a la débil articulación interinstitucional que existe, lo cual representa una de las causas que influencia en la vulnerabilidad de la zona. Además estas acciones aisladas no son suficientes para reducir daños ocasionados por los huaicos en la quebrada.

Luego de focalizar las alternativas de solución y llevar a cabo la formulación de medidas de corrección y prevención con las cuales se enfrentarían y se revertirían las causas generadoras de la vulnerabilidad de la zona, en el presente subcapítulo se presenta el "Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos en la quebrada El Pedregal, Chosica" en el que se establece y se organizan las medidas estructurales y no estructurales de corrección y prevención formuladas. Asimismo, para la formulación del plan se ha considerado el estudio de conceptos, antecedentes y procesos metodológicos relacionados a la Gestión Integral y Gestión de Riesgo de Desastres desarrollado en el marco teórico de la presente tesis. Para mayor entendimiento en la figura 66 se muestra un esquema de conceptos, antecedentes y procesos metodológicos considerados para la formulación del Plan.

Figura. 66. Esquema de conceptos, antecedentes y metodologías considerados para la formulación del Plan.

Fuente: Elaboración Propia

El "Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos en la quebrada El Pedregal, Chosica" es una propuesta que engloba la gestión integral y la gestión de riesgo de desastres, que busca la integración, articulación, coordinación de las acciones, recursos

y participantes con la finalidad de alcanzar el objetivo planteado de contribuir a la reducción del alto riesgo y de los daños producidos ante la ocurrencia de los huaicos en la quebrada El Pedregal.

El Plan estará estructurado por cuatro subplanes basados en la prevención, la emergencia, la rehabilitación y recuperación y el monitoreo, que a la vez estarán organizados en base a las etapas: antes, durante y después del evento. El plan involucrará a participantes de entidades públicas y privadas y a la población, cada uno con sus roles o responsabilidades establecidas. Los enfoques en los que se basará el Plan de Gestión Integral durante su implementación se detallan a continuación en el siguiente esquema de la figura 67.

Figura. 67. Esquema de enfoques del Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada El Pedregal, Chosica.

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1 Participantes y Roles

En primera instancia, como parte de la medida del Fortalecimiento de la Institucionalidad Local, el Gobierno Local presentará el Plan al ente rector (PCM) para solicitar su aprobación y su financiamiento, este trasladará dicha solicitud al rol financiero (MEF) para la confirmación del financiamiento.

Luego, como parte de la medida de Cofinanciamiento para el Plan de Gestión Integral, la PCM solicitará reunirse para suscribir convenios de cooperación interinstitucional de cofinanciamiento que definan los responsables encargados del rol técnico asesor (CEPLAN, INDECI, etc.), del rol ejecutor de las medidas estructurales y no estructurales propuestas en Plan (Gobierno local, ANA, especialistas del Plan, etc.) y del rol promotor (ONG o empresas privadas, la población) y de todos aquellos agentes sociales interesados en cofinanciar convenios o participar activamente en la implementación del plan. Es preciso recalcar que la intervención de la población de la quebrada El Pedregal durante la implementación del Plan es esencial e indispensable como parte del enfoque integral establecido en el plan. En la siguiente figura 68 se muestra un esquema de los participantes y roles del Plan.

Figura. 68: Participantes y roles del Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada El Pedregal, Chosica.

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Estructura del Plan

El Plan de Gestión Integral es preparado con la finalidad de contribuir a la reducción del alto riesgo por ocurrencia de huaico y para ello permite implementar acciones estructurales y no estructurales que se han organizado y establecido en el plan de acción de prevención, emergencia, rehabilitación, recuperación y monitoreo, los cuales estarán articulados en un todo armónico como parte del enfoque integral que presenta el Plan.

En la figura 69 se presenta la estructura del plan de gestión integral del riesgo por huaicos que se desarrollaran con mayor detalle en los siguientes acápite.

Figura. 69. Estructura del plan de gestión integral para reducir daños ocasionados por huaicos, quebrada El Pedregal, Chosica.

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3 Etapas del Plan

Para que la gestión de riesgo por huaico funcione el plan se desarrollará en etapas y deberá estar sometido a una mejora continua. Como se muestra en la figura 70, antes de la ocurrencia del huaico se deberá ejecutar el plan de acciones de prevención, durante la ocurrencia del huaico se implementará el plan de emergencia y después de la ocurrencia del huaico se llevará cabo el plan de recuperación y rehabilitación. El plan de monitoreo debe realizarse en todo momento.

Figura. 70. Etapas del plan
Fuente: Elaboración Propia

4.3.4 Plan de Acciones de Prevención

El Plan de Acciones de Prevención está orientado a la preparación y precaución para una óptima respuesta de la población ante futuros huaicos y para reducir daños futuros.

El plan ha sido formulado de acuerdo a la realidad y características propias de la quebrada El Pedregal. Se describe de la siguiente manera:

- ❖ Se establece medidas no estructurales como el Fortalecimiento de la Institucionalidad Local y búsqueda de cofinanciamiento para el Plan de Gestión Integral. Se firmará en el primer trimestre los convenios interinstitucionales de cooperación y cofinanciamiento donde queden plasmados las responsabilidades de cada una de las entidades participantes del plan, esta actividad se realizara periódicamente así como las capacitaciones de una cultura de resiliencia, de seguridad y salud y actividades de concientización sobre el cumplimiento de la faja marginal.

- ❖ Se establece medidas estructurales teniendo en cuenta el tipo de huaico que se presenta, por ello en el numeral 4.2 se evaluaron las medidas idóneas a establecerse. Se establece la implementación de 2 barreras dinámicas, la incorporación de sensores al sistema de alerta temprana y la limpieza adecuada del cauce.
- ❖ Se establece la intervención de responsables del plan considerando los roles financiero, técnico asesor, ejecutor y promotor, que serán los actores para el cumplimiento del plan de acción de prevención, pudiendo ser entidades públicas o privadas que actuaran de manera conjunta e integrada con el apoyo de la población.
- ❖ Se considera los recursos necesarios para facilitar la puesta en marcha del plan entre los que se encuentra documentación, especialistas mano de obra, maquinarias, equipos y materiales de construcción.

En la figura 71 se muestra este plan esquematizado.

Figura. 71. Plan de Acciones de Prevención para la quebrada El Pedregal.

Fuente: Elaboración Propia

4.3.5 Plan de Emergencia

El Plan de Emergencia esta orientado a enfrentar de manera oportuna, eficaz y eficiente los efectos negativos inmediatamente ocurrido el huaico en la quebrada El Pedregal. Se describe de la siguiente manera:

- ❖ Se establece medidas estructurales como la limpieza adecuada del cauce y el restablecimiento del tránsito inmediatamente después del evento ocurrido.
- ❖ Se establece medidas no estructurales como la aplicación de actividades de emergencia que fortalecerán la etapa de respuesta de la población durante el evento. Esta medida se refiere a que los participantes encargados del rol ejecutor del Plan de Emergencia (población y el autoridades locales) lleven a cabo todo lo aprendido en las capacitaciones de cultura de resiliencia, seguridad y salud del Plan de Acción de Prevención precedente y en coordinación con las entidades asesoras (INDECI, CENEPRED) y promotoras (ONG, voluntarios, brigadistas) se desarrollen actividades de evacuación, apoyo mutuo, socorro y asistencia hacia aquellas personas que son más afectadas por la ocurrencia del huaico.
- ❖ Se considera los recursos necesarios para facilitar la puesta en marcha del plan entre los que se encuentra materiales de emergencia, mapas de rutas de evacuación, especialistas mano de obra, maquinarias, equipos.

En la figura 72 se muestra el plan de emergencia propuesto.

Figura. 72. Plan de Emergencia para la Quebrada El Pedregal.

Fuente: Elaboración Propia

4.3.6 Plan de Rehabilitación y Recuperación

El Plan de Rehabilitación y Recuperación tiene la finalidad de corregir o reparar los impactos o problemas generados para la posterior recuperación después de la ocurrencia del huaico y tendrá mayor oportunidad del éxito siempre y cuando, se lleve a cabo de manera oportuna y apropiada. Se describe de la siguiente manera:

- ❖ Respecto a las medidas estructurales y no estructurales se establece el Diagnóstico, análisis, evaluación y propuestas de mejoramiento que se describen a continuación :

-Diagnóstico: Es una determinación realista de la situación post evento de la zona de estudio y sobre cómo la población ha reaccionado ante la ocurrencia del evento de huaico, identificando, definiendo, localizando y recolectando información de problemas y la cuantificación de posibles daños sociales y ambientales como pérdida de vidas humanas, alteraciones en la salud, enfermedades físicas y psicológicas, contaminación y destrucción del hábitat, y posibles daños económicos como viviendas u obras de mitigación existentes afectados (barreras dinámicas, diques, muros de contención) , cierre de carreteras y corte de servicios públicos afectados .

-Análisis: Involucra una estrecha interrelación entre los especialistas del plan, la Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica , entidades del rol técnico asesor y la población con el objetivo de transmitir el resultado del diagnóstico que se ha realizado en la quebrada, se analiza la eficacia, efectividad y el funcionamiento de las medidas estructurales y no estructurales post evento, así como el comportamiento de la población durante y después del huaico, el grado de concientización respecto al alto riesgo de la zona y la aceptación de la población respecto al plan implementado.

-Evaluación: El grupo de especialistas del plan se encargará de considerar las conclusiones del análisis previo, de evaluar las pérdidas actuales y proyectadas, es decir en los escenarios con y sin el Plan de Gestión Integral, determinar los indicadores de rentabilidad económica y social del plan y formularan las posibles modificaciones o mejoramientos de las medidas estructurales y no estructurales. Con respecto de la evaluación económica, se considerará la cuantificación de daños con y sin el " Plan de Gestión Integral " y se determinará el costo de los daños (información fidedigna con la que no se cuenta en la actualidad para la quebrada El

Pedregal). Se realizará mediante un estudio de especialistas como economistas e ingenieros peritos que gestionaran el Plan de Rehabilitación y Recuperación y valorizarán los daños generados post evento. Con ayuda de esta información se determinarán los indicadores económicos del plan (VAN, TIR, beneficio / costo).

Respecto a la evaluación social y ambiental, lo realizaran especialistas como sociólogos, economistas e ingenieros ambientales que gestionaran el Plan de Rehabilitación y Recuperación y empleando la información obtenida de la cuantificación de daños realizado post evento, se determinarán los indicadores sociales del plan (VAN social, TIR social, beneficio/ costo) considerando un enfoque social de riesgo por ocurrencia de huaico. Estos indicadores contribuirán con la mejora continua del plan.

-Propuestas de mejoramiento: Considerando la información de la evaluación precedente, los especialistas que gestionan el plan definirán las modificaciones o mejoras de las medidas estructurales y no estructurales.

- ❖ Considerando la incertidumbre de la ocurrencia de huaicos, se ha contemplado en el Plan de Rehabilitación y Recuperación, la implementación de las medidas de reconstrucción y mantenimiento de muros y dique de concreto ciclópeo, el mantenimiento de las barreras dinámicas y la limpieza adecuada del cauce. Se aclara que si no es necesario ejecutar estas actividades podrán convertirse en deductivo del plan.
- ❖ Se establece la intervención de los actores responsables del cumplimiento del Plan de Rehabilitación y Recuperación, estableciendo los roles: financiero, técnico asesor, ejecutor y promotor, pudiendo ser entidades públicas o privadas que actuaran de manera conjunta e integrada con el apoyo de la población.
- ❖ Se considera los recursos necesarios para facilitar la puesta en marcha del plan entre los cuales se encuentra documentación, mano de obra, maquinarias, equipos y materiales de construcción.

En la figura 73 se muestra el contenido del plan.

Figura. 73. Plan de rehabilitación y recuperación
Fuente: Elaboración Propia

4.3.7 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo estará a cargo de un equipo especializado que realice el seguimiento, la gestión, administración y coordinación de los cuatro subplanes: de Acciones de Prevención, de Emergencia y de Rehabilitación y Recuperación. Su objetivo del Plan de Monitoreo es verificar, evaluar y controlar que todos los planes sean ejecutados de manera correcta, según lo programado, gestionar la coordinación interinstitucional requerida y estar en constante coordinación con los participantes del Plan de Gestión Integral, observando los resultados logrados desde su implementación .

Una herramienta útil que formará parte del Plan de Monitoreo será el proceso de análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) el cual permitirá discutir, analizar , evaluar la situación de las actividades que se están realizando, verificar que los integrantes del plan participen y cumplan con sus roles asignados (rector, financiero, asesor, ejecutor y promotor), analizar e identificar los elementos positivos y negativos del Plan de Gestión Integral a partir de su implementación, etc.

El FODA se realizará post evento para evitar analizar parcialmente el plan y poder efectuar un análisis de la prevención, emergencia y rehabilitación en su totalidad para corregir las fallas y contribuir a la mejora continua, el logro del plan y objetivos propuestos.

En la figura 74, se muestra un esquema del plan de monitoreo para la quebrada El Pedregal.

Figura. 74. Plan de rehabilitación y recuperación
Fuente: Elaboración Propia

4.3.8 Presupuesto del Plan

El presupuesto de plan alcanza un monto total de S/. 4,049,089.96 como se resume a continuación en la tabla 65.

Tabla 65:

Presupuesto resumen del Plan

PRESUPUESTO RESUMEN DEL PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL PARA REDUCIR LOS DAÑOS OCASIONADOS POR HUAICOS, QUEBRADA EL PEDREGAL, CHOSICA		
DESCRIPCIÓN		COSTO TOTAL (S/.)
1	PLAN DE ACCIONES DE PREVENCIÓN	1,702,171.83
1.1	MEDIDAS ESTRUCTURALES	1,444,901.83
1.1.1	Implementación de dos barreras dinámicas	1,364,184.32
1.1.2	Incorporación de sensores al Sistema de Alerta Temprana	52,510.00
1.1.3	Limpieza adecuada del cauce	28,207.51
1.2	MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	257,270.00
1.2.1	Fortalecimiento de la Institucionalidad Local y cofinanciamiento para el Plan de Gestión Integral	13,370.00
1.2.2	Capacitación de una cultura de resiliencia	81,300.00
1.2.3	Capacitación de seguridad y salud	93,300.00
1.2.4	Concientización sobre el cumplimiento de la faja marginal	69,300.00
2	PLAN DE EMERGENCIA	195,896.73
2.1	MEDIDAS ESTRUCTURALES	21,646.73
2.1.1	Limpieza adecuada del cauce	13,212.41
2.1.2	Restablecimiento del tránsito	8,434.32
2.2	MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	174,250.00
2.2.1	Aplicación de Actividades de Emergencia	174,250.00
3	PLAN DE REHABILITACIÓN Y RECUPERACIÓN	617,363.61
3.1	MEDIDAS ESTRUCTURALES	605,713.61
3.1.1	Diagnóstico, análisis, evaluación y propuestas de mejoramiento de medidas estructurales	27,150.00
3.1.2	Reconstrucción y mantenimiento de dique concreto ciclópeo	207,428.76
3.1.3	Mantenimiento y reparación de las barreras dinámicas N°01 - N°06	288,133.75
3.1.4	Reconstrucción y mantenimiento de muros de contención	60,200.41
3.1.5	Limpieza adecuada del cauce	22,800.69
3.2	MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	11,650.00
3.2.1	Diagnóstico, análisis, evaluación y propuesta de mejoramiento de las medidas no estructurales	11,650.00
4	PLAN DE MONITOREO	916,000.00
4.1	MEDIDAS NO ESTRUCTURALES	916,000.00
4.1.1	Administración y Coordinación del Plan de Gestión Integral	916,000.00
SUB TOTAL		3,431,432.17
IGV (18%)		617,657.79
TOTAL		4,049,089.96

Fuente: Elaboración Propia

El detalle del presupuesto de cada una de medidas estructurales y no estructurales del presupuesto se muestra en el anexo 28.

4.3.9 Cronograma de ejecución del Plan

En el anexo 29 se detalla el cronograma valorizado del plan, en el cual se incluye las actividades a seguir en cada una de las etapas, su duración y su programación en el tiempo.

- ✓ El Plan de Gestión Integral está estructurado para un periodo de 5 años.
- ✓ El Plan de Acciones de Prevención se elaboró para los periodos comprendidos entre los años 2021– 2025.
- ✓ Para el Plan de Emergencia se consideró un periodo de 7 días de emergencia por el evento de huaico.
- ✓ El Plan de Rehabilitación y Recuperación se consideró un periodo de 1 año dentro del periodo de 5 años de duración del Plan de Gestión Integral
- ✓ Para el Plan Monitoreo se consideró un periodo de 5 años.

Es importante tomar en cuenta que no es posible establecer fechas exactas para la ejecución de los planes de Emergencia, Rehabilitación y Reconstrucción ya que su implementación depende de la ocurrencia del huaico y se desconoce cuándo se presentarán con exactitud. Es por este motivo que sus cronogramas podrán ser modificados dependiendo de la fecha en que ocurra el evento.

El detalle de los cronogramas de las medidas estructurales se presenta en el anexo 30 para determinar la duración de cada una de ellas.

5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En los siguientes numerales del presente capítulo se validan y discuten los resultados, aplicando técnicas y herramientas planteadas y recomendadas por los expertos.

5.1 Verificación de Resultados

En el presente numeral, se realiza la validación del Plan de Gestión Integral con la finalidad de determinar su viabilidad y fiabilidad para su implementación a través del método de juicio de expertos. Asimismo, se realiza una evaluación económica para verificar la viabilidad y factibilidad de la inversión del Plan de Gestión Integral. Por último se presenta la validación del contenido del plan bajo el cumplimiento de la normativa vigente respecto a la Gestión de Riesgo de Desastres y el uso de herramientas modernas de ingeniería.

5.1.1 Validación mediante el método de Juicio de Expertos

Para determinar la viabilidad y fiabilidad para la implementación del Plan de Gestión Integral se emplea el método de juicio de expertos que se define como una “ opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, y que pueden dar información, evidencia, juicios y valoraciones ” (Escobar y Cuervo, 2008) .

Existen varios métodos para la obtención de juicios de expertos, en este caso se aplicará el Método Delphi, el cual utiliza el juicio de expertos para verificar la fiabilidad de una investigación y permite recibir información confiable para la toma de decisiones (Reguant y Toledo, 2016). El método Delphi es una técnica versátil, ya que se basa tanto en la experiencia y el conocimiento de los participantes que por lo general son expertos en el tema a tratar. Es un proceso iterativo, en el que los expertos son sometidos individualmente a una serie de rondas de preguntas. Cada ronda se basa en los resultados de la consulta previa con el objetivo de inducir a un consenso final (Somerville ,2008).

Para la validación se consideró necesario realizar dos rondas. Inicialmente la primera ronda consistió en un cuestionario redactado de forma general en el que 5 expertos nos brindaron sus comentarios u observaciones, a través de reuniones individuales, para mejorar el estudio. Para la última ronda, tomando en cuenta los comentarios iniciales de la primera ronda, se reestructuró el cuestionario general en una encuesta final con preguntas más específicas

sobre las medidas y el contenido del plan, y se entregó de manera física y virtual, junto con el borrador de la tesis a los 5 expertos iniciales y se adicionó a 4 nuevos expertos que respondieron la encuesta señalada. Finalmente, al observar un consenso de las opiniones de los 9 expertos, se procedió a realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos. Se procedió a recolectar los datos de los 9 profesionales que tengan experiencia en el área de estudio. En la tabla 66 y 67 se muestra el resumen de la información básica de cada experto participante de la primera y segunda ronda.

Tabla 66:

Resumen de información básica de expertos participantes de la primera y segunda ronda

Expertos	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5
	Wilfredo Echevarría Suárez	Mario Bulnes Paico	Rocío Barrantes Huamaní	Marisa Silva Dávila	Willian Sánchez Verástegui

Especialización y Experiencia Laboral	Director Unidad Ejecutora Modernización de los Recursos Hídricos . ANA	Consultor de Ing. Residente en Obras en Base a la Ley de Contrataciones del Estado	Maestría en Técnicas de Gestión Ambiental	MSC. En ciencias con mención en Hidráulica	Ingeniería de Recursos Hídricos
	Director de estudios de proyectos Hidráulicos - ANA	Consultor Externo-Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo Social	Especialización en Gestión Pública	PHD en Recursos Hídricos	Especialización en Geomática y Modelación física reducida en Hidraulica
	Director Conservación y Planeamiento de los recursos hídricos - ANA , Especialista en Planes de Gestión Tacna	Trabajo en el MTC ,Convenio Unops, Seguro Social de Salud , Gobierno Regional de Junín , Instituto Nacional de Infraestructura de Educación y Salud y en el Ministerio de Vivienda Construcción y Vivienda	Diplomado en Formulación y Evaluación de Proyectos	Investigadora en Modelos Hidráulicos asociados con el diseño, construcción y operación de estructuras hidráulicas.	Consultor externo, ciudades sostenibles- INDECI, área de Hidrología
	Especialización en cambio climático , gestión de recursos , evaluación de riesgo, administración, supervisión y ejecución de obras		Pregrado en la Universidad Mayor de San Marcos	Asesora y consultora en Hidrología, Hidráulica, Modelamiento de sistemas y Evaluación Ambiental. Y autora de publicaciones técnicas y ponente en congresos nacionales e internacionales	Consultor en Estimación de Riesgo de Desastres - Área de Hidráulica e Hidrología - Proyectos inmobiliarios e industriales

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 67:

Resumen de información básica de expertos participantes de la segunda ronda

Expertos	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9
	Roger Hidalgo García	Victor Rimach Villanueva	José García Muñoz	Leonardo Castillo Navarro

Especialización y Experiencia Laboral	Maestría en Ingeniería Hidráulica	MBA en la Universidad Nacional de Piura	Estudios de Ingeniería Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería	Especialización en Hidráulica , Hidrología y Drenaje
	Entranamiento en el uso de información de peligros naturales en la preparación de proyectos de inversión	Miembro del PMI	Postgrado en Hidrología General y Aplicada Escuela de Hidrología de Madrid	Maestría en Recursos Hídricos
	Jefe del Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno del Niño	Especialista en proyectos de Descolmatación	Ingeniero residente en proyectos de defensa ribereñas , descolmatación , tunel de aducción	Consultor en proyectos de ingeniería hidráulica, hidrología y drenaje en carreteras
	Consultor hidráulico en proyectos de desarrollo agrícola, vial, minero, gestión de riesgo de desastres	Residente de proyectos Talara para protección de lluvias. Encargado de proyecto Trasvase Laguna Parón		Doctorado en Ciencias con mención en Energética

Fuente: Elaboración Propia

En el anexo 31 se muestra las encuestas respondidas de la última ronda por los 9 expertos, en el que se obtuvo la homogenización de datos. Asimismo los comentarios de los expertos fueron considerados para la mejora continua de la presente tesis.

Para obtener una mejor percepción, se procedió recurrir a medidas estadísticas como el promedio y desviación estándar (tabla 68). El criterio decisorio que se considera en la

investigación para mantener las preguntas de la encuesta es que el porcentaje de respuestas del promedio de la tabla de valoraciones debe ser superior al 75%. De acuerdo a la escala considerada del 1 al 5 el índice que representa es 3.75 puntos. En caso que el promedio de la respuestas sea menor a 3.75, la pregunta se reevalúa y se analiza la respuesta nuevamente.

Tabla 68:

Análisis estadísticos de juicio de expertos

PREGUNTAS	IDEAL	EXPERTOS									PROMEDIO	%	DESVIACIÓN ESTANDAR
		Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6	Exp. 7	Exp. 8	Exp. 9			
Pregunta 1	5	5	5	5	5	4	4	5	5	4	4.67	93%	0.500
Pregunta 2	5	4	4	5	5	4	4	4	4	5	4.33	87%	0.500
Pregunta 3	5	4	4	5	5	4	4	4	5	4	4.33	87%	0.500
Pregunta 4	5	4	5	5	5	4	4	5	3	5	4.44	89%	0.726
Pregunta 5	5	4	4	5	5	5	5	4	5	5	4.67	93%	0.500
Pregunta 6	5	5	4	5	5	4	4	5	5	5	4.67	93%	0.500
Pregunta 7	5	4	5	5	5	4	2	5	4	5	4.33	87%	0.986
Pregunta 8	5	5	4	5	5	4	4	5	3	3	4.22	84%	0.833
Pregunta 9	5	5	5	5	4	4	3	5	5	5	4.56	91%	0.726
Pregunta 10	5	5	4	5	4	5	5	5	4	5	4.67	93%	0.500
Pregunta 11	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	4.78	96%	0.441
Pregunta 12	5	5	4	5	4	4	4	4	5	4	4.33	87%	0.500
PROMEDIO											4.50	90%	0.601

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 75 se observa el promedio de valoración de las respuestas de cada experto.

Figura. 75. Valoración promedio de Expertos
Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados obtenidos en la tabla y figura precedentes se puede observar que el promedio es 4.50 (mayor a 3.75) y la desviación estándar es 0.601 (menor a 1). Alcanzando la opinión favorable de cada experto que representa un promedio de 90 % (sobre 100 %) del valor máximo. Este resultado demuestra la conformidad por parte de los 9 profesionales y contribuye a la verificación de la fiabilidad para la implementación del Plan de Gestión Integral.

5.1.2 Validación mediante evaluación económica

Se realiza una evaluación económica para verificar la viabilidad y factibilidad de la inversión del Plan de Gestión Integral, para ello se calcula los siguientes indicadores de rentabilidad: Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), así como el Beneficio/Costo.

Según el MEF (2011) el Valor Actual Neto (VAN) es el valor presente de los beneficios netos que genera una determinada inversión o proyecto a lo largo de su vida útil. Los criterios de evaluación a considerar son:

Si el VAN es < 0 , se rechaza el plan, si el VAN es $= 0$, el plan es indiferente y si el VAN es > 0 , se acepta el plan.

Por otro lado, el indicador Tasa Interna de Retorno (TIR), se define como la tasa porcentual que indica la rentabilidad promedio anual que genera el capital invertido en un determinado proyecto. La TIR es comparada con una tasa de retorno de referencia o tasa mínima de retorno aceptable o que se espera por el proyecto, es decir el costo de oportunidad de capital (COK) (MEF, 2011). Se debe considerar el siguiente criterio de evaluación:

Si la TIR $<$ a la tasa mínima de retorno que se espera del plan, se rechaza; si la TIR $=$ a la tasa mínima de retorno que se espera, el plan es indiferente y por último si la TIR $>$ a la tasa mínima de retorno que se espera, el plan se acepta (MEF, 2011)

Por último el indicador Beneficio/ Costo (B/C) se define como el cociente que resulta de dividir el valor actual de los beneficios y el valor actual de los costos del proyecto. Este índice representa la rentabilidad o pérdida que tiene un proyecto por cada unidad monetaria invertido en él (MEF, 2011). El criterio decisorio a considerar es el siguiente:

Si la relación B/C es < 1 , se rechaza el plan, si la relación B/C es $= 1$, la decisión de invertir es indiferente y si la relación B/C es > 1 , se acepta.

Asimismo, para la presente evaluación económica es importante la estimación del costo de los daños futuros ante la ocurrencia de posibles eventos de huaicos. Según Abad (2009) el gobierno atribuyó costos de la catástrofe de 1987 en Chosica equivalentes a 12.5 millones de dólares. Por otro lado, CENEPRED (2015) indica que se puede asumir “la probabilidad de que el costo de los daños y reparaciones en un sitio sobrepase una cifra de un millón de nuevos soles como consecuencia de por lo menos un evento en los próximos cincuenta años”. Frente a estas estimaciones, al no tener datos fidedignos sobre la cuantificación y costo de los daños de huaicos pasados ocurridos exactamente en la quebrada El Pedregal y puesto que evaluar pérdidas o daños futuros es algo incierto, en la presente evaluación económica se considerará la estimación que presenta CENEPRED.

Para la evaluación económica, se comparará dos alternativas con la finalidad de verificar cuál de ellas presenta mejores indicadores de rentabilidad y de inversión:

- ✓ Alternativa 1: “Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos quebrada El Pedregal”.

Se ha considerado el costo de la implementación de las medidas estructurales y no estructurales establecidas en el Plan, equivalente a S/. 4, 049,089.96.

- ✓ Alternativa 2 : “Plan Maestro sobre el proyecto de prevención de desastres en la cuenca del Rio Rímac, por JICA – Presa SABO”

Se ha considerado el costo de la implementación de la infraestructura (Presa SABO) de compensación, servicio de ingeniería y administración del gobierno, y contingencias (gestión del proyecto) equivalente a un monto proporcional a S/. 4, 814,042.55.

Ambas alternativas cuentan con medidas estructurales y no estructurales, cumplen con la misma meta cuantitativa (14500 m³ de retención de material de huaico en 5 eventos), están ubicadas en la misma zona (ubicación de Barrera N°06 propuesta) pero poseen diferentes tecnologías como medida estructural. El detalle de las fórmulas y cálculo de la evaluación

económica de la alternativa 1 y 2 se muestra en el anexo 32. Los resultados de la evaluación económica 1 se presentan en la siguiente tabla 69.

Tabla 69:

Resultados de Evaluación Económica de Alternativa 1: Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos quebrada El Pedregal.

ALTERNATIVAS	VAN (4%)	TIR
ALTERNATIVA 1	482,901.61	9.53%

DETERMINANDO BENEFICIO COSTO

ALTERNATIVA Nº 1

VAN BENEFICIOS	4,392,603.12
VAN COSTOS	3,909,701.50
RELACION BENEFICIO COSTO	1.124

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la evaluación económica de la alternativa 2 se presentan en la siguiente tabla 70

Tabla 70:

Resultados de Evaluación Económica de Alternativa 2: Plan Maestro sobre el proyecto de prevención de desastres en la cuenca del Rio Rímac, por JICA – Presa SABO

ALTERNATIVAS	VAN (4%)	TIR
ALTERNATIVA 2	-421,439.43	1.13%

DETERMINANDO BENEFICIO COSTO

ALTERNATIVA Nº 2

VAN BENEFICIOS	4,392,603.12
VAN COSTOS	4,814,042.55
RELACION BENEFICIO COSTO	0.912

Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados precedentes de ambas alternativas, se determina que el Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos (Alternativa 1) es el elegido por presentar mejores indicadores de rentabilidad: VAN = 482,901.61 , TIR = 9.53% y B/C = 1.124 , con lo cual se verifica la viabilidad y factibilidad de la inversión del Plan de Gestión

Integral en el marco de los indicadores considerados de rentabilidad, por lo que se considera como un proyecto de inversión posible de ser financiado por el MEF.

De este modo, en la presente evaluación se observa que es probable que implementando el Plan de Gestión Integral en la quebrada el Pedregal se estaría invirtiendo S/. 4, 049,089.96, pero ahorrando un costo de daños aproximado de S/. 5 millones a más (dependiendo de los daños futuros que se produzcan en la zona de estudio ante la ocurrencia de huaicos).

5.1.3 Validación en base a la normativa vigente y el uso de herramientas de ingeniería

La validación del contenido del plan se realiza bajo el cumplimiento de la normativa vigente como leyes, reglamentos, guías técnicas y planes estratégicos a nivel macro respecto a la Gestión Integral y Gestión de Riesgo de Desastres. El contenido del plan se enmarca dentro de los lineamientos que se muestran a continuación en la tabla 71:

Tabla 71:

Detalle de lineamientos que el Plan de Gestión integral cumple en su contenido

LEYES, REGLAMENTOS, GUÍAS TÉCNICAS Y PLANES ESTRATÉGICOS	DETALLE
GESTIÓN INTEGRAL	
Plan Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) , aprobado mediante Decreto Supremo N°013-2015-MINAGRI	Al planificar y formular medidas estructurales y no estructurales e incorporar la planificación de emergencias para huaicos como parte del contenido del Plan de Gestión Integral, se cumple con las acciones propuestas en el PNRH, en su Eje de Política 5: Adaptación al cambio climático y eventos extremos; estrategia de intervención 11: Gestión del riesgo por eventos extremos; programa 29 denominado: Gestión de los riesgos de inundación, huaicos y deslizamientos.
GESTIÓN DE RIESGO DE DESASTRES (GRD)	
Ley N° 29664, Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres	El contenido del Plan se ha formulado considerando: - Los componentes de la GRD; mediante el establecimiento de las 3 etapas del plan (antes, durante y después del huaico) y las medidas establecidas para cada etapa, así se cumple con la gestión prospectiva, correctiva y reactiva establecidas en la Política Nacional de la GRD. - Procesos de la GRD; mediante la estructura del plan (plan de acciones de prevención, plan de emergencia, plan de rehabilitación y recuperación), se cumple con los 7 procesos de la GRD.

Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - SINAGERD	El contenido del Plan presenta acciones que serán implementadas por entidades públicas y privadas y la población, de esta manera se cumple con el establecimiento de dichos participantes en los procesos de la GRD según lo que establece la ley N° 29664.
Plan Nacional de Gestión de Riesgos de Desastres (PLANAGERD), aprobado mediante Decreto Supremo N°34-2014-PCM	El contenido del Plan esta alienado con el objetivo principal del PLANAGERD referido a la reducción de la vulnerabilidad de la población ante el riesgo de desastres.
“Guía Metodológica para formulación de Planes de Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres a nivel cuenca”, metodología CENEPRED.	Los procedimientos que se llevaron a cabo en los capítulos precedentes para la elaboración del Plan se realizan bajo el cumplimiento parcial de los procedimientos metodológicos que CENEPRED sugiere en la guía.
Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos y “Ordenanza que prohíbe la construcción de viviendas, habilitaciones urbanas y similares en las fajas marginales del río Rímac, quebradas y riberas ubicadas en el distrito de Lurigancho”	La medida no estructural de prevención: “Concientización de la población sobre el cumplimiento de la Faja Marginal”, establecida en el Plan de Acciones de Prevención que forma parte del contenido del Plan, está enmarcado y orientado a contribuir con el cumplimiento del artículo 110 del Reglamento de la Ley N° 29338 y la Ordenanza que prohíben el uso de las fajas marginales para fines de asentamiento humano.

Fuente: Elaboración Propia

De igual modo, la validación de los procedimientos para la elaboración y contenido del plan se realizó mediante el uso de herramientas modernas de ingeniería, entre los más resaltantes se mencionan:

- El software DEBFLOW que es recomendado y considerado por la empresa suiza GEOBRUGG en base a su experiencia. Esta herramienta permitió comprobar el predimensionamiento propuesto de las barreras dinámicas N°05 y N°06, comprobar la estabilidad de las barreras frente a la aparición de cargas dinámicas y estáticas durante el proceso de llenado y el desbordamiento del huaico y la comprobación de los volúmenes de retención estimados.
- El software ArcGIS, herramienta de ingeniería que contribuyó a la determinación de los parámetros geomorfológicos de la subcuenca de la quebrada El Pedregal como parte del estudio hidrológico para la identificación y caracterización de la zona.

- El software HEC- HMS herramienta de ingeniería empleado para realizar la simulación de hidrogramas para la determinación de caudales máximos de la subcuenca El Pedregal, así como el cálculo del caudal máximo en el punto de calibración como parte del estudio hidrológico para la identificación y caracterización de la zona.
- El software Microsoft Excel empleado para el desarrollo los cálculos, tablas y gráficos descritos en capítulos precedentes de la presente tesis.
- Software S10 y Ms Project herramientas de ingeniería empleados para la elaboración de presupuestos y cronogramas de las medidas estructurales del plan respectivamente.
- Software AutoCAD y AutoCAD Civil 3D herramientas de ingeniería empleados para la elaboración de todos los planos que han complementado y fortalecido el estudio de la quebrada El Pedregal y el establecimiento de las medidas estructurales en el Plan de Gestión Integral de la presente tesis.

5.2 Discusión

En el presente numeral, se analiza, se interpreta y se discuten los resultados encontrados y se enfatiza en aquellos aspectos importantes y/o novedosos de la investigación.

Los resultados obtenidos en la presente investigación pretenden revertir la problemática existente en la quebrada El Pedregal, mediante la implementación de medidas estructurales y no estructurales que conforman el Plan de Gestión Integral. Las medidas fueron formuladas como solución en base a las causas secundarias que componen las causas primarias de la vulnerabilidad y que por lo tanto son generadoras del alto riesgo de la zona. Por ellos al ser implementadas las medidas contribuirán a reducir los daños ocasionados por huaicos. A continuación se presentan los resultados y su discusión:

- ✓ **Causa Primaria:** Déficit de medidas de prevención y mitigación e inadecuada planificación por ocurrencia de huaicos
- **Causa Secundaria:** Déficit de obras de mitigación por ocurrencia de huaicos.

En primer lugar se analizó el funcionamiento y el estado actual de las obras construidas hasta la fecha en la quebrada El Pedregal ante los huaicos ocurridos. Respecto a las obras construidas en el cauce se determinó que los diques de mampostería ya cumplieron su labor disipadora, han fallado en su totalidad y se encuentran destruidos. También se verificó que el dique de concreto ciclópeo se encuentra en funcionamiento y se espera que contribuya a disipar parte de la energía y almacenar material de futuros huaicos, y por último se determinó que las barreras dinámicas instaladas cumplieron su función de retención de material y disipación de energía, actualmente se encuentran aptas para su funcionamiento. No obstante, debido a los daños generados en el último evento del 2017, confirmados mediante visitas de campo, entrevistas a la población y las noticias post evento, se identificó la insuficiencia de infraestructura para mitigar futuros huaicos.

Posteriormente, se hizo un análisis comparativo de cuatro obras de mitigación (diques de mampostería, el dique de concreto ciclópeo, barrera dinámica y la Presa SABO) con la finalidad de seleccionar una de las alternativas para dar solución a esta causa secundaria. Se comparó el costo de implementación, la capacidad de retención de material, el estado actual y características técnicas de las cuatro obras de mitigación, resultando que la barrera dinámica presenta el menor costo de S/ 106 por cada m³ de volumen de material de huaico retenido. Además presenta características de construcción más prácticas, viables y rápidas por requerir menor tiempo y menor presencia de agua para la ejecución. En su funcionamiento, destaca su característica drenante, que permite que el depósito de materiales aguas arriba de la barrera disminuya sus presiones y que su tiempo de secado tenga mayor rapidez contribuyendo con la disipación de la energía con mayor eficiencia. Otra característica resaltante es su flexibilidad, ya que una vez que la estructura se colmate, el material rocoso excedente se desbordará y pasará por encima de la barrera dinámica sin causar el deterioro del talud aguas abajo a diferencia de los diques de concreto ciclópeo o mampostería y la presa SABO que son obras que se deterioran por el impacto de las rocas por su carácter rígido. Además de su reconocimiento internacional y mediante las entrevistas realizadas en campo a la población, se verificó que las barreras dinámicas son aceptadas como mejor tecnología ejecutada hasta el momento en la quebrada.

Por lo descrito, se selecciona la barrera dinámica como la mejor alternativa. Adicionalmente, se predimensionó y se estimó el número de barreras nuevas a implementarse (2) y fueron corroboradas según la estimación del volúmenes de producción mediante fórmulas empíricas de JICA y volúmenes de retención calculados para un futuro huaico. Mediante el software DEBFLOW fue aprobado el predimensionamiento propuesto y comprobado la estabilidad de las barreras frente a la aparición de cargas dinámicas y estáticas durante el proceso de llenado y el desbordamiento del huaico así como los volúmenes de retención estimados. En la siguiente tabla 72 se presentan los resultados estimados y obtenidos por el software DEBFLOW.

Tabla 72:

Resultados estimados y obtenidos por el software DEBFLOW

BARRERA	DIMENSIÓN PROPUESTA	TIPO DE BARRERA PROPUESTA	VOLUMEN DE RETENCIÓN ESTIMADO (m³)	VOLUMEN DE RETENCIÓN DEBFLOW (m³)	SAFETY FACTOR DEBFLOW	COMPROBACIÓN DEBFLOW
N° 05	B1= 15, B2= 25, h=6m	GEOBRUGG UX 180 - H6	1338	1357	1.87	CUMPLE
N° 06	B1= 12 , B2= 24, h=6m	GEOBRUGG UX 180 - H6	1600	1758	1.93	CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia

Cabe recalcar que así como el software DEBFLOW, también existe otra herramienta de cálculo llamado FLOW 2D, que a diferencia del anterior, este realiza un análisis bidimensional del flujo de escombros. Sin embargo, se empleó el software DEBFLOW debido a que la ANA, utilizó esta herramienta oficial de dimensionamiento recomendado por los especialistas de GEOBRUGG para la construcción de las cuatro barreras ejecutadas.

Tomando en cuenta lo discutido en párrafos precedentes se determina que la implementación de dos nuevas barreras (N°05 y N°06) dará solución a la insuficiencia o déficit de medidas de obras de mitigación existente en la quebrada El Pedregal, es así que esta medida estructural fue establecida en el plan de Acciones de Prevención del Plan de

Gestión Integral. Adicionalmente se instalará en la barrera N°03 y N° 06 sensores de alerta temprana para la evacuación de la población minutos antes de que el huaico llegue a la zona urbana de la quebrada.

- **Causa Secundaria:** Falta de concientización sobre cómo actuar antes, durante y después del evento

Se ha verificado que los pobladores no están preparados para responder adecuadamente en caso de la ocurrencia de un huaico ya que durante el evento se alertan entre ellos y salen de sus viviendas desesperados y estresados buscando lugares altos para protegerse sin llevar a cabo ningún proceso de evacuación. Por otro lado, la información sobre el Sistema de Alerta Temprana piloto instalado no fue difundida a la población de manera apropiada y los especialistas aún están verificando su funcionamiento mediante la relación existente entre el huaico y las precipitaciones cada año.

En base a lo analizado, se establece la capacitación de una cultura de resiliencia como una medida no estructural en el plan de Acciones de Prevención, para fortalecer la capacidad de los pobladores de manera individual y colectiva de resistir, responder, recuperarse, reorganizarse y adaptarse ante la situación de desesperación, crisis o adversidad que provoca la ocurrencia de huaicos. Si bien el grupo de Red de Líderes Resilientes de la Cuenca del Río Rímac ha realizado a nivel macro (Chosica), charlas informativas sobre comunidades resilientes, no fueron difundidas a la mayoría de los pobladores de la quebrada como se verificó en las entrevistas. Mientras que la medida propuesta al implementarse periódicamente a nivel micro, contribuirá al desarrollo progresivo de una cultura de resiliencia, en lo posible, en cada uno de los pobladores de la quebrada.

De igual manera se establece como otra medida no estructural del plan de Acciones de Prevención, las capacitaciones en seguridad y salud, conformadas por charlas informativas sobre el plan, el funcionamiento de la incorporación de sensores al actual Sistema de Alerta Temprana piloto, la preparación hacia zonas de evacuación, capacitación sobre actividades e implementos de emergencia y salud, etc. Con lo cual, se contribuirá a la diseminación más eficiente de las alertas, la generación del compromiso

y conciencia y la preparación constante de los pobladores para actuar adecuadamente antes, durante y después de la ocurrencia de un huaico.

Asimismo como ya fue mencionado, se establece como medida estructural del plan de Acciones de Prevención, la incorporación de sensores de alerta temprana, en las barreras dinámica N°03 y N°06, que alertaran a la población aproximadamente 10 minutos antes de que el huaico llegue a la zona urbana para la evacuación. Mediante esta medida se busca establecer un SAT más efectivo y oportuno, porque los sensores de alerta estarán aptos las 24 horas para emitir la señal de alerta de manera directa, rápida y con mayor certeza ahorrando y ofreciendo más tiempo a los pobladores para evacuar ante la ocurrencia de un evento.

Un aspecto importante a resaltar sobre esta medida, es que en caso de que ocurriera un huaico en horario nocturno o en la madrugada, para alertar solo sería necesario que el flujo de escombros excedente pase por encima de la barrera colmatada N°03 y empuje el vernier sensor hasta su límite para que rápidamente el sensor emita la señal que a través de la antena, será captada por el software de procesamiento de alerta que este a su vez, comenzará a llamar y mandar mensajes de alerta a la mayor cantidad posible de celulares o teléfonos de los pobladores, autoridades y representantes de instituciones, brindándoles tiempo necesario para que inicien con las actividades de evacuación, emergencia y respuesta difundidas en las capacitaciones ya descritas en párrafos precedentes. A diferencia del SAT actual que para alertar pasa por diversos procesos como estimar probabilísticamente la ocurrencia de un huaico en función del patrón de precipitaciones de la zona y la saturación del suelo, recibir la información procesada, verificarla en campo con pobladores o serenazgos y recién tomar la decisión de transmitir la alerta; por lo que ante la situación de un huaico ocurrido a horas de madrugada u horario nocturno, es probable que la alerta sería tardía dado que la restricción de horario, oscuridad y peligro impediría la verificación en campo de pobladores y/o serenazgos.

Las medidas descritas se consideran integrales porque al implementar los sensores de alerta y realizar capacitaciones se contribuirá a fortalecer y complementar la etapa de comunicación y respuesta del actual SAT, pudiendo adicionarse equipos o instrumentos de monitoreo que mejoren la alerta. Asimismo, generará mayor participación y rápida

coordinación de todo los actores sociales de la quebrada El Pedregal como la población, las autoridades locales, los especialistas del plan, los encargados del SAT actual, el grupo de Red de Lideres Resilientes de la cuenca del Rio Rímac, entidades públicas y privadas, brigadas voluntarias, etc.

- **Causa Secundaria:** Acciones de mitigación de entidades públicas y privadas aisladas no planificadas e insuficiente financiamiento

Se ha determinado que las acciones de mitigación realizadas en la quebrada El Pedregal hasta la fecha por entidades públicas y privadas están aisladas, debido a que existe una débil articulación entre dichas entidades y la población para coordinar, organizarse y participar en el desarrollo de las acciones, lo que dificultó el logro de resultados eficientes para disminuir el daño generado por huaicos. Además se ha verificado el insuficiente financiamiento por parte del gobierno para la construcción de obras de mitigación de gran envergadura.

En base a lo analizado, se establece como medida no estructural del plan de Acciones de Prevención, el fortalecimiento de la institucionalidad Local y cofinanciamiento para el Plan de Gestión Integral. El desarrollo de esta medida será a través de reuniones periódicas anuales para buscar las posibilidades de cofinanciamiento y para aplicar el concepto de gestión integral, es decir de que cada uno de los participantes del plan, sobre todo los directivos de la población, apliquen sus conocimientos, propongan sus ideas, opiniones, experiencia de buenas prácticas, etc. , y actúen bajo un enfoque articulado, transparente, horizontal, participativo, coordinado y continuo para el logro de las medidas del plan.

Por otro lado, se hizo una evaluación económica de dos alternativas, siendo una de ellas no rentable, mientras que el Plan de Gestión Integral, si es rentable, por lo que se espera que tenga mayor acogida, y pueda ser financiada por las entidades del Estado, de esta manera revertir el insuficiente financiamiento por parte del Gobierno para la construcción de obras de mitigación de huaicos presentando un plan con un sustento de rentabilidad basado en una solución de un problema social.

- ✓ **Causa Primaria:** Ocupación del territorio por parte de la población para establecer sus viviendas en zonas de riesgo

- **Causas Secundarias:** Falta de concientización de pobladores sobre el riesgo de la zona, migrantes que invaden zonas de riesgo y debilidad institucional del gobierno local en el cumplimiento de leyes que prohíben asentamientos en zona de riesgo.

Se ha determinado que gran parte de la faja marginal de la quebrada El Pedregal fue ocupada por pobladores para establecer sus viviendas producto de la migración y la falta de información y concientización sobre el riesgo existente, situación que genera el incremento de la vulnerabilidad y por ende el alto riesgo de la zona. Por otro lado, se percibe una debilidad institucional del Gobierno local en el cumplimiento de leyes y ordenanzas que prohíben asentamientos en zona de riesgo.

Para corregir o revertir progresivamente las causas mencionadas se propone como medida no estructural del plan de Acciones de Prevención, la concientización de la población sobre el cuidado y preservación de la faja marginal de la quebrada El Pedregal, mediante talleres periódicos que ayuden a controlar el aumento de la ocupación total de las áreas de la faja marginal que aún no han sido invadidas, así como a concientizar mancomunadamente a los pobladores y autoridades respecto a la necesidad de reducir los asentamientos sobre la faja marginal para que progresivamente las autoridades competentes alcancen la reubicación de la población a largo plazo. Así se estará contribuyendo y fortaleciendo el cumplimiento de las leyes que prohíben asentamientos en zona de riesgo.

- **Causa Secundaria:** Falta de medios económicos de los pobladores para ubicarse en zonas seguras

La implementación del Plan, generará empleo temporal para las familias más vulnerables mediante su participación en la ejecución de las medidas estructurales del Plan, contribuyendo a que obtengan un mejor ingreso. De esta forma se espera fomentar iniciativas para su traslado o establecimiento en zonas más seguras.

Presentados los resultados obtenidos en la investigación para solucionar la problemática existente en base a la reducción de las causas de la vulnerabilidad, es importante enfatizar y discutir los siguientes aspectos sobre las causas del peligro de la zona:

✓ **Causa Primaria:** Condiciones naturales desfavorables de la quebrada El Pedregal

En la presente tesis se hizo un estudio de caracterización de la quebrada de estudio en el que se analizó y cuantificó aquellas condiciones naturales desfavorables que influyen en la generación de un huaico, entre las cuales se puede enfatizar:

- La ocurrencia del Fenómeno El Niño que son eventos imprevistos y excepcionales y la temporada de lluvias que se produce periódicamente cada año, ambas relacionadas con la generación de constantes y fuertes lluvias que inician procesos de escorrentía superficial y a medida que son constantes y/o se incrementan a fuertes o extraordinarias lluvias, se inicia procesos de saturación, erosión y arrastre abrupto y caótico de materiales talud abajo hacia la zona urbana por el cauce principal de la quebrada. Mediante los valores de precipitación máxima anual en 24 h de cada evento de huaico se ha comprobado que en los eventos de huaicos de los años 1987, 2017 y 1989 se produjeron lluvias extraordinarias; en el huaico de 2015, lluvias muy fuertes y en el huaico 2012, se produjeron lluvias fuertes; verificándose de esta forma la influencia de las precipitaciones o lluvias en la generación de los huaicos.
- La subcuenca presenta pendientes con valores altos, que influyen en la rápida generación de escorrentía, facilitando los desprendimientos de material en menor tiempo y aumentando la velocidad y volumen del flujo transportado. Se determinó que en las laderas más altas de la cuenca de recepción predominan valores de pendientes entre (66 % a 80%). Por otro lado, la pendiente media de la subcuenca es 44%, equivalente a una pendiente fuerte con procesos de deslizamientos intensos y con peligro extremo de erosión de suelos. Mientras que la pendiente del cauce es equivalente a 22%, representa una pendiente moderada con severos procesos de erosión y con procesos de deslizamientos intensos.
- La roca intrusiva Tonalita- Diorita es un tipo de roca granítica ubicada en los cerros de la quebrada El Pedregal como macizo rocoso que presenta procesos de meteorización, alteración y desintegración produciendo roca suelta y suelos (arenas limosas) que se saturan y fluyen fácilmente con las lluvias. Igualmente, el cauce está compuesto por depósitos aluviales y coluviales, presentando suelo clasificado como GP, grava pobremente gradada con presencia de arenas-limosas superficiales, cantos, gravas y bloques de piedra de tamaños diversos hasta 100" aproximadamente. Durante las

precipitaciones, dichos depósitos son propensos a la erosión y a derrumbes locales de sus paredes laterales dando lugar al transporte de materiales en dirección del flujo.

- Respecto a las características de la forma de la subcuenca de la quebrada El Pedregal más resaltantes que se determinaron, se puede mencionar que presenta una forma “oval redonda” con mayor tendencia a las crecientes, con pendientes fuertes.
- Respecto a las características del drenaje, se determinó que presenta un orden de corrientes equivalente a 4, valor que la describe como una subcuenca bastante ramificada que tiende a un mayor desarrollo fluvial y es propensa a crecidas violentas.

Las condiciones naturales desfavorables descritas tienen como resultado diversos escenarios que facilitan la ocurrencia de los huaicos. No obstante, siendo la ocurrencia de huaico un peligro natural impredecible y con periodos de retorno muy variados, no es posible revertir las condiciones naturales desfavorables que influyen en su generación, sin embargo si es posible y factible actuar sobre la vulnerabilidad. Por ello, en base a las causas que genera la vulnerabilidad se han propuesto las soluciones (medidas estructurales y no estructurales) y se establecieron en el Plan de Gestión Integral, que busca la articulación y coordinación de las acciones, recursos y participantes en un todo armónico a fin de alcanzar el objetivo planteado de reducir el alto riesgo de la quebrada El Pedregal, esperando reducir las pérdidas de vidas (de 100 a 0 fallecidos), daños a la infraestructura (de 1000 a 0 viviendas dañadas) y entre otros daños sociales, económicos y ambientales que se generaran a consecuencia de huaicos (como del año 1987).

Por otro lado, es importante enfatizar y discutir los resultados sobre la evaluación económica del “Plan de Gestión Integral para reducir daños ocasionados por huaicos quebrada El Pedregal” con una segunda alternativa proyectada no ejecutada titulada “Plan Maestro sobre el proyecto de prevención de desastres en la cuenca del Río Rímac, por JICA – Presa SABO”. Como ya fue mencionado en el numeral 5.1.3 precedente, se consideró que ambas alternativas cuenten con medidas de mitigación (obras y actividades de gestión de riesgo), cumplen con la misma meta cuantitativa (14500 m³ de retención de material de huaico en 5 eventos), diferenciándose en la tecnología de obras de infraestructura para reducir daños ocasionados por futuros huaicos (barreras dinámicas y Presa SABO) .El resumen de resultados se presenta a continuación en la siguiente tabla 73.

Tabla 73:*Resumen de resultados de Evaluación Económica de Alternativa 1 y 2*

ALTERNATIVAS	VAN (4%)	TIR	B/C
ALTERNATIVA 1: PLAN DE GESTION INTEGRAL	482,901.61	9.53%	1.124
ALTERNATIVA 2: PLAN MAESTRO - PRESA SABO	-421,439.43	1.13%	0.912

Fuente: Elaboración Propia

Comparando los resultados, se observa que la alternativa 2 presenta un indicador de VAN negativo, por lo que estaría fuera del rango permisible para ser aceptado. Por el contrario se observa que la alternativa 1 presenta un indicador de VAN positivo y aceptable. Del mismo modo, se demuestra que el TIR resultante de la alternativa 2 no es aceptable porque generaría menos beneficios que la tasa mínima de retorno que se espera. Mientras que, el TIR resultante de la alternativa 1, es aceptable porque el beneficio real que se obtiene es mayor a la tasa mínima de retorno que se espera. Por último, el indicador B/C de la alternativa 2 es menor a 1 lo que significa que los beneficios son menores a los costos por lo que no es la alternativa más aconsejable de inversión mientras que la alternativa 1 al ser su valor B/C mayor a 1, se demuestra que los beneficios son mayores que los costos representando una mejor alternativa de inversión. En síntesis, se demuestra que la Presa SABO del Plan Maestro presenta indicadores negativos, menores fuera de los rangos permisibles, mientras que el Plan de Gestión Integral es rentable y factible económicamente por presentar indicadores VAN, TIR, y B/C mayores y aceptables por lo que se considera como un proyecto posible de ser financiado por el MEF.

Por último, es preciso resaltar que para la elaboración del plan también se han estudiado conceptos y antecedentes de planes de la GRD así como conceptos y planes con orientaciones más cercanas a la Gestión Integral desarrollados en el Perú a nivel macro. Si bien, existen planes estratégicos a escala nacional, actualmente en las quebradas que son afectadas específicamente por los huaicos, no se dispone de un plan a nivel micro que proporcione información detallada para efectuar medidas estructurales y no estructurales, mediante un enfoque integral de acciones, recursos y actores, que a su vez, considere la prevención, emergencia, rehabilitación y monitoreo para reducir los daños ante la ocurrencia de huaicos. Es así que, el Plan de Gestión Integral es una propuesta nueva que articula la gestión de riesgo de desastres y la gestión integral y según la problemática existente fue adaptada a la realidad de la quebrada El Pedregal.

6 CONCLUSIONES

En este capítulo, se presentan las conclusiones más importantes organizadas respecto a cada objetivo específico y al objetivo general de la presente tesis.

1. Respecto al análisis de la información básica de la quebrada El Pedregal y la cuantificación de las causas naturales se concluye que geológicamente los cerros de la quebrada presentan afloramientos de roca granítica fracturada y meteorizada, que producen superficialmente suelos arenosos limosos y roca suelta, mientras que el cauce de la quebrada se compone de depósitos aluviales y coluviales, conformado por grava pobremente gradada con presencia de arenas-limosas superficiales, bolones y bloques de piedra de tamaños diversos. Topográficamente la quebrada presenta pendientes fuertes, en general con procesos de deslizamientos intensos y con peligro extremo a severo de erosión de suelos, considerándose representativa la pendiente media de la subcuenca 44%. Asimismo, con la ocurrencia de fuertes y constantes precipitaciones, se generan procesos de arrastre de materiales, procesos de saturación y erosión de suelos dando lugar al transporte caótico de material de huaico por el cauce principal hacia la zona urbana.

En el estudio hidrológico, se determinó un caudal máximo equivalente a $10.5 \text{ m}^3/\text{s}$ para un periodo de retorno de 100 años, representando el 33% de agua del huaico mixto/granular. También se determinó que las características de forma (oval redonda, subcuenca con mayor tendencia a las crecientes) y drenaje (número de corriente 4, subcuenca bien drenada propensa a crecidas violentas) constituyen condiciones naturales de la quebrada que son desfavorables ante la generación de huaicos.

Respecto a la estimación de periodos de retorno de los eventos más destructivos se verificó que los huaicos ocurridos en 1987, 1989, 2012, 2015 y 2017 tienen un periodo de retorno de 57, 10, 3, 5, 29 años respectivamente, así también se determinó que en los eventos de los años 1987, 2017 y 1989 se produjeron lluvias extraordinarias, en el evento del año 2015 se produjeron lluvias muy fuertes y en el evento del año 2012, lluvias fuertes; concluyéndose que el flujo de escombros son impredecibles, tienen periodos de retorno muy variados y su ocurrencia es influenciada por lluvias fuertes, muy fuertes y extraordinarias.

Asimismo, el tipo de huaico que se presenta es mixto/ granular, constituido por una mezcla caótica de lodo, gravas, bloques de rocas de diversos tamaños y otros representando el material solido un 67% de esta mezcla.

2. Se analizó la eficacia de las medidas estructurales existentes en la quebrada El Pedregal entre las más resaltantes se tiene:

Tramos de muros de contención que fueron destruidos por el huaico del 2017 debido a la socavación de sus bases y la falta de cumplimiento de especificaciones técnicas. En el 2019 fueron reconstruidos. Se concluye que, para cumplir su función de resistir y dar seguridad a la población con mayor eficiencia, se debe cumplir con el procedimiento correcto que manda el expediente técnico.

Quince diques de mampostería de piedra que colapsaron en su totalidad debido a la socavación, la inadecuada calidad de materiales, e inadecuado curado de concreto por las restricciones de transporte de materiales a la zona y la falta de cumplimiento de especificaciones técnicas, concluyendo que estos factores han generado la mala calidad de la construcción de los diques disminuyendo su periodo de vida útil.

Dique de concreto ciclópeo, el cual no pasó por ningún evento y se encuentra apto para recibir un futuro huaico.

Cuatro barreras dinámicas que actualmente se encuentran aptas para recibir un futuro huaico y forman parte de una nueva tecnología, que han demostrado su característica flexible, dinámica, su capacidad de disipación de la energía del huaico y su facilidad de mantenimiento. Así se concluye que es la tecnología más eficaz construida en la quebrada que ayudo a disipar la energía del huaico del 2017.

Del análisis de las medidas no estructurales se tiene:

La delimitación de la Faja Marginal, que a pesar de que la Ley N° 29338 prohíbe la construcción de viviendas y habilitaciones urbanas, la faja continúa siendo invadida por los pobladores a través de los años, demostrándose la falta de conciencia frente

al riesgo al que están expuestos y la debilidad institucional del Gobierno Local en el cumplimiento de la normativa que prohíbe asentamientos en zona de riesgo.

El actual sistema de alerta temprana piloto, no ha sido difundido a la población en su totalidad y su proceso de verificación en campo de la ocurrencia de huaico para la alerta es ineficiente sobre todo en el horario nocturno, concluyendo que se requiere mejorar este sistema de alerta temprana.

Sobre el análisis institucional se verificó que las entidades públicas y privadas realizan actividades aisladas evidenciando la falta de una planificación integral con objetivos claros, ordenados y coordinados ante la ocurrencia de huaicos.

Del análisis económico se concluye que no hay financiamiento para ejecutar obras de gran envergadura, pero la entidad local puede gestionar planes integrales o proyectos que demuestren su rentabilidad para su financiamiento y ejecución basado en una solución de un problema social.

Sobre el análisis social se determina que actualmente la población carece de planificación y organización adecuada respecto a la ocurrencia de eventos de huaicos debido a su desconocimiento sobre cómo actuar adecuadamente antes, durante y después de la ocurrencia de un evento, por su falta de resiliencia y preparación para responder adecuadamente en caso de la ocurrencia de un huaico.

Se evaluó que la quebrada El Pedregal se encuentra en un nivel alto de peligro, de vulnerabilidad y de riesgo, concluyendo que no es posible evitar o actuar sobre el peligro de la zona, sin embargo, si es posible actuar sobre las causas de la vulnerabilidad.

3. En base a la reversión o mitigación de las causas que generan las condiciones de vulnerabilidad, se formuló y se evaluó alternativas de medidas de prevención y corrección estructurales y no estructurales, para seleccionar, proponer las más adecuadas y establecerlas en un plan.

Respecto a las medidas estructurales de prevención más resaltantes, se desarrolló un análisis comparativo de cuatro alternativas de solución y dado que la barrera dinámica presenta el menor valor de S/ 106 por cada m³ de volumen de material de huaico retenido, mayor capacidad de retención, mejores características de construcción y funcionamiento; debido a que su flexibilidad le permite absorber la fuerza de impacto del huaico, tomar la forma de una semicircunferencia y una vez colmatada, el material rocoso excedente pase por encima de ella y se desmorone en el cauce sin causar daños en su talud aguas abajo; por su reconocimiento internacional y por la aprobación de los pobladores como mejor tecnología implementada, se concluye que es la alternativa más eficiente y apropiada para revertir la insuficiencia o déficit de obras de mitigación de la zona. Por consiguiente, se predimensionó el número de barreras a implementar y según la estimación del volumen de producción y retención para un futuro huaico mediante fórmulas del JICA y según la comprobación y aprobación del software DEBFLOW de dichos cálculos y de la estabilidad de las barreras ante la aparición de fuerzas dinámicas e hidrostáticas, se concluye que la implementación de dos nuevas barreras dinámicas N°05 y N°06 establecidas como medidas estructurales del plan, contribuirán a retener el material excedente y disipar la energía de los próximos eventos de huaicos .

Se establece como otra medida estructural la incorporación de dos sensores de alerta temprana en la barrera N°03 y N°06 que formarán parte del actual Sistema Alerta Temprana piloto y adquirirán la función de alertar a la población aproximadamente 10 minutos antes de que el huaico llegue a la zona urbana, cuando el flujo de escombros excedente pase por encima de la barrera colmatada N°03 y empuje el vernier sensor hasta su límite lo cual generará la inmediata señal de alerta hacia los teléfonos y celulares de los pobladores de la quebrada y autoridades para la consiguiente evacuación. Se concluye que esta medida estructural también permitirá revertir el déficit de obras de mitigación de la zona y, a la vez, complementar la etapa de comunicación del actual SAT ya que la alerta será más directa, rápida y oportuna, sin tener que pasar por procesos probabilísticos ni de verificación en campo y estará en funcionamiento las 24 horas ante la ocurrencia de un evento imprevisto.

Respecto a las medidas no estructurales de prevención, se establece las capacitaciones de resiliencia, seguridad y salud y se concluye que favorecerán a la diseminación más eficiente de las alertas, la generación del compromiso y conciencia de los pobladores y la preparación constante para actuar adecuadamente antes, durante y después de la ocurrencia de un huaico. Asimismo, la medida no estructural propuesta como fortalecimiento de la institucionalidad local y el cofinanciamiento para el plan permitirán buscar las posibilidades de cofinanciamiento y evitar la desarticulación de las acciones aplicando el concepto de gestión integral. Sumado a esto, presentando el plan con un sustento de rentabilidad basado en una solución de un problema social se concluye que se logrará revertir o mitigar la causa respecto a la existencia de acciones de mitigación de entidades públicas y privadas aisladas no planificadas e insuficiente financiamiento por parte del Gobierno Local para la construcción de obras de mitigación de huaicos.

Respecto a las medidas no estructurales de corrección se estableció la concientización sobre el cuidado y preservación de la faja marginal, se concluye que esta medida aportará a controlar el aumento de la ocupación total de la faja y a concientizar a los pobladores y autoridades respecto a la necesidad e importancia de disminuir los asentamientos actuales y así progresivamente las autoridades competentes alcancen la reubicación de la población a largo plazo y se cumpla con las leyes que prohíben asentamientos en zona de riesgo. Igualmente se concluye que la participación de las familias más vulnerables en la ejecución de las medidas estructurales del Plan, contribuirá a que obtengan un mejor ingreso. Y de esta manera se espera fomentar iniciativas para su traslado o establecimiento en zonas más seguras. Estas medidas no estructurales descritas fueron formuladas para mitigar la causa respecto a la ocupación del territorio por parte de la población para establecer sus viviendas en zonas de riesgo.

Para complementar el plan se estableció medidas para ser desarrolladas durante la emergencia como la limpieza del cauce, el restablecimiento del tránsito y la aplicación de actividades de emergencia. Igualmente, se estableció medidas para ser desarrolladas después del evento como la reconstrucción y mantenimiento de muros de contención, del dique de concreto ciclópeo y de las barreras dinámicas, así como

el diagnóstico, análisis, evaluación y propuesta de mejoramiento de las medidas estructurales y no estructurales. Y como medida no estructural para ser desarrollada durante toda la ejecución del plan se concluye establecer la Administración y Coordinación del plan.

4. Se estableció el Plan de Acción de Prevención conformado por medidas estructurales y no estructurales que serán implementadas antes del evento y orientadas a la preparación y precaución para una óptima respuesta de la población ante futuros huaicos y para reducir daños futuros. Se estableció el Plan de Emergencia conformado por medidas estructurales y no estructurales orientadas a enfrentar el desastre inmediatamente ocurrido el evento.

Se estableció el Plan de Rehabilitación y Recuperación conformado por medidas estructurales y no estructurales orientadas a corregir o reparar los impactos o problemas generados para la recuperación luego de la ocurrencia del huaico. Se estableció el Plan de Monitoreo orientado al seguimiento, la gestión, administración y coordinación de los planes precedentes a lo largo de todo el periodo de la implementación del Plan.

Los planes del presente numeral conforman el Plan de Gestión Integral, que bajo un enfoque integral reducirá el alto riesgo de la quebrada El Pedregal, esperando disminuir las pérdidas de vidas (de 100 a 0 fallecidos), daños a la infraestructura (de 1000 a 0 viviendas destruidas) y entre otros daños sociales, económicos y ambientales ocasionados por la ocurrencia de huaicos. El presupuesto del plan alcanza un monto de S/. 4,049,089.96; incluye materiales, mano de obra, especialistas, maquinaria, equipos y los impuestos de ley. El cronograma de ejecución del plan tiene un periodo total de 5 años.

Mediante el método de juicios de expertos se alcanzó la opinión favorable para la implementación del plan y se verificó la viabilidad y factibilidad de la inversión del Plan de Gestión Integral mediante evaluación económica, por lo que se concluye que se convertirá en un plan de inversión pública financiado por entidades públicas e involucrará la participación de autoridades locales como la Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica cumpliendo el rol ejecutor con el apoyo del grupo de especialistas

del plan, entidades públicas o privadas como INDECI, CENEPRED, ANA cumpliendo el rol técnico asesor y la población, ONG y voluntarios cumpliendo su rol promotor.

5. En conclusión, si es posible contribuir a la reducción de daños producidos por huaicos en la quebrada El Pedregal de Chosica, mediante la implementación de medidas correctivas y preventivas estructurales y no estructurales establecidas en el Plan de Gestión Integral en presente investigación.

7 RECOMENDACIONES

1. Implementar el Plan de Gestión Integral financiado por entidades públicas bajo un enfoque participativo, articulado, horizontal, comunicativo, transparente y continuo de las acciones, participantes y recursos, para contribuir en la reducción de daños ocasionados por eventos de huaicos.
2. Realizar un mantenimiento periódico y reforzamiento adecuado de todas las medidas estructurales existentes en la quebrada El Pedregal para prevenir el posible colapso de estas estructuras.
3. En base al diagnóstico, análisis, evaluación y propuestas de mejoramiento que se realice post evento en el Plan de Rehabilitación y Recuperación, es importante que se modifique o mejore las medidas del plan que no dieron resultados esperados como parte de la mejora continua.
4. En la ejecución del Plan de Gestión Integral podrían generarse mayores o menores metrados de las partidas (medidas estructurales y no estructurales) dependiendo de la situación que se presente antes, durante y después de la ocurrencia del huaico. Estos metrados deberán ser reconocidos para el cumplimiento de los objetivos de cada medida del Plan. Es importante que el equipo de especialistas del Plan de Monitoreo se encargue de realizar las solicitudes respectivas a la entidad financiera del plan.
5. En la ejecución del Plan de Gestión Integral podría presentarse adicionales o deductivos de obra que deberán ser reconocidos para el cumplimiento de los objetivos del Plan. Es importante que el equipo de especialistas del Plan de Monitoreo se encargue de realizar las solicitudes respectivas a la entidad financiera del plan.
6. El presente Plan de Gestión Integral podría ser replicado para las quebradas adyacentes que presenten similar problemática en el distrito de Chosica, adaptando el Plan a las características de cada quebrada.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, C. (2009). *Huaycos en 1987 en el distrito de Lurigancho- Chosica (Lima-Perú)*. Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines. Volumen 38, pp 475-486: <https://bifea.revues.org/2272>
- Acción Competitiva Perú [ACCOM] (17 de julio de 2020). *Costos y Presupuestos con S10*. <http://www.accom.pe/programa.php?post=curso-s10-presupuestos-costos#:~:text=S10%20es%20un%20programa%20que,a%20la%20medida%20del%20usuario>.
- Agencia De Cooperación Internacional De Japón [JICA] (1988). *Borrador del informe final para el estudio de plan maestro sobre el proyecto de prevención de desastres en la cuenca del Rio Rímac*. Japan International Cooperation Agency Library. http://open_jicareport.jica.go.jp/617/617/617_709_10652089.html
- Aguirre, N. (2007). *Manual Para El Manejo Sustentable De Cuencas Hidrográficas. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables*. Universidad Nacional de Loja. Ecuador. https://www.academia.edu/31926541/Universidad_Nacional_de_Loja
- Alcántara, G. (2011). *Pendientes de los suelos del departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/Pendiente.pdf>
- Anaya, O. (2012). *Caracterización Morfométrica De La Cuenca Hidrográfica Chinchao, Distrito De Chinchao, Provincia Huánuco, Región Huánuco*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/CARACTERIZACION%20MORFOMETRICA%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20CHINCHAO%2C%20DISTRITO%20DE%20CHINCHAO%2C%20PROVINCIA%20DE%20HUANUCO%2C.pdf
- Autodesk (20 de julio de 2020). *Manual de AutoCAD*. <https://www.autodesk.mx/products/autocad/overview?plc=ACDIST&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
- Autoridad Nacional Del Agua [ANA] (1970). *Regulación de las Fajas Marginales*. Ediciones ANA. <https://www.ana.gob.pe/normatividad/regulacion-de-las-fajas-marginales-0>

- ANA (2010). *Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac*. Ediciones ANA.ALA.CHRL. Lima, Perú. Disponible en:
- https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0.pdf
- ANA (2013). *Procedimiento y guía para la delimitación dela faja marginal*. Ediciones ANA.
- https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/procedimiento_faja_marginal_0_2.pdf?fbclid=IwAR1IWEgfe1F8hU77wzQRbOl6lrtoVXgDZBXXLiLyslZA43xhCGDWWDQhaBo
- ANA (2013). *Plan Nacional de Recursos Hídricos*. Ediciones ANA.
- <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursoshidricos2013.pdf>
- ANA (2015). *Delimitación de la faja marginal de la Quebrada El Pedregal*. Resolución Directoral N° 2070-2015-ANA-AAA-CAÑETE-FORTALEZA. Ediciones ANA
- <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/6066>
- ANA (2016 a). *Complementación de Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas*. Ediciones ANA. Disponible en:
- http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Complementacion%20de%20Identificacion%20de%20poblaciones%20vulnerables%20por%20activacion%20de%20quebradas%202016-2017_Nacional.pdf
- ANA (2016 b). *Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales. Resolución Jefatural N° 332-2016.ANA*. Ediciones ANA.
- https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j._332-2016-ana.pdf
- ANA (2017 a). *Riesgos Climáticos en el Perú – Lima. Ministerio de Agricultura y Riego*. Ediciones ANA.
- <http://www.congreso.gob.pe/Docs/comisiones2016/PueblosAndinosEcologia/files/ana.pdf?fbclid=IwAR2M8ORHSP-CJMmbKDrSFC2j1aNOjWo7aujVj7-fTbiFIMKy6Hq7V2hUmYA>
- ANA (2017 b). *Documento Técnico de descolmatación y trabajos de rehabilitación y Mantenimiento de las barreras dinámicas contra flujo de detritos, instaladas en la Quebrada El Pedregal*. Ediciones ANA. Lima, Perú.
- ANA (2018). *Fortaleciendo una respuesta ante desastres en el Perú: Lecciones Aprendidas del Fenómeno El Niño Costero 2017 en el Perú*. Biblioteca Nacional del Perú.

- ANA (17 de Septiembre del 2017). *Global Water Partnership-GWP Perú*.
<http://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/gwp-peru>
- ANA y TDM PERÚ (2016). *Expediente Técnico. Suministro, instalación y puesta en operación de 22 barreras dinámicas contra flujo de detritos – Quebrada San Antonio de Pedregal*. Ediciones ANA
- ANA, K-Water, Yooshin Engineering, Pyunghwa Engineering Consultans (2015) *Plan maestro de restauración del Rio Rímac: Informe Final*. Ediciones ANA
<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/637>
- Cabrera, J. y Castillo, L. (2016). *Evaluation of flexible barrier and sabo dam to control effects of debris flow in Santo Domingo Ravine*. In B. Crookston & B. Tullis (Eds.), *Hydraulic Structures and Water System Management*. 6th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, Portland, OR, 27-30 June (pp. 284-294).
<https://www.semanticscholar.org/paper/Evaluation-of-flexible-barrier-and-sabo-dam-to-of-Cabrera-Navarro/c310913622e4162821e31d71cf3d15eb0cb0b03e>
- Campos, A. (1998). *Procesos Ciclo Hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México.
<https://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3331/EDBPCH99801.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Canal Arom620Noticias. (16 de Marzo de 2017). *Huaico en la quebrada El Pedregal, Chosica*. Perú [Archivo de Video].YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=709jQtUIH50&feature=youtu.be>
- Canal 24 Horas Edición Central de Panamericana (16 de Marzo de 2017). *Camión queda sepultado tras huaico en Chosica*. [Archivo de Video].YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=arXiydPd7Kk&list=PL5DFqsU_K-6wCOZYY5O9-ngYn2_1OIy6B&index=108
- Canal 24 Horas Edición Central de Panamericana (17 de Marzo de 2017). *Chosica: casas completamente destruidas tras paso de huaicos en la zona de Pedregal*. [Archivo de Video].YouTube . <https://www.youtube.com/watch?v=wsflm7PzTxU>
- Cahuana A. y Yugar W. (2009). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Hidrología CIV-233*. [Trabajo para optar el diploma académico de licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Mayor de San Simón].
<https://es.slideshare.net/yovanapaucariojeda1/10-texto-de-hidrologa-umss>

- Carhuayal, R. (1992). *Estudio de método de corrección de drenaje para evitar los huaycos y su aplicación en la quebrada Pedregal – Chosica*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de ingeniería Civil]. Repositorio UNI
- Carrillo, N. (2001). *Desastres naturales y su influencia en el medio ambiente*. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Lima-Perú. Vol. 4 N° 07. 71-79.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/4658/3733>
- Castillo, L. (2006). *Aplicación de un modelo numérico de flujos de escombros y lodo en una quebrada de Perú*. . [Tesis de grado, Universidad Nacional de ingeniería Civil]. Repositorio UNI.
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres [PREDES] (2000). *Estudio de Riesgo y Propuesta de Prevención de la Quebrada El Pedregal*. Centro de Estudios y Prevención y Desastres. Lima. Perú. <https://www.predes.org.pe/wp-content/uploads/2019/11/Estudio-de-riesgo-de-la-quebrada-Pedregal-Chosica-PREDES.pdf>
- Centro Nacional De Estimación, Prevención Y Reducción De Riesgos De Desastre [CENEPRED] (2006). *Guía Metodológica para proyectos de protección y control de inundaciones en área urbanas o agrícolas se tomara en cuenta para el estudio hidrológico de la quebrada*. Dirección de Gestión de Procesos Recuperado de: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/agricultura/GuiaInundaciones.pdf
- CENEPRED (2012). *El Fenómeno El Niño*. Dirección de Gestión de Procesos. Lima, Perú. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CENEPRED/Boletin%20Fenomeno%20El%20Nino.pdf>
- CENEPRED (2015a). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión*. Dirección de Gestión de Procesos. https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- CENEPRED (2015b). *Informe de Evaluación de Riesgo por Flujo de Detritos en el Área de Influencia de las Quebradas: Carossio y Libertad en Chosica*. Informe Técnico Municipalidad Distrital De Lurigancho-Chosica. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/EVAR.Chosica%20actualizado.pdf>

- CENEPRED (2017). *Guía Metodológica para la formulación de Planes de Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres a nivel cuenca. Dirección de Gestión de Procesos.* http://cenepred.gob.pe/web/wpcontent/uploads/Guia_Manuales/Guia%20PPRRD%20en%20Cuenca.pdf
- CENEPRED (2018 a). *Guía metodológica para la elaboración del Plan integral de reconstrucción.* Dirección de Gestión de Procesos. https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/V_GUI-guia-plan-integral-reconstruccion.pdf
- CENEPRED (2018 b). *Escenarios de Riesgo por Lluvias Intensas. Dirección de Gestión de Procesos.* https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/2018/08/Escenario_NACIONAL.pdf
- CENEPRED (2018 c). *Orientaciones para implementación de la gestión prospectiva y correctiva del riesgo de desastre en los gobiernos regionales y locales.* Biblioteca Nacional del Perú [https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Orientaciones%20para%20implementar%20la%20GP%20y%20GC%20\(002\).pdf?fbclid=IwAR2uicCEuBPvy8iELQySvS7TtkB7YCHZW3EZY2xdyhmnsr7lqP1lMorRAXM](https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Orientaciones%20para%20implementar%20la%20GP%20y%20GC%20(002).pdf?fbclid=IwAR2uicCEuBPvy8iELQySvS7TtkB7YCHZW3EZY2xdyhmnsr7lqP1lMorRAXM)
- CENEPRED (Sin fecha), *Glosario de Términos. Ministerio de Defensa.* <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/glosario-terminos-grd-cenepred.pdf>
- Chow V. T., Mays, L. y Maidment, D. (1994). *Hidrología aplicada.* Mc Graw Hill.
- Colegio De Ingenieros Del Perú [CIP] (2017). *Modelación de Huaycos como herramienta para la gestión y prevención de desastres.* Capítulo de Ingeniera Civil. http://www.cipcivil.com/wpcontent/uploads/2013/08/Modelacion_de_huaycos_2013JUL23_II_IngCabrera.pdf
- Comeca, M. et al. , (2019). *El niño Costero y la ocupación del territorio de la cuenca del río Rímac. Caso: Chosica.* Revista de Investigación UNMSM Vol.22 N°41 pg 105-120. Lima, Perú. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/sociales/article/view/16769/14310>
- Confederación Hidrográfica Del Ebro [PGRI] (2016). *Plan de Gestión del Riesgo de Inundación en la cuenca del Ebro.* Gobierno de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, España. <http://www.chebro.es/PGRI/archivos/folletoPGRI.pdf>

- Cubero, C. y Carvajal, J. (2014). *Distribución especial de las Inundaciones en Costa Rica, 10 años de sus efectos*. Revista En Tomo a la Prevención. Volumen 13, pp. 15-20.
<http://www.relaciger.org/revista/pdf/spa/doc1302/doc1302.htm>
- Decreto Supremo N° 034-2014- PCM. *Decreto Supremo que aprueba el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de desastres 2014-2021*. Lima, Perú.<http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2014/05/DS-034-2014-PCM.pdf>
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG. *Decreto Supremo que aprueba la Ley de Recursos Hídricos*. Lima, Perú.
<https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2010/ds01-2010-ag.pdf>
- Delgadillo, A. y Páez, G. (2008). *Aspectos hidrológicos, subcuencas susceptibles a crecidas, escenarios de riesgo*. Plan de desarrollo urbano del Municipio Antonio Pinto Salinas, bajo el enfoque de gestión del riesgo. Caracterización del riesgo de la cuenca del valle Mocoties. Mérida: FUNDAPRIS.
- Delgadillo, A. y Moreno, A.(s.f). *Morfometría de cuencas* .Hidrología.
<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/MORFOMETR%CDA%20DE%20CUENCAS.pdf>
- Estudio Nacional del Fenómeno del Niño [ENFEN] (2017). *El niño costero 2017*.Informe Técnico Extraordinario N°001-20177ENFEN.
https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/ENFEN/nota_tecnica/01-2017.pdf
- ESRI (2002). *Data y Maps*. An ESRI white paper.
http://downloads.esri.com/support/whitepapers/ao_/datamaps2002.pdf
- Faustino, J., y Jiménez, F. (2000). *Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba, Costa Rica: Orton IICA / CATIE
- Freiré N. y Natenzonc. E. (2013). *Vulnerabilidad social, inundaciones catastróficas y geotecnologías en regiones subdesarrolladas: riesgo e incertidumbres en el Litoral Norte de la Provincia de Alagoas – Brasil*. Revista Brasileira de Geografía Física, Volumen 6, pp, 1227-1315.
- Fuentes Junco, J. J. A. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancítaro*. México: Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología (INE)

- Gallarday, T. y Malca, N. (2014). *Flujos de detritos y dispersores de energía en la torrentera Juan Carossio Chosica – Lima*. Rev. Del Instituto de Investigación (RIIGEO). Volumen 17, pp. 39-44.
<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11495>
- Gaspari J., Rodriguez A., Senisterra G., Denegri G., Delgado M. y Besteiro S. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. AUGMDOMUS. Asociación de Universidades Grupo Montevideo Volumen 4, 144- 158.
<https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/download/476/505/>
- Genatios, C. (2012). Vargas, *del riesgo al desastre: Los aludes torrenciales de 1999. Gestión de riesgo; entre lo planificado y lo ejecutado*. Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales (ILDIS) Volumen, pp. 488 - 498 (Consulta 9 de abril del 2017) pp. 1-8.:<http://library.fes.de/pdf-files/bueros/caracas/09273.pdf>
- Gerens. (2017). *Los devastadores impactos de Harvey en Texas-Reflexiones de resiliencia para El Niño en Perú*. <https://gerens.pe/blog/impactos-harvey-texas-resiliencia-nino-peru/>
- Geobrugg (2018). *Software Manual Debflow*. Geobrugg AG, Geohazard Solutions.
https://www.geobrugg.com/index_es.html
- Gestión (20 de Abril de 2020). *Tasas de interés para préstamos de Reactiva Perú estarían entre 2% y 4%*.<https://gestion.pe/economia/tasas-de-interes-para-prestamos-de-reactiva-peru-estarian-entre-2-y-4-noticia/>
- Geofísica (20 de Julio de 2020). *Manual de MS Project*.
<http://www.geofisica.cl/macam/project2.htm>
- Global Water Partnership [GWP] (2001). *Hacia una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos del Perú*. Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA-PUCP). Editorial ROEL S.A.
- GWP (2011). Cartilla Técnica. *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura de Agua y la Gestión Integral de Recursos Hídricos*. Sociedad Geográfica de Lima. Perú.
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwpsam_files/publicaciones/varios/cuenc_a_hidrologica.pdf
- Grupo TDM (2019). *Estabilidad y Contención de barreras dinámicas contra huaicos*. TDM Ingeniería. <http://www.tdm.com.pe/pdf/casos%20historicos/Estabilidad-y->

- Contencion-Proteccion-contra-huaicos-en-Chosica.pdf?fbclid=IwAR3q-EAqoEfBA6phcGs_IZW1Nqo1tUw0Q51exhTv1EnwGmoCytKQZ3vcwc
- Guadalupe, E. y Carrillo, N. (2012). *Caracterización y análisis de los huaycos del 5 de abril del 2012 Chosica- Lima. Rev. Del Instituto de Investigación (RIIGEO)*. Volumen 15, pp. 69-82.
<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/2206>
- Gregory, K.J. and Walling, D.E. (1973). *Drainage Basin. Form and Process: A Geomorphological Approach*. Edward Arnold, London.
- Hernandez, R., Fernandez, C. y Baptista, P. (1998). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Interamericana editores. México.
https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
- Horton, R. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology*. Geological Society of America Bulletin. N° 3, 275-378-0.
<https://sci-hub.tw/https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/56/3/275/4075>
- Hungr, O. (2005). *Classification and Terminology. En GEMMA 2007. Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas*. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. Publicación Geológica Multinacional 4,404 p., Vancouver.
- Ibañez, S., Moreno, H. y Gisbert, J. (2017). *Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica*. Universidad Politécnica de Valencia, España.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf>
- Ibáñez, A. (2004) *Análisis morfométrico de la Cuenca y de la red de drenaje del Río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas*. Boletín de la A.G.E. N° 38, 311-329. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1079160.pdf>
- IILA, SENAMHI, UNI. (1983). *Estudio de la Hidrología del Perú*. Ministerio de Aeronautica. Lima, Perú.
<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4123>

- InfoInundaciones (3 de Octubre del 2019) *Sistema de Alerta Temprana ante Huaicos: Una experiencia compartida*. <https://infoinundaciones.com/noticias/sat-huaicos-compartido>
- Instituto Nacional De Defensa Civil [INDECI] (2004). *Plan De Prevención Ante Desastres: Usos Del Suelo y Medidas De Mitigación Ciudad De Ayacucho*. Informe Preliminar. Convenio Indeci-Pnud. Ayacucho, Perú.
- INDECI (2005). *Mapa de Peligros y plan de usos del suelo y medidas de mitigación antes de desastres de la ciudad de Chosica*. Proyecto INDECI – PNUD.
http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Lima/lima/chosica_R.pdf
- INDECI (2015). *Huaycos en diversas quebradas. Estado Situacional de Emergencia*.
http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00069402
- INDECI (2017). *Flujo de Detritos. Estado Situacional de Emergencia*.
http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00083519&expand=1
- INDECI (2016 a). *Huaycos afectan el distrito de Lurigancho Chosica – Lima Metropolitana*. Informe de Emergencia N° 339 Disponible en:
<http://www.indeci.gob.pe/objetos/alerta/MTM1Nw==/20150508202416.pdf>
- INDECI (2016 b). *Apoyo para la implementación de un sistema de alerta temprana en el distrito de Lurigancho-Chosica*. Nota de Prensa N° 118 2016-INDECI-OGCS.
https://www.indeci.gob.pe/apoyo-para-la-implementacion-de-un-sistema-de-alerta-temprana-en-el-distrito-de-lurigancho-chosica/?fbclid=IwAR0vLVXGNOE4OCiGMzZrWMGTuQEHdapHG2mpCKWmpv_4FmAwkU0LqdRWwJ4
- INDECI (2019). *Mapa de rutas de evacuación en la quebrada El Pedregal en el distrito de Lurigancho-Chosica. Dirección de estudios de proyectos hidráulicos multisectoriales*. <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2018/09/Chosica.pdf>
- INDECI (20 de Septiembre de 2019). *Orientación, trámites y servicios*.
<https://www.gob.pe/indeci>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGENMET] (2015) *Susceptibilidad a los movimientos en masa para el sector evaluado en Chosica. Informe Técnico N°6680*.
<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1310>

- INGENMET (2018). *Mapa Geológico del Cuadrángulo de Chosica*. Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú.
https://geocatminapp.ingemmet.gob.pe/complementos/Descargas/Mapas/publicaciones/serie_a/mapas/24-j.htm?fbclid=IwAR25kKlj_rlkLgWg6Tv2KGnUhbk5dkm4ylHv9WMtebBulTEltHT_GP2QIs8
- INGENMET (2018). *Deslizamiento- Flujo de detritos en el sector Cancal*. Ministerio de Energía y Minas, Lima, Perú.
<https://www.yumpu.com/es/document/read/63036730/a6838-deslizamiento-flujo-detritos-seccancal-ancash>
- Iagua (2016). *Guía Práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS*. Instituto IMDEA Agua. <https://www.iagua.es/noticias/espana/instituto-imdea-agua/16/12/15/guia-practica-modelizacion-hidrologica-y-modelo-hec>
- JICA (1988). *Borrador del informe final para el estudio de plan maestro sobre el proyecto de prevención de desastres en la cuenca del Río Rímac- parte 2*. Japan International Cooperation Agency Library.
http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/10652089_02.pdf?fbclid=IwAR16w5HCc-Nk78RIBm2u9SEinwQMUKXIeTeBuJmKx7beNKkJPv4ONMURi-k
- Juárez M. (2016). *Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del Arroyo La Encantada Saltillo Coahuila Mediante el Método Pfafstetter*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro].
http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8089/64092%20JUAREZ%20GOMEZ%20MATEO%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR3DoTiuV81UxPIEe_6-ImY3vtR60BvcTnRqipwvuhHXmay-ixov1MZJP30
- Lavado, S. (2014). *Aplicación de la teoría del número de curva (cn) a una cuenca de montaña*. Caso de estudio: cuenca del río Murca, mediante la utilización de sistemas de información geográfica. Universidad Militar Nueva Granada
<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/13331/1/Trabajo%20de%20Grado%20Sergio%20Lavado.pdf>
- Leon , J. (5 de Septiembre del 2017) *Huaicos en Lima: Barreras pueden ceder ante robo de piezas*. Diario El Comercio. En: <http://elcomercio.pe/lima/huaicos-lima-barreras-ceder-robo-piezas-162021>

- Ley N° 29664 (2011). *Congreso de la República del Perú*. El Peruano Lima, 19 de febrero del 2011. <http://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29664.pdf>
- Llanos, G. (5 de Septiembre del 2017) *Limpieza y mejora de mallas geodinámicas será desde setiembre*. Diario Correo. Recuperado de:
<http://diariocorreo.pe/ciudad/limpieza-y-mejora-de-mallas-geodinamicas-sera-desde-setiembre-767867/>
- Martínez .A, (1999). *Aporte sobre Huaycos e inundaciones en el Perú* .UNI-FIG Lima - Perú. pp. 3-5.
- Martínez, A. (2013). *Geotecnia de los Huaycos de Chosica*. Volumen 2 .Lima – Perú.
[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/biblioteca/Biblio_con.nsf/999a45849237d86c052577920082c0c3/5A2C16608380C69D05257E15006C2281/\\$FILE/624.151M26..PDF](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/biblioteca/Biblio_con.nsf/999a45849237d86c052577920082c0c3/5A2C16608380C69D05257E15006C2281/$FILE/624.151M26..PDF)
- Mendez,R.(2017).*Muro de Contención de mampostería de piedra en la Quebrada El Pedregal destruido y socavado*. [Fotografía].(Comunicación Personal).
- Método S.C.S (2019). *Clasificación de Clases Antecedentes de Humedad (AMC) para el Método de Abstracciones de Lluvia*. Universidad Salamanca
http://hidrologia.usal.es/practicas/Pneta_SCS/Pneta_SCS_fundam.pdf
- Ministerio de Economía y Finanzas [MEF] (15 de abril de 2020). *Transparencia Económica*. Recuperado de: *MEF Ministerio de Economía y Finanzas*. Proyectos de Inversión Pública. Municipalidad de Distrital de Lurigancho – Chosica.
http://ofi5.mef.gob.pe/proyectos_pte/forms/UnidadEjecutora.aspx?tipo=2&IdUE=301267&IdUEBase=301267&periodoBase=2014
- MEF (5 de Septiembre 2017) *Proyectos de Inversión Pública*. Municipalidad de Distrital de Lurigancho – Chosica.
http://ofi5.mef.gob.pe/proyectos_pte/forms/UnidadEjecutora.aspx?tipo=2&IdUE=301267&IdUEBase=301267&periodoBase=2014
- MEF (15 de abril de 2020). *Sistema de Seguimiento de inversiones (SSI)*.
<https://ofi5.mef.gob.pe/ssi/>
- MEF (2011). *Identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública sector agricultura caso: Riego*. Dirección general de política de inversiones. Lima, Perú.
https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/capacidades/capac/Evaluacion.pdf

- Ministerio del Ambiente [MINAM] (2012). *Zonificación Sísmica – Geotécnica del área urbana de Chosica (Comportamiento Dinámico del Suelo)*. Programa Presupuestal N°068: Reducción De La Vulnerabilidad Y Atención De Emergencia Por Desastres. Lima, Perú.
- <https://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/1196#:~:text=El%20Mapa%20de%20Zonificaci%C3%B3n%20S%C3%ADsmica,suelos%20identificados%20en%20este%20estudio.%22>
- MINAM (2014). *El Fenómeno El Niño. El Perú Primero*.
- http://www.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf
- Ministerio de Salud [MINSA] (2003). *Análisis de la situación de salud de San Antonio de Pedregal*. Chosica. Lima, Perú.
- [http://www.hnahu.gob.pe/cuerpo/epidemiologia/ASIS%202011%20\(F\)/contenidos/2009/ASISLOCAL/Microrredes/CHOSICAI/ASISPEDREGAL.doc](http://www.hnahu.gob.pe/cuerpo/epidemiologia/ASIS%202011%20(F)/contenidos/2009/ASISLOCAL/Microrredes/CHOSICAI/ASISPEDREGAL.doc)
- MINSa (2017). *Plan de contingencia del ministerio de salud frente a los efectos de lluvias, 2017*. Lima, Perú.
- https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/342275/Plan_de_contingencia_del_Ministerio_de_Salud_frente_a_los_efectos_de_las_lluvias__2017._Documento_t%C3%A9cnico20190716-19467-r3jlrn.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC] (2019) *Manual de Hidrología, Hidráulica y drenaje*. Lima, Perú.
- http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf
- Monsalve, G. (1995). *Hidrología en la Ingeniería 2da Edición*. Universidad Mariana. Colombia.<https://www.studocu.com/es/document/universidad-mariana/matematicas/otros/hidrologia-en-la-ingenieria-2da-edicion-german-monsalve-saenz/5395076/view>
- Municipalidad Distrital De Lurigancho-Chosica (2015). *Instalación de muro de contención en la Mz17 Y Mz22 del Jr. Julio C. Tello- Comité 7 – Etapa – AA.HH. San Antonio de Pedregal Alto- Chosica, Distrito de Lurigancho Chosica*. Lima, Perú
- Municipalidad Distrital de Lurigancho (2016). *Descolmatación de quebradas en el distrito de Lurigancho – Chosica. Informe Final*. Lima, Perú.
- Municipalidad Distrital de Lurigancho (2017 a). *Contratación de la ejecución de la obra construcción de dique seco en el a.h. proyecto integral San Antonio de Pedregal siglo*

- xxi altura calle las palmeras, Quebrada Pedregal, Distrito de Lurigancho.* Lima, Perú. <https://prodapp2.seace.gob.pe/seacebus-uiwd-pub/fichaSeleccion/fichaSeleccion.xhtml>
- Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica (2017 b). *Rehabilitación de servicios de protección de la Quebrada San Antonio de Pedregal.* Expediente Técnico de Ingeniería Geotécnica Proyectos y Consultoría. Lima, Perú.
- Municipalidad Distrital de Lurigancho Chosica (2018). *Plan de Desarrollo Local Concertado del Distrito de Lurigancho-Chosica. Gerencia de Planeamiento y Presupuesto.*
<https://drive.google.com/file/d/1u3fLq6jH12FYWqw78C1Tv7LrIvJeMsVd/view>
- Narciso J. (2018). *Gestión De Inundación Por Caudales Máximos En La Parte Baja De La Quebrada Pedregal – Chosica.* [Tesis para optar Título Profesional De Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Federico Villarreal]
<http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2540/NARCISO%20LIRA%20JHON%20DAVIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Norma OS.060. (2018). *Drenaje Pluvial Urbano. Programa Nacional del Agua Potable y Alcantarillado PRONAP,* Perú.
<http://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20II%20Habilitaciones%20Urbanas/22%20OS.060%20DRENAJE%20PLUVIAL%20URBANO.pdf>
- O'Connor, H. (1988). *Investigación del Huayco de Chosica 1987, sus efectos y medidas de mitigación.* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería]
- Ordenanza N° 254-MDL de 2017 *Ordenanza que prohíbe la construcción de viviendas, habilitaciones urbanas y similares en las fajas marginales del río Rímac, quebradas y riberas ubicadas en el distrito.* Viernes 15 de diciembre de 2017
<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/ordenanza-que-prohibe-la-construccion-de-viviendas-habilita-ordenanza-no-254-mdl-1596607-1>
- Organización Meteorológica Mundial [OMM] (2006). *Aspectos jurídicos e institucionales de la gestión integrada de crecidas.* Ginebra ,Suiza.
https://www.floodmanagement.info/publications/policy/ifm_legal_aspects/Legal_and_Institutional_Aspects_of_IFM_Sp.pdf

- OMM (2009). *Gestión Integrada de Crecidas*. Documento Conceptual. Ginebra, Suiza.
https://www.floodmanagement.info/publications/concept_paper_s.pdf
- OMM (2011). *Guía de Prácticas Hidrológicas. Volumen 2*. Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas. Ginebra, Suiza.
https://www.wmo.int/pages/prog/hwrr/publications/guide/spanish/168_Vol_II_es.pdf
- Páez, M. , Moreiras, S. , Brenning , A. y Giambiagi, L. (2013). *Flujos de detritos y aluviones históricos en la cuenca del Río Blanco (32°55' -33°10' Y 69°10' -69°25')*, Mendoza. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Volumen 4, pp. 488 - 498
<http://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v70n4/v70n4a04.pdf>
- Paz, O. (2017). *Barreras en Chosica frenaron 2 mil volquetes de rocas y lodo*. El Comercio. Recuperado de: <http://elcomercio.pe/lima/barreras-chosica-frenaron-2-mil-volquetes-rocas-lodo-413987?foto=2>
- Pérez, C. (2009) .*Huaycos en 1987 en el distrito de Lurigancho Chosica - Lima Perú*. Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos N° 38. Volumen (3) pp. 475-486.
- Perú Construye (2017). *Instalarán barreras dinámicas en 11 quebradas de Chosica*
<http://www.peruconstruye.net/instalaran-barreras-dinamicas-en-11-quebradas-de-chosica>
- Perú 21 (16 de Enero de 2017). *Chosica nuevo huaico afecto a la zona de Pedregal*. RedacciónP21.Lima, Perú. <https://peru21.pe/lima/chosica-nuevo-huaico-afecto-zona-pedregal-video-62487-noticia/?ref=p21r>
- Piperno, A. y Sierra, P. (2013). *Estrategias de intervención en áreas urbanas inundables: el caso Bella Unión, Uruguay*. EURE (Santiago), 39 (116), pp. 221-241.
- Ponce, V. (1989). Engineering Hydrology. *Principles and Practices*. Pp 69-70.
<http://ponce.sdsu.edu/textbookhydrologyp070.html>
- Ponce, H. (2006) *La matriz FODA: una alternativa para realizar diagnósticos y determinar estrategias de intervención en las organizaciones productivas y sociales. Contribuciones a la Economía*.
<https://eco.mdp.edu.ar/cendocu/repositorio/00290.pdf>
- PREDES (25 de Septiembre del 2017). *Quiénes somos*. (<https://www.predes.org.pe/institucional/>)
- PREDES (Sin Fecha). *Informe Técnico. Los huaycos en Chosica 2015*. El Centro de Estudios y Prevención de Desastres

- Racca, M. (2007). *Análisis Hipsométrico, Frecuencia altimétrica Y Pendientes Medias A Partir De Modelos Digitales Del Terreno*. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología 77(1-2): 31-38.
https://www.fceia.unr.edu.ar/fisiografia/volumen77/BIFG_77_31.pdf
- Red de Líderes Resilientes de la cuenca del Rimac (30 de Septiembre de 2018). Información [Grupo de Facebook]. Facebook.
https://www.facebook.com/Redlideresresilientesrimac/?epa=SEARCH_BOX
- Reguant, M. y Torrado M. (2016). *EL método Delphi*. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 9 (1), 87-102. Universidad de Barcelona.
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/110707/1/654735.pdf>
- Rickenmann D. (2016). *Methods for the Quantitative Assessment of Channel Processes in Torrents (Steep Streams)*. International Association for Hydro-Environment Engineering and Research. <https://www.taylorfrancis.com/books/9780429094705>
- Rocha, A. (2007). *Problemática de inundaciones y Huaycos en el Perú*. *Inundaciones y Huaycos. Instituto para la Mitigación de los Efectos del Fenómeno del Niño*. UNI, Lima, Perú <http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/2172/1/F-InundacionesHuaicos.PDF>
- Rojas, N. (2011). *Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas mecánicas*. Departamento de climatología e Investigaciones Aplicadas.
http://www.mag.go.cr/informacion/curso_agua_pluvial/cidf_mecanicas.pdf
- RPP Noticias. (2017). *Nuevos huaicos cayeron en Chaclacayo y Chosica*. Lima, Perú.
<https://rpp.pe/lima/actualidad/video-nuevos-huaicos-cayeron-en-chaclacayo-y-chosica-noticia-1026297?ref=rpp>
- Sánchez, J. (2016). *Precipitaciones. Geología*. Universidad de Salamanca. <http://hidrologia.usal.es>
- Schumm, S. A. (1956). *Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy*. Geological Society American Bulletin, 67(5), 597-646.
<https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/gsabulletin/article-abstract/67/5/597/4811/EVOLUTION-OF-DRAINAGE-SYSTEMS-AND-SLOPES-IN?redirectedFrom=fulltext>
- Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres [SGRD]. (2014). *Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastre PLANAGERD 2014-2021*. Biblioteca Nacional del Perú.

- http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2018/01/PLANAGERD.pdf?fbclid=IwAR14Cnt-insgSgSaoYj2qaU0BaAUC4OU24iS0_pNm4M-0m7qr3ufQsMRyyY
- Sedano, K. (2012). *Gestión Integrada del riesgo de inundaciones en Colombia*. [Título del Trabajo de Fin de Master, Universidad Politécnica de Valencia] https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27223/TFM_Gesti%C3%B3n_%20Inundaciones_Colombia_Karime_Sedano.pdf?sequence=1
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI] (2017). *Dirección de redes de Observación y Datos*. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=prensa&n=498>
- SENAMHI (2013). *Evaluación climática de la precipitación en la cuenca del Río Rímac y establecimiento de umbrales*. Dirección Regional de Lima. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-1.pdf>
- SENAMHI (2017). *Continuarán lluvias en Chosica, Huarochirí y Canta*. Portal de transparencia SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=prensa&n=579>
- SENAMHI (2019). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. Portal de transparencias. <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Seeger, C. y Villodas, R. (2006). *Hidrología 1*. Unidad 5. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina
- Sistema Integrado de Gestión [SIG] (2015). *Acciones Preventivas, Correctivas y mejora*. Ministerio de Justicia y Derecho. <https://www.minjusticia.gov.co/Portals/0/Documentos%20Mauricio/informes%20sig/documentos/Capacitaciones/Memoria%20-%20Accones.pdf>
- Somerville, J. (2008). *Effective Use of the Delphi Process in Research: Its Characteristics, Strengths and Limitations*. Corvallis -Oregon. <http://jasomerville.com/wpcontent/uploads/2011/08/DelphiProcess080617b.pdf>
- Strahler, A. (1964). *Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks*. En: Chow, V (Ed.). Handbook of Applied Hydrology. Mc Graw- Hill. New York- USA Mc Graw-Hill
- Soil Conservation Service USA (1972) *Determinación de la Lluvia Neta*. U.S SCS
- Soluciones Prácticas (2015) *Ficha técnica, de sistemas de alerta temprana*. Practical Action. <https://solucionespracticas.org.pe/ficha-tecnica-sistema-de-alerta-temprana>

- Soluciones Prácticas (2018). *Tecnología y conocimiento a prueba del Niño Costero*. Practical Action. <https://www.solucionespracticas.org.pe/Tecnologia-y-conocimiento-a-prueba-El-Nino-Costero>
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos: Análisis Geotécnicos*. Capítulo 5. Los Flujos. Colombia. Universidad Industrial de Santander. <http://www.erosion.com.co/libros/36-libros-ing-jaime-su%C3%A1rez/70-nuevo-libro-deslizamientos-tomo-i-an%C3%A1lisis-geot%C3%A9cnico.html?fbclid=IwAR3Nyq3D4NarxedIjRxFRawvDqMFWS-c6SVUjKH7oat0CpNl6tAb7O0uWi8>
- Suárez, J., Díaz, C., Calderón, G., Esteller, M., Cadenas, E. (2011). *Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México Tecnología y Ciencias del Agua, vol. II, núm. 3, pp. 201-218*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Morelos, México. <https://www.redalyc.org/pdf/3535/353531974013.pdf>
- Temez J.R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuenca*. MOPU, Dirección General de Carreteras, 113 pp.
- The Natural Resources Conservation Service [NRCS] (2004). *Hydrologic Soil – Cover Complexes. Part 630 National Engineering Handbook*. USA. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17758.wba>
- Velez, J. y Botero, A. (2010). *Estimación del tiempo de concentración y tiempo de Rezago en la cuenca experimental Urbana de la quebrada San Luis, Manizales*. Universidad Nacional de Colombia. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25640/26095>
- Vilcahuaman, I. (2015). *Concepto de medidas de prevención para reducir el riesgo de desastres por huaicos en Ica*. [Tesis de grado .Pontificia, Universidad Católica del Perú]. Repositorio en Universidad Católica del Perú
- Villagomez H., Mendoza E. y Bowen E. (2009). *Estudios de pre factibilidad para la construcción de una mediana central hidroeléctrica aprovechando las aguas del rio Toachi Grande*. [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador] <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/13520/D-42652.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villón, M. (2002). *Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería Agrícola*. <https://es.slideshare.net/erickmainar/hidrologa-ingmximo-villn-53473898>
- Universidad Cooperativa de Colombia [UCC]. (9 de julio del 2019).Sistema de

- . <https://normas-apa.org/referencias/citar-pagina-web/>
- U.S. (1997). *Natural Resources Conservation Services*. “*Ponds- Planning, Design, Construction*”. Agriculture Handbook No. 590. Washington, D.C.
- Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas [UPC]. (2018). *Informe de Tesis*. Anexo A.Facultad de Ingeniería Civil. <https://www.upc.edu.pe/servicios/grados-y-titulos/titulo-profesional/>
- Uriarte, J. (2010). *La resiliencia comunitaria en situaciones catastróficas y de emergencia*. International Journal of Developmental and Educational Psychology. <https://core.ac.uk/download/pdf/72045848.pdf>
- World Meteorological Organization [WMO] (2009) *Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation*. No. 1045. Geneva 2, Switzerland. : <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/PMP/WMO%201045%20en.pdf>

ANEXOS