



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

**Modelo de vulnerabilidad al cambio climático por
peligro de inundaciones para el cálculo del costo
evitado. Caso Sector El Piste, ciudad de Calca, Cuzco**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias
Ambientales

AUTOR

Mg. Juan Carlos MONTERO CHIRITO

ASESOR

Dr. Carlos Francisco CABRERA CARRANZA

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Montero, J. (2023). *Modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones para el cálculo del costo evitado. Caso Sector El Piste, ciudad de Calca, Cuzco*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica/Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Juan Carlos Montero Chirito
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09493599
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1422-5019
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Carlos Francisco Cabrera Carranza
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	17402784
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5821-5886
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Neil Sandro Alata Olivares
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08684439
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Carlos Del Valle Jurado
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10266187
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Rosa Deifilia Rodríguez Anaya
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	31621486
Datos de investigación	

Línea de investigación	C.0.3.3. Desarrollo de modelos y aplicación de las tecnologías de información y comunicaciones
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Pueblo Libre Urbanización : Jardines de La Católica Avenida: Bolívar 2150 Latitud: -12.069955 Longitud: -77.076889
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2020 – 2022
URL de disciplinas OCDE	Ciencias del medio ambiente: http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08 Investigación climática: http://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.10



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, a los diez días del mes de abril del año dos mil veintitres, siendo las 11.00 horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000209-2023-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 03 de abril del 2023, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TÍTULO

«MODELO DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO POR PELIGRO DE INUNDACIONES PARA EL CÁLCULO DEL COSTO EVITADO. CASO SECTOR EL PISTE, CIUDAD DE CALCA, CUZCO»

Presentado por el Mg. **JUAN CARLOS MONTERO CHIRITO**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR** en **CIENCIAS AMBIENTALES**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N° 06357/FIGMMG/2012 de fecha 28 de agosto del 2012, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y que cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente de conformidad al Art. 72 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

Muy bueno (18)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR** en **CIENCIAS AMBIENTALES** al Mg. **JUAN CARLOS MONTERO CHIRITO**.

Siendo las 12:00 horas, se dio por concluido al acto académico.

DR. NEIL SANDRO ALATA OLIVARES
Presidente

DR. CARLOS DEL VALLE JURADO
Secretario

DRA. ROSA DEILIJIA RODRÍGUEZ ANAYA
Miembro

DR. CARLOS FRANCISCO CABRERA CARRANZA
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
UNIDAD DE POSGRADO

Lima, 27 de Febrero del 2023

INFORME N° 000010-2023-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM

INFORME DE ORIGINALIDAD

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO

Dr. Carlos Del Valle Jurado

OPERADOR DEL PROGRAMA INFORMÁTICO DE SIMILITUDES

Tec. Stephanie Elizabeth Pastor Reyes

DOCUMENTO EVALUADO:

Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ciencias Ambientales titulado:
"MODELO DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO POR PELIGRO DE INUNDACIONES PARA EL CÁLCULO DEL COSTO EVITADO. CASO SECTOR EL PISTE, CIUDAD DE CALCA, CUZCO"

AUTOR DEL DOCUMENTO:

MG. JUAN CARLOS MONTERO CHIRITO

FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO:

27/02/2023

FECHA DE APLICACIÓN DEL PROGRAMA INFORMÁTICO DE SIMILITUDES:

27/02/2023

SOFTWARE UTILIZADO

Turnitin

CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA DETECTOR DE SIMILITUDES

- Excluye textos entrecomillados
- Excluye fuentes para buscar similitud
- Excluye Bibliografía
- Excluye cadenas menores a 35 palabras

PORCENTAJE DE SIMILITUDES SEGÚN PROGRAMA DETECTOR DE SIMILITUDES

Nueve por ciento (9 %)

FUENTES ORIGINALES DE LAS SIMILITUDES ENCONTRADAS

• hdl.handle.net	1%
• qdoc.tips	1%
• revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe	1%
• repositorio.ana.gob.pe	<1%
• www.gestiondelriesgo.org.pe	<1%
• repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
• www.riesgoycambioclimatico.org	<1%
• es.scribd.com	<1%





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
UNIDAD DE POSGRADO

•	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
•	pt.scribd.com	<1%
•	ugelquispicanchi.gob.pe	<1%
•	dspace.ucuenca.edu.ec	<1%
•	www.infoandina.org	<1%
•	www.ieut.cl	<1%
•	www.yumpu.com	<1%
•	documents.mx	<1%
•	dspace.unitru.edu.pe	<1%
•	sigrid.cenepred.gob.pe	<1%
•	www.reeditor.com	<1%
•	www.scribd.com	<1%
•	www.comunidadandina.org	<1%
•	beduniv.mes.edu.cu	<1%
•	cybertesis.uni.edu.pe	<1%
•	dimse.cenepred.gob.pe	<1%
•	www.funsepa.net	<1%
•	portal.indeci.gob.pe	<1%
•	repositorio.ucv.edu.pe	<1%

OBSERVACIONES

Ninguna





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
UNIDAD DE POSGRADO

CALIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones

- **27/02/2023**

CARLOS DEL VALLE JURADO
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO

cc:

CDJ/spr



MODELO DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO POR PELIGRO DE INUNDACIONES PARA EL CÁLCULO DEL COSTO EVITADO. CASO SECTOR EL PISTE, CIUDAD DE CALCA, CUZCO

por Juan Carlos Montero Chirito

Fecha de entrega: 27-feb-2023 09:36a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2024305614

Nombre del archivo: Tesis_-_Juan_Montero.docx (24.02M)

Total de palabras: 27720

Total de caracteres: 156235

MODELO DE VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO POR PELIGRO DE INUNDACIONES PARA EL CÁLCULO DEL COSTO EVITADO. CASO SECTOR EL PISTE, CIUDAD DE CALCA, CUZCO

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	2%	1%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
3	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1%
5	www.gestiondelriesgo.org.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.riesgoycambioclimatico.org Fuente de Internet	<1%
8	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%

9	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
10	pt.scribd.com Fuente de Internet	< 1 %
11	ugelquispicanchi.gob.pe Fuente de Internet	< 1 %
12	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	< 1 %
13	www.infoandina.org Fuente de Internet	< 1 %
14	www.ieut.cl Fuente de Internet	< 1 %
15	www.yumpu.com Fuente de Internet	< 1 %
16	documents.mx Fuente de Internet	< 1 %
17	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
18	sigrid.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	< 1 %
19	www.reeditor.com Fuente de Internet	< 1 %
20	www.scribd.com Fuente de Internet	< 1 %

21	www.comunidadandina.org Fuente de Internet	< 1 %
22	beduniv.mes.edu.cu Fuente de Internet	< 1 %
23	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %
24	dimse.cenepred.gob.pe Fuente de Internet	< 1 %
25	www.funsepa.net Fuente de Internet	< 1 %
26	portal.indeci.gob.pe Fuente de Internet	< 1 %
27	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	< 1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 35 words

Excluir bibliografía

Activo

DEDICATORIA

A mis cuatro preciados tesoros: Celeste Nicolle, Juan Angelo, Keysi y Bludid, mis adorados hijos y esposa, quienes enaltecen mi vida.

A mis padres, por su invaluable esfuerzo, por brindarme una formación ética, cultural y profesional.

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas instituciones y personas que, con su ayuda desinteresada, han contribuido en la concreción de la presente tesis. Particularmente, al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y a la Autoridad Nacional del Agua, por facilitarme acceso a su data, y a mi Asesor, por orientarme en el proceso, por su disposición a supervisar continuamente mi progreso, por motivarme y ayudarme a consolidar un trabajo contundente.

Agradezco especialmente a mi familia y mis amigos, por comprenderme, animarme y acompañarme con todo su afecto. Sin su apoyo, no hubiera sido posible la dedicación que mereció esta tesis.

Muchas gracias a cada uno de ellos.

Resumen	xii
Abstract.....	xiii
Presentación	xiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del Problema	5
1.2. Preguntas de Investigación	13
1.3. Justificación.....	13
1.4. Objetivos	15
1.4.1. Objetivo general.....	15
1.4.2. Objetivos específicos.....	15
1.5. Hipótesis.....	16
1.5.1. Hipótesis general.....	16
1.5.2. Hipótesis específicas	16
CAPÍTULO II: MARCO INTERPRETATIVO	17
2.1. Marco epistemológico	17
2.2. Marco teórico.....	18
2.2.1. Variabilidad Climática.....	18
2.2.2. Inundaciones.....	20
2.3. Antecedentes	27
2.3.1. Riesgo de Desastre	33
2.3.2. Gestión del Riesgo de Desastre y Cambio Climático	39
2.3.3. Costo evitado	54
2.4. Marco contextual	55
2.4.1. Ecología y clima	59
2.4.2. Centros poblados y comunidades	62
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	65
3.1. Diseño del estudio.....	65
3.2. Tipo de investigación.....	76
3.3. Unidad de análisis	77
3.4. Población de estudio.....	77
3.5. Periodo de estudio	78
3.6. Tamaño de muestra	78
3.7. Selección de muestra	79

	vi
Validez de instrumentos	80
3.8. Operacionalización de variables.....	82
3.9. Matriz de consistencia	84
3.10. Técnicas de recolección de datos.....	85
3.11. Análisis e interpretación de la información	86
3.12.1. Determinación de tendencias lineales e temperatura y precipitación	92
3.12.2. Análisis estadístico de las tendencias de precipitación y temperatura.	94
3.12.3. Prueba de Mann-Kendall.....	95
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	96
4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados	96
4.1.1. Análisis de la tendencia lineal mediante registros históricos del SENAMHI y modelado de datos PISCO.....	96
4.2. Cálculo del costo evitado.....	111
4.3. Presentación de resultados.....	121
CAPÍTULO V: IMPACTOS	123
5.1. Propuesta para la solución del problema.	123
5.1.1. Medidas Estructurales.....	123
5.1.2. Medidas no estructurales.....	124
5.2. Costos de implementación de la propuesta.....	126
5.3. Beneficios	126
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXOS	142
Anexo 1. Data hidrometeorológica	142
Anexo 2. Registro fotográfico.....	144
Anexo 3. Compromiso del gobierno municipal.....	146
Anexo 4. Ficha de levantamiento de información para el análisis de la vulnerabilidad ..	147

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Frecuencia de eventos de origen natural y/o inducidos por la acción humana. Periodo 1970 – 2018.....	8
Cuadro 2. Inventario de inundaciones en el Sector El Piste. Periodo 1970 – 2018.....	9
Cuadro 3. Diferencias conceptuales entre Gestión del Riesgo y Adaptación al Cambio Climático.....	43
Cuadro 4. Cuencas hidrográficas en el distrito de Calca.....	56
Cuadro 5. Población en la cuenca del Qochoq y cuencas aledañas.....	62
Cuadro 6. Principales núcleos poblacionales en el distrito de Calca	63
Cuadro 7. Niveles de peligro ante inundaciones	74
Cuadro 8. Daños por Nivel de Inundación	75
Cuadro 9. Tipo y fundamentación de la investigación.....	76
Cuadro 10. Información meteorológica observada y modelada	78
Cuadro 11. Operacionalización de la variable independiente	82
Cuadro 12. Operacionalización de la variable dependiente	83
Cuadro 13. Definición nominal, real y operacional de las variables	83
Cuadro 14. Principales parámetros de peligro por inundación.....	87
Cuadro 15. Principales parámetros de vulnerabilidad.....	87
Cuadro 16. Variables de análisis de fragilidad y factor de influencia del evento	88
Cuadro 17. Fragilidad de la dimensión física	91
Cuadro 18. Periodo de estudio para el análisis de tendencia lineal	93
Cuadro 19. Tendencia lineal de temperatura media	97
Cuadro 20. Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio	101
Cuadro 21. Estadísticos de la temperatura máxima 1958 - 2017.....	103
Cuadro 22. Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio	104
Cuadro 23. Estadísticos de la temperatura mínima 1958-2017	105
Cuadro 24. Tendencia lineal de la precipitación.....	107
Cuadro 25. Estadísticos de precipitación 1961 - 2017	109
Cuadro 26. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno	110
Cuadro 27. Análisis del tirante crítico para T = 100 años.....	110
Cuadro 28. Análisis del tirante crítico para T = 200 años.....	110
Cuadro 29. Cálculo de llegada de un aluvión a Calca.....	111
Cuadro 30. Caudales aforados promedio cuenca del río Qochoq.....	111
Cuadro 31. Rangos del índice de Costo Evitado.....	112
Cuadro 32. Matriz de normalización - Fragilidad física	113
Cuadro 33. Matriz de normalización - Fragilidad económica.....	114
Cuadro 34. Matriz de normalización – Resiliencia social	114
Cuadro 35. Niveles de vulnerabilidad ante inundaciones.....	115

Cuadro 36. Pérdidas estimadas ante inundaciones por costos de viviendas	115
Cuadro 37. Depreciación por tipología de material en la vivienda	115
Cuadro 38. Matriz de daños en viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático	116
Cuadro 39. Matriz de daños en viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático	116
Cuadro 40. Matriz de daños en viviendas – Con modelo de vulnerabilidad al cambio climático	116
Cuadro 41. Costo Unitario de Construcción y de Daño.....	117
Cuadro 42. Valor de los daños en Viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático.....	117
Cuadro 43. Valor de los daños en viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático.....	118
Cuadro 44. Valor de los daños en viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático - Resumen	118
Cuadro 45. Valor de los daños en viviendas – Con modelo de vulnerabilidad al cambio climático.....	118
Cuadro 46. Matriz de correlación entre vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones y los costos evitados	119
Cuadro 47. Principales medidas estructurales identificadas	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Los peligros o amenazas en la cadena de efectos del cambio climático.....	22
Figura 2. Causa efecto del peligro de inundaciones.	23
Figura 3. Tipos de escalas de estudios de riesgos asociados al cambio climático.....	26
Figura 4. Elementos constitutivos del riesgo. Tetraedro del riesgo.....	45
Figura 5. Función de densidad de la variable aleatoria precipitación (agente o amenaza, hazard).....	47
Figura 6. Discretización en términos de la magnitud del agente para la posterior evaluación del riesgo.....	49
Figura 7. Mapa de ubicación de la ciudad de Calca, Cusco - Perú.....	57
Figura 8. Mapa satelital Distrito de Calca.....	58
Figura 9. Vista satelital de Calca.....	59
Figura 10. Vista aérea de la ciudad de Calca en el cono aluvial del Qochoq.	60
Figura 11. Esquema metodológico de la investigación.....	67
Figura 12. Distribución de estaciones meteorológicas seleccionadas para la investigación.....	69
Figura 13. Esquema metodológico para elaboración de escenarios de riesgo por inundación.....	71
Figura 14. Esquema conceptual modelo de vulnerabilidad.....	72
Figura 15. Metodología Evaluación de Riesgos.....	73
Figura 16. Metodología de cálculo de evitado de construcción de vivienda.....	74
Figura 17. Elementos expuestos de la dimensión física.....	89
Figura 18. Tendencia lineal de la temperatura media anual según periodo de evaluación (1958 – 2017).....	98
Figura 19. Temperatura media mensual (1958 – 2017).....	99
Figura 20. Temperatura media (1981 – 2017).....	100
Figura 21. Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio (1958 – 2017).....	101
Figura 22. Temperatura máxima mensual (1958 – 2017).....	102
Figura 23. Temperatura máxima (1981 – 2015).....	103
Figura 24. Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio (1958 – 2017).....	104
Figura 25. Temperatura mínima promedio (1958 – 2017).....	105
Figura 26. Temperatura mínima (1981 – 2015).....	106
Figura 27. Precipitación promedio mensual (1961 – 2017).....	108
Figura 28. Precipitación promedio (1961 – 2017).....	108
Figura 29. Precipitación promedio (1981 – 2016).....	109
Figura 30. Funciones de vulnerabilidad para inundación.....	113

Figura 31. Mapa de Peligros a Periodos de Retorno de 5-20 y 50-100 años121

Figura 32. Mapa de Peligros a Periodos de Retorno de 20-50 y 100-500 años.....122

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Comunidad Cancha-Cancha.....	64
Fotografía 2. Comunidad Cancha-Cancha.....	64
Fotografía 3. Obra de protección ante inundaciones	124
Fotografía 4. Sector El Piste	144
Fotografía 5. Sector El Piste	144
Fotografía 6. Vista aérea Sector El Piste	144
Fotografía 7. Calles y viviendas en El Piste	145
Fotografía 8. Puente Yabar	145

Resumen

En la presente tesis se analizaron los aspectos teóricos y prácticos necesarios para el desarrollo de un modelo de vulnerabilidad al cambio climático ante el riesgo de inundaciones para el cálculo del costo evitado, con relevancia del aspecto geológico. La elaboración de este modelo consistió en la consolidación de un estado del arte acerca de la modelación de la vulnerabilidad en cuanto a inundaciones. El objetivo principal ha sido establecer el grado de influencia del modelo en el cálculo del costo evitado de destrucción de viviendas en el Sector El Piste, situado en Calca, Departamento de Cusco. El desafío consistió en la simulación de procesos que de forma natural ocurren gradualmente, en una pequeña escala, por medio de expresiones discretas en tiempo y espacio. La parte final de la tesis se enfocó en la validación del modelo, mediante comparación de los resultados numéricos con soluciones a diferentes periodos de retorno, obteniéndose diversos radios de afectación ante inundaciones. La principal conclusión resultante ha sido que, aunque existen modelos propuestos ante inundaciones, ninguno ha estado orientado al cálculo del costo evitado por inundaciones.

Palabras clave: modelo, vulnerabilidad al cambio climático, inundaciones, costo evitado, simulación.

Abstract

This thesis analyses the theoretical and practical aspects necessary for the development of a model of vulnerability to climate change in the face of flood risk for the calculation of the avoided cost, with relevance to the geological aspect. The elaboration of this model consisted in the consolidation of a state of the art about vulnerability modeling in terms of floods. The basis of this model is the elaboration of a state of the art on vulnerability modeling in the subject of floods. The main objective has been to establish the influence of the model in the calculation of the avoided cost of destruction of houses in the El Piste Sector, located in Calca, Department of Cusco. The challenge consisted in simulating processes that naturally occur gradually, on a small scale, through discrete expressions in time and space. The final part of the thesis focused on the validation of the model, by comparing the numerical results with solutions to different return periods, obtaining different radii of affectation in case of floods. The main resulting conclusion has been that, although there are proposed models for floods, none has been oriented to the calculation of the cost avoided by floods.

Keywords: model, vulnerability to climate change, floods, avoided cost, simulation.

Presentación

La tesis se estructura en 5 capítulos. En el capítulo I, de Introducción, se detalla el planteamiento del problema, las preguntas de investigación, la justificación teórica y práctica, así como los objetivos del trabajo de investigación.

El capítulo II trata sobre todo el tema teórico, el marco filosófico de la investigación, antecedentes de la investigación en el territorio nacional, así como las bases teóricas del modelamiento de la vulnerabilidad al cambio climático, como herramienta para la gestión del riesgo ante inundaciones.

El capítulo III, trata todo lo referido a la metodología utilizada en la investigación, tal como la perspectiva de análisis de vulnerabilidad al cambio climático ante inundaciones. Se define un modelo de vulnerabilidad que considera la geología y la simulación de flujo.

El capítulo IV, de resultados y discusión, se establece la corrida del modelo para periodos de retorno de 20, 50, 100 y 500 años en el tema de inundaciones, estableciéndose radios de afectación de acuerdo al periodo de retorno.

Finalmente, el capítulo V, de impactos, se considera los aspectos de dinámica económica, social y ambiental en el Sector El Piste, producto de la implementación del modelo.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las culturas ancestrales del Perú concebían la armonía entre el hombre y la naturaleza como principio fundamental. Así, los hombres eran uno con el ambiente que habitaban. La no separación entre hombre y ambiente alimentaba un sólido respeto por la naturaleza, a la que, incluso, se habituaba rendir culto. Por esta razón, la cosmovisión andina se sustenta en la noción de *Pacha*, en referencia al todo en esta existencia. Yacasi Ccalluhuanca (2017) indica que el culto a la *Pachamama* se ha inmiscuido culturalmente a tal punto que aún se conservan numerosos rituales de agradecimiento.

Pachakuti es un concepto que remite al fin del espacio-tiempo conocido. Es un cambio del orden, donde se invierte el espacio-tiempo, conocido como *pacha*. Es una transformación en la que "...lo que está 'arriba' pasa a 'abajo' e inversamente igual" (Insunza, 2010, pág. 2). Este cambio profundo y radical se asocia tanto al sufrimiento de las poblaciones como a los desastres naturales, que se interpretan como castigo divino (Cruz Cuentas, 2017).

Un modo de comprender el mundo desde la óptica de los pueblos andinos, cuya cultura se ha cimentado hace alrededor de cinco mil años atrás, es por medio de su mitología. A partir de la transformación de las sociedades simples en sociedades complejas, ocurrió el “gran *pachakuti*”, que dio lugar a esta cultura milenaria.

Desde aquel entonces, las civilizaciones andinas supieron atribuir el concepto de *pachakuti* a cada uno de los desastres que cambiaron el orden establecido, incluida la conquista del Perú, en el siglo XVI (Poderti, 2019). Fenómenos climáticos anómalos, como es el caso de *El Niño*, cuya manifestación en los años 2015 y 2016 fue calificada como la más grave del siglo XXI (Arntz Wolf & Ehrbach, 1996), también pueden considerarse *pachakutis*.

Dada la importancia de estos hitos que han transformado *pacha*, en los vestigios de las culturas incaicas es posible hallar muestras de los eventos fundamentales que han acaecido a lo largo de la historia, cuya incidencia configura las condiciones climáticas presentes y futuras.

En referencia a la conquista del Perú, Puicón et al. (2009) explican que “la llegada de los españoles durante la tercera década del siglo XVI fue calificada por muchos como uno de los ‘*pachacutis*’, por el carácter destructivo de este proceso que significaba el final de una época” (pág. 198). Este punto de inflexión en la historia no se limitó a una mera cuestión de transformación social, sino que acarreó consecuencias devastadoras en distintos planos.

La conquista española implicó “...un colapso demográfico cataclísmico, la destrucción de los sistemas de adaptación al ambiente y la sustitución del eje económico agrario por la minería” (Puicón et al.,

2009, pág. 198). Hubo una drástica modificación del "...modelo de organización del Tahuantinsuyo, que incluía estrategias de adaptación a los peligros naturales y de prevención ante posibles situaciones de desastre" (Puicón et al., 2009, pág. 198), al tiempo que se favorecieron las lógicas "longitudinales", en detrimento de las lógicas "verticales" o "transversales", priorizando el desarrollo costero y menoscabando el progreso en las sierras y zonas selváticas.

El nuevo orden establecido en la conquista ocasionó que los indígenas quedasen desprovistos del control productivo y del acceso a tierras para el cultivo, desgajando incluso la logística de las *qollqas*. Siendo que "el sistema económico que se implementó durante la colonia estaba centrado en la producción de valor para los amos europeos mediante la institución del intercambio de mercados" (Oliver Smith, 1994), los indígenas se sumieron en la pobreza.

En tiempos prehispánicos, el respeto de los pueblos andinos por la naturaleza inspiró una ocupación territorial que disminuía la vulnerabilidad de los habitantes a los eventos climáticos (Puicón et al., 2009). Puicón et al. (2009) argumentan que "uno de los principales aspectos de la cultura Inca que se debe revalorar es la eficiente planificación del Tahuantinsuyo, que aseguró el bienestar de la población incaica" (pág. 197). En este sentido, explican que la organización territorial se valía de: 1) un sistema vial, cuyo eje principal era el *Qhapaq Ñan*; 2) un sistema de urbes, incluyendo asentamientos y ciudades; y 3) un sistema de pisos ecológicos para la producción agrícola. Al mismo tiempo, la infraestructura diseñada se complementaba con: "a) el sistema de comunicaciones, que se basa en los *chasquis*; b) el flujo de bienes, que se apoyaba en los tambos y

depósitos; y c) el sistema de unidades de administración, que tomaba en cuenta la subdivisión total del territorio” (Puicón et al., 2009).

De acuerdo con Agurto Calvo (1987), la civilización Inca contaba con “...tres niveles de planificación: a) la planificación social, asociada al control y el manejo de la población; b) la planificación económica, que aseguraba adecuados niveles de productividad y el equilibrio entre producción y consumo; y c) la planificación física, que velaba por la buena organización territorial, urbana y constructiva” (citado en Puicón et al., 2009, pág. 197).

Entre otras cosas, la cultura Inca estableció “...un sistema de redistribución basado en un gran número de depósitos de acopio de productos excedentes para casos de emergencia” (Puicón et al., 2009, pág. 197), con la construcción de *qollqas*, silos que acopiaban alimento, como medida preventiva a los posibles desastres naturales, dentro de su estrategia de seguridad alimentaria.

Por su parte, Oliver Smith (1994) clasificó la adaptación de los pueblos andinos en cinco tipos diferentes y complementarios: “a) control de múltiples niveles ecológicos; b) dispersión de los asentamientos humano; c) uso de materiales y técnicas de construcción adecuadas para el ambiente; d) preparación; y e) ideología y modos de explicación” (pág. 124).

En alusión al *pachakuti* que significó la conquista, Puicón et al. (2009) advierten que “...este cambio sería uno de los factores más importantes de la actual crisis del país” (pág. 198). Los conquistadores, desestimando todo el conocimiento andino sobre el territorio y la configuración de los caminos y asentamientos, “al decidir la ubicación

de las poblaciones, hicieron caso omiso de la experiencia sobre peligros en el ambiente andino y ubicaron sus pueblos, sobre todo, en los puntos de confluencia de los ríos, donde eran vulnerables a inundaciones y huaicos” (Puicón et al., 2009, pág. 198).

1.1. Planteamiento del Problema

Con la conquista española, inició un proceso de separación del hombre y *pacha*. Desmereciendo la planificación territorial de los organizados pueblos ancestrales andinos, se configuró erróneamente el territorio, lo que derivó en el incremento de la vulnerabilidad de sus habitantes a los desastres naturales. Las consecuencias del *pachakuti* del siglo XVI prevalecen hasta nuestros días, con efectos que se agravan con el paso del tiempo.

Este trabajo de investigación hace foco en la organización territorial en el Sector El Piste, situado en la ciudad de Calca, capital de la Provincia de Calca, Departamento de Cusco, Perú. En El Piste se han detectado graves problemas en relación al estado de las viviendas y la planificación territorial en función a la adaptación climática, principalmente en lo que respecta al peligro de inundaciones.

En relación a la construcción de las viviendas, ninguna utiliza de forma adecuada la tecnología tradicional de adobe. Se halla deficiencia constructiva en la cimentación, falta de sobrecimiento de piedras y falencias asociadas a la técnica constructiva, como omitir el uso de morteros de barro en las uniones.

“En Piste, el 67% de las edificaciones, tienen 1 piso, mientras que un 32,21% son de dos pisos. No existen edificaciones de 3 o más pisos” (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina

[PREDECAN], 2008). A esto se suma que "...el 77% de las edificaciones se encuentran en regular estado, seguido de un 19% en mal estado y sólo un 10% en buen estado de conservación" (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008), resultando en una situación generalizada de desidia.

Cabe destacar que "...las viviendas en mal estado se encuentran en su mayoría pegadas a la ribera del río" (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008), con el riesgo que esto implica. En este sentido, se observa que "...gran parte de las edificaciones y/o viviendas (de uno y dos niveles), construidos con materiales de adobe y material noble; representan un 88% de edificaciones expuestas a inundaciones" (Sequeiros Cuba & Farfán Encalada, 2011).

Así tenemos que para el Sector de Piste se han identificado los siguientes peligros como los más relevantes:

Deslizamiento: Se ha identificado que "...uno de los peligros en la cuenca del Qochoq es un deslizamiento en la parte media, denominada Accha Baja a 10 Km. al norte de la ciudad de Calca, que podría provocar un embalse del río y posterior aluvión sobre la ciudad" (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008), siendo el Sector El Piste el primero en ser impactado. Además, se informó el estado de deterioro "...de una presa de la laguna de Pampacocha que almacena 600 mil m³ de agua" (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008).

Derrumbes: “El derrumbe de laderas se localiza en Piste, Km. 2.7 de la vía a Lares y el de riberas, en el cauce del río, especialmente entre Planta Grande y Kukurumi. En Piste se producen derrumbes o desplomes del talud de laderas, ocasionados por la alteración de su pendiente o por movimientos sísmicos de regular intensidad.” (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008)

Inundaciones: La frecuente incidencia de inundaciones por desborde del río *Qochoq* ocasiona zozobra en los pobladores que viven permanentemente alertados, principalmente en temporada de lluvias (noviembre a abril). “De acuerdo a la cronología de eventos, los desbordes han llegado a tomar la carretera como segundo cauce y alcanzar el mismo centro de la ciudad de Calca” (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008).

Las inundaciones son el fenómeno natural de origen hidrometeorológico más peligroso en la zona, con recurrencia de eventos extremos un promedio de cada 3 años. Dependen del sistema climático prevaleciente y de las características geomorfológicas y topográficas de un lugar. Las inundaciones se convierten en desastre cuando unidades sociales ocupan áreas cercanas a los álveos o cursos de agua como llanuras de inundación que son las áreas de reserva que tienen los ríos para evacuar los excesos de caudal que soporta dicho cauce.

La frecuencia de eventos en la zona de estudio se resume en el cuadro N° 1, donde se aprecia que las inundaciones es el evento más

recurrente en los últimos 30 años. Así mismo el detalle de las 14 inundaciones es detallado en el Cuadro N° 2.

Cuadro 1. Frecuencia de eventos naturales y/o inducidos por acción humana. Periodo 1970 – 2018

Fenómeno	N° Eventos
Inundaciones	18
Embalse/deseembalse	4
Deslizamiento	5
Granizada	5
Helada	7
Aluviones	2
Precipitaciones intensas	4
Sismo	3
Huayco	4
Incendio urbano	5
Vientos fuertes	6
Sequía	2
Incendio Forestal	2
Caída de rocas	2
	69

Fuente. Adaptado de SINPAD, INDECI (2019).

Nota. El cuadro muestra la frecuencia de fenómenos ocurridos entre los años 1970 – 2018.

Cuadro 2. Inventario de inundaciones en Piste (periodo 1970 – 2018)

Fecha	Lugar	Fuente de Información	Detalle
1980	Piste	Ciudades Sostenibles	Inundaciones y huaycos. Puentes provisionales dañados.
24/01/1982	Piste	El Comercio 24.01.82	
23/03/1983	Piste	El Comercio 24.03.77	Inundación de carretera. Afectación de bocatomas y puentes en El Piste.
05/04/1986	Piste	El Comercio 07-04-86	Embalse río Qochoq. 82 damnificados, 16 viviendas afectadas, 6 ha. Afectadas en El Piste.
16/01/1990	Calca	INDECI	75 damnificados, 15 viviendas afectadas.
12/12/1993	Piste	INDECI	5 viviendas afectadas.
15/01/1998	Piste	INDECI	288 damnificados, 48 viviendas destruidas, CPDC de Calca efectúa trabajos de rehabilitación de la carretera, apoyo logístico a damnificados.
04/02/2000	Piste	INDECI	2 a.m. de la madrugada. Desembalse arrasó la tubería de conducción de EMSAPA; inundó parte de terrenos de cultivo y la carretera Calca-Piste, así como 16 viviendas del barrio Piste, afectando casas y animales menores.
09/02/2002	Piste	Ciudades Sostenibles	Sin mayores daños.
04/02/2003	Zona de Piste	Ciudades Sostenibles	Precipitaciones pluviales incrementaron el caudal del río Qochoq. 05 familias damnificadas.
09/02/2003	Calca	SIAPAD	Inundaciones afectan viviendas.
13/01/2006	Piste	SIAPAD	Desborde del río Qochoq que inunda viviendas. 10 familias (40 personas) damnificadas por ser declaradas inhabitables sus viviendas. Los propietarios recuperaron la mayor parte de sus pertenencias.
05/02/2008	Piste	SIAPAD	Muros de defensa afectados en El Piste.
09/03/2011	Piste	SIAPAD	8 viviendas afectadas.
04/02/2015	Piste	SIAPAD	Desborde del río Qochoq que inunda viviendas. 2 familias (8 personas).
08/03/2016	Piste	SIAPAD	

Fuente. *Elaboración propia (2020).*

Nota. El cuadro muestra el detalle de las inundaciones ocurridas en el Sector El Piste entre los años 1970 – 2018.

En el periodo 1997- 1998 el Fenómeno El Niño - FEN causó pérdidas en el territorio nacional por US\$ 3500 millones de dólares americanos¹, siendo las inundaciones los fenómenos más frecuentes y que más daño causan a nivel mundial. Así tenemos que las inundaciones que afectaron el Cusco el 2011 produjeron como consecuencias 20 muertos, 37,000 damnificados y alrededor de 1,200 millones de soles en pérdidas², siendo la inundación de Calca en el 2016 el último reporte que causó serias afectaciones a viviendas de la localidad³.

Para prevenir y mitigar los efectos que producen las inundaciones es que se utilizan metodologías de análisis de peligros y vulnerabilidades como parte del proceso de estimación del riesgo.

El Gobierno del Perú, mediante la Ley N° 29664 (2011) y su reglamentación, aprobada con Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, creó el “Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD” (2011), que ofrece una definición del “proceso de estimación del riesgo de desastres” (Art. 6º, lit. a, num. 6.2) indicando que “comprende las acciones y procedimientos que se realizan para generar el conocimiento de los peligros o amenazas, analizar la vulnerabilidad y establecer los niveles de riesgo que permitan la toma de decisiones en la Gestión del Riesgo de Desastres”. (p.4).

El territorio de la ciudad de Calca siempre ha sido propenso a los peligros asociados a lo geológico y climático. Por un lado, comprende

¹ Conceptos asociados a la gestión de riesgos de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo (DGPM-MEF, 2007).

² Gobierno Regional de Cusco, 2015.

³ Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, 2016 – INDECI.

una zona de actividad sísmica y, por otro lado, se producen lluvias extremas, exacerbadas por el Fenómeno El Niño (FEN).

Al respecto de los peligros de mayor relevancia, la Gestión del Riesgo de Desastres conceptualiza la vulnerabilidad que se asocia a los factores físicos como componentes de la vulnerabilidad total de las unidades sociales, y éstas, a su vez, como uno de los dos factores para estimar el riesgo, junto con el análisis de peligros. Sin embargo, con el enfoque de la Ley N°29664 los desarrollos de estas metodologías requieren de un análisis y un replanteamiento más específicos, puesto que para las inundaciones o aluviones no existen metodologías de trabajo desarrolladas por entidades públicas, sino de manera genérica que deben ser adaptadas a cada peligro.

La **vulnerabilidad física** se relaciona con lo tangible. Esto es, con la precariedad de las construcciones y la falta de capacidad socioeconómica para asimilar los efectos del peligro. Es en el último aspecto que la presente investigación hace foco y busca plantear soluciones puntuales a la problemática de carencia de un método específico para el abordaje en centros poblados como el de Piste.

El análisis climático se refiere a la caracterización de las condiciones extremas del clima que afectan la vida del Sector El Piste, y los impactos que tiene en la zona. Estos impactos dependen de la intensidad y duración de una anomalía en las lluvias, así como el grado de vulnerabilidad de la sociedad ante estos eventos.

En la parte norte de la ciudad de Calca se localiza el **Sector de Piste**, por donde discurre el río Qochoq y atraviesa este sector y la ciudad de Calca desembocando al río Vilcanota del Valle Sagrado de los Incas.

Dentro del Sector de Piste existe una asociación con 82 socios, de los cuales 70 son miembros activos. Así como pobladores foráneos nacionales y extranjeros que han ido poblando la zona, haciendo una población de 650 habitantes.

Los factores que participan en el incremento del caudal son: intensas precipitaciones, caída de huaycos sobre ríos, deslizamiento.

Esta investigación pone a disposición de la Municipalidad Distrital de Piste una herramienta que facilite el análisis climático ante inundaciones. Esta iniciativa pretende empoderar a los actores involucrados para el diseño y la co-gestión de políticas públicas y planes de gestión de riesgos, en el marco de los principios de la Ley N°29664.

La definición de un problema para su investigación, requiere cierta transparencia respecto de la posición del observador, que en este caso enfrenta el tema de criterios metodológicos incluyendo la Gestión del Riesgo de Desastres considerando la variable climática, asumiendo que esta es efectivamente una alternativa de desarrollo o un camino para construir modelos de desarrollo más amigables con el ambiente y más democráticos en cuanto a oportunidades.

El requerimiento primordial para tal desarrollo territorial sostenible y la gestión efectiva del riesgo que lo sustenta, consiste en conocer el riesgo. Es decir, tanto de los peligros como los factores de vulnerabilidad y los procesos sociales que crean el riesgo y permiten su permanencia en la sociedad.

1.2. Preguntas de Investigación

- ¿Cómo influye en el cálculo del costo evitado el modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en El Piste, Calca, Cusco?
- ¿Qué herramienta metodológica facilitará el análisis de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en El Piste, Calca, Cusco?
- ¿Qué parámetros considerar en el modelo de vulnerabilidad al cambio climático que facilite su implementación en El Piste, Calca, Cusco?
- ¿Qué procedimiento metodológico permitirá calcular el costo evitado en afectación de viviendas ante riesgo de inundaciones El Piste, Calca, Cusco?

1.3. Justificación

Por medio del modelo se recrean condiciones ambientales representativas que facilite la determinación de tendencias futuras. Otro aspecto novedoso es el tema de determinar variables de cambio climático a ser consideradas en las políticas y estrategias de desarrollo.

La originalidad del proyecto radica en que es una propuesta sustentada técnicamente en el marco de enfoques conceptuales de la gestión del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático y con aplicación directa en el nivel local, basado en un modelamiento del análisis de riesgo climático sobre un territorio expuesto recurrentemente a inundaciones, con una perspectiva de brindar una herramienta que facilite el proceso de gestión prospectiva del desarrollo a nivel local.

Se considera que el Sector El Piste, Calca, debe basar su desarrollo estratégico en la planificación territorial para organizar y distribuir

adecuadamente sus actividades socioeconómicas y recursos en su espacio jurisdiccional, incorporando en sus instrumentos de gestión indicadores de cambio climático que les permita implementar procesos de desarrollo sostenibles y bajo condiciones de seguridad en su territorio.

El principal impacto en la zona es la transferencia de instrumentos metodológicos concernientes al análisis de vulnerabilidad ante peligros de origen climático, que viabilicen soluciones integrales a los problemas físico-espaciales, una mejor orientación hacia proyectos inversionistas en zonas seguras a desastres, así como aprovechar las potencialidades locales y su relación directa con el Presupuesto Participativo y los Planes para el Desarrollo Concertado, como bases de un desarrollo sostenido que contribuya a robustecer la identidad cultural local.

La investigación permitirá:

Contar con una herramienta de análisis de vulnerabilidad local que ayude a tomar decisiones de inversión a los gobiernos regional y local, frente al Cambio Climático.

Generar y validar un modelo de vulnerabilidad al cambio climático, que facilite una planificación más integral y coherente con las potencialidades y limitaciones del territorio.

Facilitar la incorporación de instrumentos técnicos ante inundaciones como estrategia de sostenibilidad en los procesos y planificación del desarrollo.

Responde de esta forma a aportar hacia una planificación orientada a considerar la vulnerabilidad al cambio climático ante peligro por

inundaciones e implementar acciones conducentes a calcular el costo evitado de afectación de viviendas en El Piste, Calca.

Un modelamiento de vulnerabilidad climática ofrece entonces oportunidades tanto correctivas (reducción de riesgos existentes) como prospectivas (evitar la creación de nuevos peligros y vulnerabilidades) para la gestión del riesgo climático, fomentando a la vez la adaptación al cambio climático.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Establecer el grado de influencia del modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en el cálculo del costo evitado de destrucción de viviendas en El Piste, Calca, Cusco.

1.4.2. Objetivos específicos

Diseñar una metodología para el análisis de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en El Piste.

Determinar parámetros a considerar en el modelo de vulnerabilidad al cambio climático que facilite su implementación en El Piste.

Desarrollar una metodología que permita calcular el costo evitado en afectación de viviendas ante riesgo de inundaciones.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones influye significativamente en el cálculo del costo evitado de destrucción de viviendas ante inundaciones en El Piste, Calca, Cusco.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a) Si implementamos un modelo de vulnerabilidad al cambio climático ante peligros por inundaciones en El Piste, se facilitará el análisis de vulnerabilidad.
- b) La cantidad de precipitación, el tipo de suelo y la localización espacial de la infraestructura deben ser considerados en el modelo de vulnerabilidad al cambio climático que facilite su implementación en el Sector El Piste.
- c) Si aplicamos el procedimiento metodológico para evaluar los efectos socioeconómicos y ambientales en la medida del impacto de los desastres, calcularemos el costo evitado de afectación de viviendas ante riesgo de inundaciones.

CAPÍTULO II: MARCO INTERPRETATIVO

2.1. Marco epistemológico

Son muchas las interpretaciones de “lo que es el conocimiento científico” (León & Baquero, 2010). En busca de delimitar una posición, se ha decidido construir una epistemología propia.

Por medio de la epistemología “...se pretende mostrar la posición desde donde se mira el problema de investigación: el sentido y la forma de acercarse a la información, los criterios de selección de datos, fuentes y autores y finalmente la manera de mirar los resultados” (León & Baquero, 2010). Sierra plantea que la componen “...tres elementos: un sujeto, un objeto y su estructura que los relaciona” (como se citó en León & Baquero, 2010). Para efectos de este estudio, el sujeto es quien investiga, el objeto es el Sector El Piste y las relaciones, todas aquellas metodologías e instrumentos que se observan al plantear el problema de investigación.

El análisis epistemológico, supone tomar posición respecto de los conceptos de conocimiento, ciencia y método científico (León & Baquero, 2010). Por el primero se entenderán todos aquellos contenidos sabidos adquiridos por diferentes procesos cognitivos. Por el segundo, aquellos procesos dinámicos mediante los que se adquieren conocimientos, a través de cánones que otorgan validez, que no son absolutamente autónomos, pero que permiten la validación de las metodologías, siguiendo a Samaia (como se citó en León & Baquero, 2010).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Variabilidad Climática

Torres & Gómez (2008) indican que "...la variabilidad climática es entendida como intrínseca al clima. La variabilidad climática comprende variaciones en el estado promedio del clima en todas las escalas temporales y espaciales comprendiendo eventos meteorológicos extremos que ocurren con cierta periodicidad" (pág. 89). Son ejemplos: los años extremadamente cálidos, inundaciones, eventos lluviosos, entre otros. Las variaciones del clima por determinados periodos de tiempo se denomina variabilidad climática (Montealegre, 2009).

Por otro lado, Montealegre (2009), indica que "...a nivel local el estudio de la variabilidad climática permite analizar los impactos de la variación del clima o del cambio climático" (pág. 54). Debido a que está situado en una escala temporal-espacial, se adecúa a nuestro ciclo de vida e influye en las actividades del hombre, presentando ya fuertes cambios para la población y las actividades económicas en los países.

Recientemente, "los estudios sobre cambio climático se han enfocado a estudiar los cambios en frecuencia tales como la intensidad de los eventos extremos" (Renom, 2009, p. 6). Los estudios se basan en índices que se generan desde bases de datos periódicos de una determinada localidad y, así, son comparables a nivel global. De la misma manera, el cambio climático se manifiesta en cambios en los patrones de circulación atmosférica y se ve reflejado en el aumento de la temperatura de la superficie terrestre y de los océanos, también en los cambios de patrones de precipitación (Renom, 2009).

Shady (2006) menciona que "...la civilización es una forma de organización social caracterizada por la existencia de ciudades, estratificada y gobernada por autoridades políticas, con especialistas en diferentes actividades productivas, artísticas e intelectuales y poblaciones que observan normas de comportamiento culturalmente determinadas" (pág. 23), lo que fomenta el desarrollo social bajo un enfoque integral y sostenible, propiciando la recuperación de conocimientos y tecnologías apropiadas.

Según Popper (1957), la sociología "...intenta comprender el desarrollo histórico más bien en términos cualitativos; en términos de un conflicto de tendencias y de fines. Las ciencias sociales no conocen nada que pueda compararse a las leyes causales matemáticamente formuladas de la física" (Popper, 1957, p. 22). Además, precisa el argumento historicista contra los métodos cuantitativo-matemáticos, la tarea del sociólogo es dar una explicación causal de los cambios sufridos en el curso de la historia por entidades sociales. En ese contexto la predicción social tiene que ser muy difícil, no sólo por causa de la complejidad de las estructuras sociales, sino también por causa de una complejidad peculiar que nace de la mutua conexión entre las predicciones y los sucesos predichos (Popper, 1957).

Igualmente, los costos evitados por la identificación, priorización e implementación de medidas de reducción del riesgo en el ámbito de investigación constituyen los beneficios de la inversión en reducción del riesgo, por cuanto pues son los costos en los que socialmente se incurriría en el caso de que un peligro natural interrumpiera los servicios básicos en el Sector El Piste.

2.2.2. Inundaciones

SENAMHI (2019) menciona que “las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes” (p.6). Esto forma parte de un proceso de ordenamiento del territorio y por lo tanto es un proceso de negociación, por ende, requiere de un enfoque participativo. Lo mismo vale desde el punto de vista de la gestión del riesgo, debido a que el riesgo, más allá de valoraciones objetivas, también se encuentra supeditado a valoraciones subjetivas. “Lo subjetivo se refiere a las formas distintas en que los mismos sujetos del riesgo perciben y miden el riesgo (...) y las nociones que manejan en lo que se refiere al riesgo aceptable, aceptado o inaceptable” (Lavell, 2015).

Las ocupaciones de diversas zonas geográficas en el país presentan incrementos de peligros de origen natural e inducidos por el hombre, con cambios demográficos, degradación del ambiente y deficiencias estructurales que las vuelven inadecuadas para mitigar riesgos, por lo cual, la población tendrá un rol clave en la reducción de vulnerabilidad evitando consecuencias mayores.

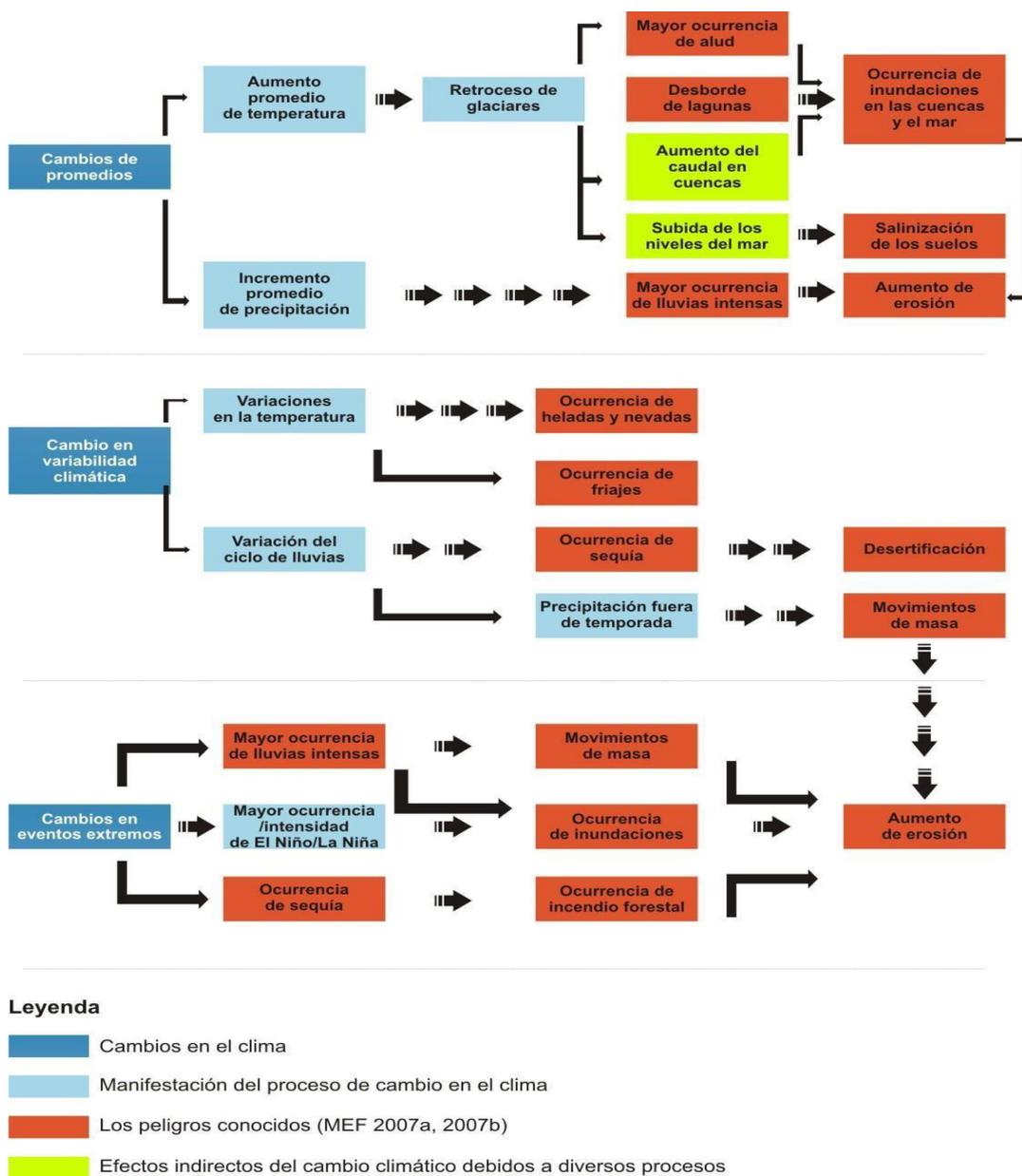
La Unión Europea define que una “...inundación es el cubrimiento temporal por agua de una tierra que normalmente no se encuentra cubierta. Por lo tanto, se incluyen las inundaciones producidas por ríos, torrentes, corrientes de agua efímeras e inundaciones marítimas en zonas costeras” (Directiva Europea 2007/60/EC).

El Ministerio de Economía y Finanzas de Perú considera inundaciones cuando se afecta población e infraestructura en la manifestación del evento.

Las inundaciones generan daños como: pérdida de vida de las personas, su salud, sus bienes e infraestructura, además de dañar el ambiente.

En la **figura 1** que se muestra a continuación, sobre la cadena de los efectos del cambio climático y su relación con los peligros de origen hidrometeorológico, se representa las relaciones de causalidad desde los principales cambios asociados al cambio climático (cambios en promedios y variabilidad del clima, así como eventos extremos) que pueden generar cambios en las intensidades y recurrencias de fenómenos conocidos en determinados territorios o “nuevos” para dichos territorios.

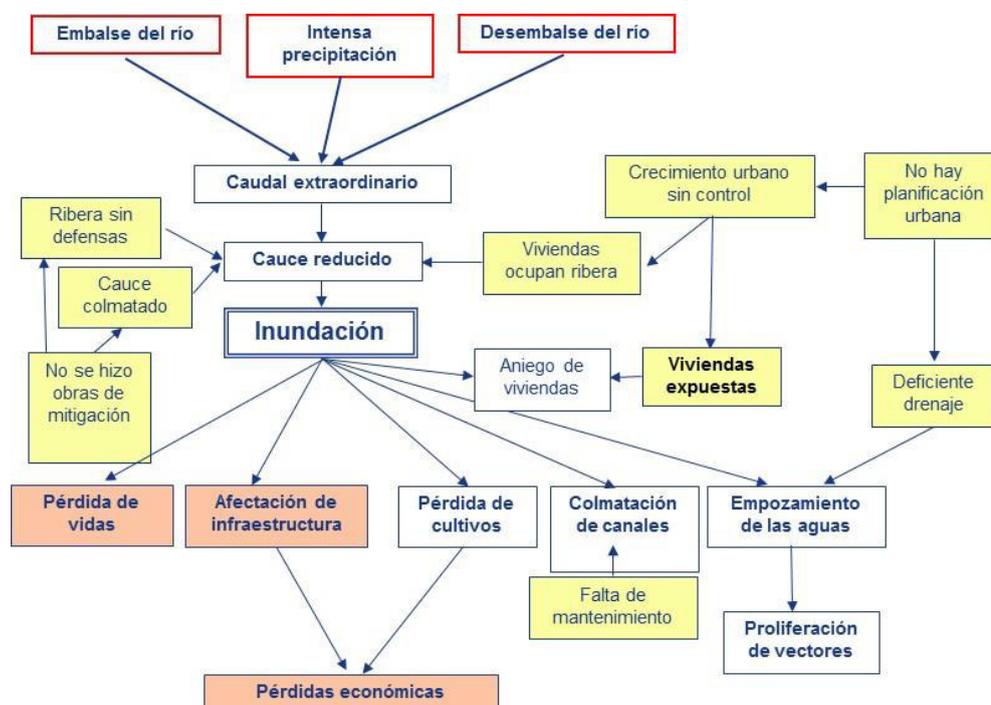
Figura 1. Los peligros o amenazas en la cadena de efectos del cambio climático.



Fuente. Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), 2016.

Así mismo en la figura N°2 se muestra los aspectos de causa efecto por inundaciones.

Figura 2. Causa efecto del peligro de inundaciones.



Fuente. Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), 2016.

Tipos de Inundaciones

Las inundaciones pueden clasificarse: **Por su Duración y Origen.**

Por su Duración

Inundación Dinámica o Rápida:

INDECI (2011) menciona que:

“Se producen en ríos cuyas cuencas presentan fuertes pendientes, por efecto de las lluvias intensas. Las crecidas de los ríos son repentinas y de corta duración. Son las que producen los mayores daños en la población e infraestructura,

debido a que el tiempo de reacción es casi nulo. Por ejemplo: los ríos de la cuenca del Océano Pacífico (La Leche, Tumbes, etc.).” (p. 12).

Inundación estática o lenta:

INDECI (2011) menciona que:

“Generalmente se producen cuando las lluvias son persistentes y generalizadas, producen un aumento paulatino del caudal del río hasta superar su capacidad máxima de transporte, por lo que el río se desborda, inundando áreas planas cercanas al mismo. A estas áreas se les denomina *llanuras de inundación*”. (p. 12).

Según su origen

Inundación pluvial:

Estas inundaciones se producen debido al almacenamiento de agua de lluvia en un sitio geográfico específico, sin coincidir obligatoriamente con el desborde de cauce fluvial. Estas inundaciones se forman luego de lluvias de gran intensidad o persistencia, en otras palabras, debido a “...la concentración de un gran volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy corto o por la incidencia de precipitaciones moderadas y persistentes en un amplio periodo de tiempo sobre un suelo de poca permeabilidad” (INDECI, 2011).

Inundación fluvial:

INDECI (2011) menciona que las mismas:

“...son causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos. Es atribuida al **aumento brusco del volumen de agua** más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin

desbordarse, durante lo que se denomina crecida (consecuencia del exceso de lluvias)” (p. 12).

Inundación por rotura o mal funcionamiento de la infraestructura hidráulica:

INDECI (2011) menciona que “la rotura de una presa, por pequeña que ésta sea, puede llegar a causar una serie de estragos no sólo a la población sino también a sus bienes, infraestructura y al ambiente” (p. 12) y detalla con respecto a los daños que “la propagación de la onda de agua en ese caso resultará más dañina cuando mayor sea el caudal circulante, menor sea el tiempo de propagación y más importante sean los elementos existentes en la zona afectada” (p. 12), como infraestructuras de servicios esenciales para la comunidad, núcleos de población, espacios naturales protegidos, explotaciones agropecuarias, etc.

“A veces, la obstrucción de cauces naturales o artificiales (obturación de tuberías o cauces soterrados) debida a la acumulación de troncos y sedimentos, también provoca desbordamientos. En ocasiones, los propios puentes suelen retener los flotantes que arrastra el río, obstaculizando el paso del agua y agravando el problema” (INDECI, 2011, p. 13).

Respecto a la terminología del modelamiento ante inundaciones más desarrollada hasta el momento en proyectos, se menciona el Floodsite (www.floodsite.net) o Comrisk (Common Strategies to Reduce the Risk of Flooding in Coastal Lowlands), se hace distinción entre tres tipos de alcance y escala de los estudios: macroescala, mesoescala y microescala.

En primer lugar, el detalle de la escala del espacio, subdividida a la vez en escala nacional y local, es determinante para la aproximación a la evaluación del riesgo.

Figura 3. *Tipología de escalas para estudios de riesgos asociados al cambio climático.*

Fuente. Meyer (2005)

CEPAL & IH Cantabria (2011) indican que:

“La principal diferencia entre el enfoque desde un punto de vista macro, meso o micro está en relación con el detalle espacial que se quiera alcanzar en el análisis de daño, ya que la resolución espacial viene condicionada por la diferenciación de usos y tipos de suelo, datos socioeconómicos y su distribución espacial y los procesos físicos a resolver” (p. 10).

Asimismo CEPAL & IH Cantabria (2012) añaden que, en un dominio de estudio de mesoescala, la definición espacial permite contar con información en menor detalle, disponiendo de datos con menor resolución sobre aspectos físicos como socioeconómicos, dependiendo sólo de la administración regional y sus organismos.

“En este caso las cuentas y balances, datos geofísicos, etc. son más sencillos de conseguir. Los resultados que se pueden extraer en este grado de estudio son cuantitativamente más fiables que a una escala macro. En consecuencia, estrategias más concretas de actuación, con análisis y conclusiones más detalladas, que puedan derivar en actuaciones y diagnóstico de mayor concreción, si son posibles con este tipo de información.” (p. 17).

“En el contexto de estudio de microescala, se analiza el daño y el valor asociado a cada unidad impactada, resolviendo los procesos físicos y determinando con menor grado de incertidumbre la evolución y el daño previsible. Los daños se desagregan por categorías dentro de cada clasificación y se dispone de una distribución espacial más detallada” (CEPAL & IH Cantabria, 2012b, p. 18).

2.3. Antecedentes

García (2018) en su investigación sobre *Protocolos de Monitoreo hidrológico en páramos*, menciona que la modelación distribuida se basa en la utilización de data de precipitación. Asimismo, menciona que es recomendable el uso de parámetros del terreno, tales como el tipo de suelo, usos del suelo, topografía, rugosidad del suelo o río por el que discurre el flujo principal.

Alves et al. (2016), en el estudio sobre *“Tendencias de precipitación zonal en el alto río Acre (Brasil)”* para un tiempo de 72 años, utilizando datos precipitación diaria acumulada, señalan que existe un sesgo climático, generando constantes inundaciones en la cuenca del río acre en los últimos tiempos, generalmente con incrementos en la precipitación en la cabecera de la cuenca. Asimismo, determinaron la presencia y frecuencia de los eventos extremos de precipitación. Los eventos de precipitación han generado pérdidas económicas y sociales, y señalan que el incremento o aumento de la precipitación se debe a la expansión de la actividad agrícola el mismo que modifica la vegetación natural.

Salas (2014) en su tesis denominada *“Análisis de tendencia de la temperatura y precipitación pluvial mensual en la cuenca del río Illpa, Puno”* tuvo como objetivo analizar el comportamiento de los parámetros climáticos de precipitación y temperatura, el mismo que fue utilizando las pruebas no paramétricas de Mann-Kendall con la finalidad de detectar variaciones. En los resultados indica que hay incremento en las temperaturas en la cuenca del río Illpa, con un valor de 0.48°C/década, sin embargo, la precipitación pluvial presentó disminución donde el número de días lluviosos presentó un decremento de 7 días/década. Así mismo señala que clima está presentando modificaciones para la cuenca.

Carrasco (2012) en su investigación sobre *Caracterización de la problemática ante peligros de origen natural a los que se encuentra expuesto la población del Sector El Piste*, menciona que “...la explicación del aumento continuo en las pérdidas y su impacto en las economías puede encontrarse no en un aumento en el número de eventos naturales extremos sino más bien en el aumento del número

de pobladores, infraestructura y actividades productivas ubicados en zonas de peligro” (pág. 275), en condición de vulnerabilidad. Con el objetivo de producir conocimientos sistémicos acerca de la vulnerabilidad territorial del Sector El Piste, su trabajo conlleva a diseñar una estrategia y tácticas para lograr el desarrollo sostenible de la actividad productiva y reducir los riesgos territoriales. Como resultado llega a determinar un análisis FODA de las capacidades de la población del Sector El Piste respecto a la problemática del desborde del río Qochoq.

Flores-López (2012) en *Planeación de Recursos Hídricos mediante el uso del modelo WEAP*, establece relaciones entre los factores de incertidumbre y los escenarios climáticos en un modelamiento hidrológico de 2 subcuencas del río Piura, determinando la sensibilidad climática mediante las variables de precipitación y temperatura.

En un estudio sobre *“Tendencias de la precipitación mensual en la cuenca alta – media del río Cauca - Colombia”* (Puertas et al., 2011) se analizó la tendencia para los años de 1975 – 2006, en 108 estaciones meteorológicas. Como parte de los resultados, utilizando la aplicación de la prueba no paramétrica de Mann– Kendall, determinaron que existen cambios en la precipitación anual para un total de 24 estaciones; de forma trimestral (JJA) encontraron disminución significativa de la precipitación de -15% para 21 estaciones evaluadas. Finalmente se concluye que existen cambios en la precipitación con tiempo interanual por encima de los 1500 msnm.

En un trabajo titulado *“Tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur”* (Oñate & Bosque, 2011), se propuso el

objetivo de identificar las posibles evidencias de un cambio climático para escenarios regionales. El estudio se desarrolló con información meteorológica de 40 estaciones meteorológicas entre Ecuador (20) y Perú (20). En el presente estudio se concluye que se detectó una tendencia en 28 estaciones y que la mayor parte se dio en las estaciones que se encuentran por debajo de los 600 msnm; y en las estaciones ubicados mayores a los 600 msnm presentaron tendencias decrecientes (12 estaciones). Finalmente concluyen que la variación de la tendencia de la temperatura señala la posible existencia del cambio climático para la zona de estudio (cuenca Catamayo- Chira).

El “Instituto Centro Climático Tyndall de Inglaterra” (<http://www.tyndall.ac.uk/>), señala que el Perú, se ubica en tercer lugar entre los países del mundo que muestran mayor vulnerabilidad a los efectos negativos de los cambios en el clima, después de Bangladesh y Honduras. Debido a que la Amazonia es reservorio fundamental de la biodiversidad del planeta y se encuentra en serio peligro por el rápido aumento de la temperatura y los impactos de la actividad antrópica. A esto, Bustamante De La Fuente (2010) señala que “...el Perú es uno de los 20 países vulnerables a las modificaciones del clima global por estar localizado en una geografía de montañas tropicales de una gran diversidad de ecosistemas” (pág. 52). Y esto se verá agravado, ya que las poblaciones que tienen bajos ingresos son las poblaciones pobres y la economía regional depende mayormente de actividades económicas con incidencia en el cambio climático. Una de las evidencias más notorias en el Perú es que los glaciares andinos ya perdieron 22% de su masa.

Marengo et al. (2009) en el estudio “*Cambios futuros de temperaturas y precipitaciones extremas en América del Sur derivados del sistema*

de modelación climática regional de PRECIS". Utilizando el sistema PRECIS regional de la modelización del clima, se analizó la distribución de los extremos de temperatura y la precipitación en América del Sur en el pasado reciente (1961-1990) y en un clima futuro (2071-2100) bajo el IPCC SRES A2 y B2 escenarios de emisiones. Bazo (2014) sugiere que "la elaboración de escenarios climáticos regionales permitirá determinar con mayor precisión la vulnerabilidad a los cambios climáticos que se produzca permitiendo establecer medidas de adaptación adecuadas a la planificación de las actividades socioeconómicas futuras" (p.4). En todos los escenarios climáticos futuros considerado todas partes de la región experimentaría significativo y a menudo diferentes cambios en las precipitaciones y temperaturas extremas. En el futuro, la ocurrencia de noches cálidas se prevé que sea más frecuente en toda la América del Sur tropical, mientras la ocurrencia de eventos de la noche de frío es probable que disminuya. También se proyectan cambios significativos en las precipitaciones extremas y los períodos de sequía.

Por su parte, la ONG Predes, en el año 2007-2008 se interesó en determinar el riesgo de desastre de la ciudad mediante analizando su desarrollo urbano y cómo se crearon las actuales condiciones de riesgo. El análisis de vulnerabilidad se centró en mostrar indicadores que pusieron de manifiesto el bajo nivel de resiliencia de la población y la fragilidad de sus medios de subsistencia. Indagaron en el diagnóstico del riesgo de desastres, determinado los factores de vulnerabilidad. Su objetivo fue evaluar el riesgo de desastre del Sector El Piste con el propósito de afianzar el conocimiento para la planificación de su desarrollo. Como resultado, presentaron la propuesta de un Plan Comunitario de Riesgos de Desastres.

En un estudio realizado sobre *“Tendencias observadas en los índices extremos de temperatura diaria en América del Sur correspondiente al periodo 1960 – 2000”* (Vincent et al., 2005), los resultados indican que no hay cambios consistentes en la temperatura máxima diaria, mientras que se encontraron tendencias significativas en la temperatura mínima diaria. Así mismo señalan que encontraron tendencias significativas en el porcentaje de noches cálidas y tendencias decrecientes en el porcentaje de las noches frías (la noche más fría del año se está calentando y hay noches más tropicales), por lo que se entiende que el porcentaje de las noches frías está descendiendo, mientras que el porcentaje de noches cálidas es cada vez mayor y estos cambios son más pronunciados durante el verano (DEF) y el otoño (MAM). El calentamiento de la noche corresponde a una disminución significativa en el rango de temperaturas diurnas sobre el continente. Finalmente señalan que las temperaturas extremas están cambiando en América del Sur. En el Perú en la estación de otoño y la primavera encontraron tendencias decrecientes significativas en la Pampa de Majes. El estudio se realizó con información meteorológica de un total de 68 estaciones de los países que comprende.

Hay carencia de modelos de análisis de vulnerabilidad al Cambio Climático a nivel local, así como costos evitados por afectación de viviendas ante inundaciones, aplicables particularmente a las condiciones de la geografía y la biodiversidad andina. Tampoco existe aún en la zona materia de investigación estudios o resultados en relación al modelamiento en 2 dimensiones ni simulación de radio de influencia ante estos eventos.

Siendo los modelos GLOF, RAMMS y FLO-2D los que mejor puedan adaptarse para el ámbito. McKinney et al. (2014) en su investigación Modelo de inundación en Huaraz para un aluvión (GLOF) desde la laguna Palcacocha,

establece en su modelo que la intensidad del riesgo depende de: velocidad, profundidad y frecuencia de los eventos.

2.3.1. Riesgo de Desastre

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático - IPCC ofrece una definición de "...riesgo de desastre como la probabilidad, durante un periodo específico, de alteraciones severas en el funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad, resultado de eventos físicos con posibilidad de causar daño" (IPCC, 2016), como terremotos, deslizamientos, explosiones, entre otros. Asimismo, en uno de sus estudios establece esta relación: "un clima cambiante puede dar lugar a fenómenos meteorológicos y climáticos extremos sin precedentes" (IPCC, 2016). Entonces, "el riesgo es una función de la existencia de una *amenaza o un peligro* de origen físico y de condiciones de *vulnerabilidad* en uno o en varios elementos sociales *expuestos* a sus posibles efectos, por ello se debe considerar su gestión en el marco de los procesos de desarrollo" (IPCC, 2016).

Según Beck (2006), el riesgo, hoy en día, es habitual en cualquier diagnóstico económico, político, ambiental y sociológico, razón por la que se considera una de las categorías utilizadas en actividades prácticas y cognitivas de distinta índole. Constatar el riesgo es un propósito poco explorado, que se está desarrollando en diversos ámbitos, entre lo natural y lo racional, sin preponderancia de ninguno. Se trata de colaborar trascendiendo el rigor científico, entre comunidades, entidades del sector público y privado, la administración y los intereses políticos.

Problematizar el riesgo invita a reflexionar acerca de constructos histórico – sociales que posibilitan dimensionarlo. Así, el riesgo se

vincula a una aproximación a la racionalidad, aunque siempre haya existido y aunque se lo haya considerado dentro de las debilidades o inseguridades, incluso más allá de su aplicación matemática y estadística.

La relación entre el riesgo y nuestras actividades cotidianas puede vincularse a la cultura en que estamos inmersos y cómo la misma ha evolucionado. Giddens (2011) advierte que nuestra idea de riesgo conserva un estrecho vínculo con la modernidad, a pesar de que actualmente asuma una particular relevancia.

Así, Giddens (2011) determina que la explicación se sustenta en distinguir dos riesgos diferentes: el externo y el manufacturado. “El riesgo externo (...) se experimenta como proveniente del exterior, de las sujeciones de la tradición o de la naturaleza, mientras que el riesgo manufacturado alude al creado por el propio impacto del conocimiento creciente sobre el mundo” (Giddens, 2011).

“El riesgo manufacturado se refiere a situaciones de las que se dispone de muy poca experiencia histórica en afrontarlas. La mayoría de los riesgos ambientales, como los vinculados al calentamiento global, son para este autor, riesgos manufacturados.” (Giddens, 2011).

Si en la antigüedad muchas calamidades eran atribuidas al poder de los dioses, la naturaleza o, sencillamente, al destino, en el presente, habitualmente, los grandes riesgos descansan, en principio, en decisiones equivocadas y, por tanto, son humanamente influenciables. Se comprende, así, que el concepto de riesgo se encuentre entonces en la agenda política, además de la agenda académica.

Si bien actualmente es posible diferenciar el riesgo ambiental de aquel que es inducido por la acción humana, son riesgos que, en verdad, se encuentran intrínsecamente relacionados, dificultándose en reiteradas oportunidades su correspondiente distinción. Un ejemplo es el caso del cambio climático, que si bien es ambiental, es también inducido por el hombre y los usos que hace de las tecnologías que ha creado, por su papel fundamental en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

Según indican Delia & Riverón (2012):

“El ambiente y los desastres son lugares de intersección y confrontación de definiciones e intereses sociales: la naturaleza y gravedad de los peligros ambientales, las dinámicas que subyacen a ellas, la prioridad concedida a unos temas frente a otros, las medidas óptimas para mitigar o mejorar las condiciones que se definen como problemáticas, son realidades no sólo medibles y cuantificables sino también objeto y producto del debate social.”
(p.1).

De esta manera, emerge una paradoja que nos hace preguntar por qué el progreso de la vida humana ahonda y expande los riesgos que atentan contra la vida de los humanos.

Los patrones de intervención humana y en general los modelos de desarrollo soportados en la irracionalidad tecnológica, alteran de manera fundamental las características de los peligros.

En ciertas ocasiones, “...la destrucción de cuencas y la deforestación contribuyen (...) a un aumento en la incidencia e intensidad de

inundaciones, deslizamientos y sequías” (Lavell, 2015). Por ejemplo, cuando se urbaniza sin la infraestructura adecuada para drenar el agua de lluvia, se produce un desequilibrio en el ecosistema, lo que genera inundación. De la misma manera, “...el corte de manglares en las costas contribuye a la erosión costera y al impacto negativo de otros eventos de origen natural que se incrementan en los países subdesarrollados” (Lavell, 2015).

Con esto, es fácilmente observable que, de no cambiar radicalmente el modelo de desarrollo imperante, el riesgo de desastre irá en aumento. Así, “el desastre es el precio a pagar por las ganancias logradas, al seguir un modelo de crecimiento que garantiza la pobreza y vulnerabilidad para muchos y el bienestar para otros en la mayor parte de los países en desarrollo, fundamentalmente” (Lavell, 2000).

La Ley del SINAGERD define riesgo de desastre 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” (Ley N° 29664). Esta definición del riesgo de desastre intenta establecer que una situación de desastre solamente existirá cuando haya una severa interrupción del funcionamiento normal de una sociedad. No todo riesgo⁴ sería de un grado tan fuerte que pueda calificarse como un «riesgo de desastre». El riesgo de desastre es una condición extrema de un continuo de distintos niveles de riesgo, que se asocian con el impacto de cada evento no rutinario, sea extremo, mediano o pequeño. De esta forma, no todos los riesgos con posibles consecuencias adversas se consideran desastres, a pesar de que atenderlos podría precaver que se transformen en riesgos mayores.

⁴ El riesgo, de forma general, interpretado como la posibilidad de efectos adversos.

Las alteraciones en el estado climatológico, asociadas al cambio climático, se caracterizan por modificaciones en su patrón de variabilidad y cambios en los promedios (Ver gráfico 1 sobre los peligros en la cadena de efectos del cambio climático). Las modificaciones en el patrón de variabilidad climática⁵ incluyen el patrón de recurrencia, intensidad o efecto de eventos climáticos que pueden estar en un rango que abarca desde los eventos extremos hasta los de menor intensidad, pero siempre con la potencialidad de generar efectos negativos en la sociedad, como la ocurrencia de desastres.

En segundo lugar, el cambio climático también significará cambios en los promedios de los factores del clima, como la temperatura, la cantidad de precipitaciones, el viento, etc. Estos cambios, paulatinos y progresivos (y tal vez más abruptos en ciertos momentos), que se desarrollan a largo plazo, significarán un reto en cuanto a estresores o nuevas amenazas del clima.

La Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050 (2021), indica que “Existe la posibilidad de que los nuevos trabajos sean un factor adicional en la fórmula de desastre, en especial para aquellas comunidades con menores recursos financieros y técnicos disponibles” (p.32).

En este sentido, “...un aumento en el promedio de la temperatura podría tener efectos negativos sobre la producción y la productividad agrícola, lo que conducirá a crisis en los medios de vida y de subsistencia de distintas poblaciones particularmente en zonas o regiones marginales” (Nelson et al., 2009). Del mismo modo, “...una

⁵ Es la variación en la expresión del clima en torno a los promedios que lo tipifican en un momento y un lugar específicos.

baja en los promedios de precipitación en zonas semiáridas podría convertir a estas en inhabitables en el futuro” (Nelson et al., 2009). Así, “...tienen que considerarse el impacto y la posible relevancia de cambios en los promedios para evaluar la posibilidad de desastre y el consiguiente planteamiento de un desarrollo sostenible en las decisiones de planificación para el desarrollo” (Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050, 2021, pág. 32).

“El concepto de riesgo de desastre podemos considerarlo tomando en cuenta los nuevos patrones de eventos físicos no rutinarios con potencialidad de causar daño a la sociedad (riesgo ampliado), y, de otro lado, debido a cambios en los promedios de los factores del clima que podrían impulsar el estrés y las crisis en diferentes partes del globo” (MINAM et al., 2013, p.14).

En este sentido, “...el cambio climático podría contribuir a constituir contextos de riesgo y potenciales efectos adversos nuevos (riesgo nuevo) que podrían calificarse también como desastre” (Nelson et al., 2009).

“Bajo (...) riesgo ampliado o riesgo nuevo, existirá la potencialidad de ocurrencia de desastre, por lo cual una extensión y una ampliación del marco conceptual propuesto se considerarían bajo el paraguas global de la gestión del riesgo, sin importar que las medidas concretas que se pongan en práctica para enfrentar el riesgo se llamen de reducción del riesgo o de adaptación al cambio climático (en el caso de eventos hidrometeorológicos)” (MINAM et al., 2013, p.16).

Igualmente, los costos evitados por la identificación, priorización e implementación de medidas de reducción del riesgo en el ámbito de

investigación constituyen los beneficios de la inversión en reducción del riesgo, por cuanto pues son los costos en los que socialmente se incurriría en el caso de que un peligro de origen natural interrumpiera los servicios básicos en el Sector El Piste.

2.3.2. Gestión del Riesgo de Desastre y Cambio Climático

Peligro (p). De acuerdo al Reglamento de la Ley que crea el “Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres” (SINAGERD), se define como “...peligro a la probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos” (Ley N° 29664).

Cuando se hace referencia a Cambio Climático Global, se define como la posibilidad de ocurrencia de un peligro en un tiempo y lugar, fenómenos hidrometeorológicos, los cuales exacerbaban problemas estructurales en el territorio que han sido generados por las actividades humanas (deforestación, desertificación, deglaciación, inestabilidad de taludes, entre otros) los cuales por su severidad y frecuencia generan pérdida presente y futura en los entornos naturales y humanos.

Vulnerabilidad (v). Desde la perspectiva analizada, la vulnerabilidad puede describirse por dos componentes: la fragilidad o incapacidad de resistencia a las consecuencias del cambio; y la resiliencia, o capacidad de recuperación y/o adaptación a las nuevas condiciones del entorno (PLANAGERD, 2014).

“La exposición y la vulnerabilidad son los principales factores determinantes de los riesgos de desastre y de los impactos cuando el

riesgo se materializa” (IPCC, 2012, p. 5). “La exposición y la vulnerabilidad son dinámicas, varían en el tiempo y el espacio y dependen de factores económicos, sociales, geográficos, demográficos, culturales, institucionales, de gobernanza y ambientales (nivel de confianza alto)” (IPCC, 2012, p. 7). Asimismo, la reducción de la vulnerabilidad es “...un elemento básico común de la adaptación y la gestión de riesgo de desastre. Una gran exposición y vulnerabilidad son, por lo general, el resultado de procesos de desarrollo sesgados, como los relacionados con la degradación ambiental, la urbanización rápida y no planificada en zonas peligrosas” (IPCC, 2012, p. 8).

Se denomina **vulnerabilidad al cambio climático** al grado por el cual los ecosistemas, o las poblaciones y sus sistemas de vida, son susceptibles de sufrir los efectos adversos del Cambio Climático.

Los escenarios de riesgos se configuran por la combinación de dos factores principalmente: el acontecimiento de un evento peligroso (por su magnitud – intensidad y probable ocurrencia) y la vulnerabilidad de la unidad social de referencia y todos sus bienes, ante dicho evento.

Los escenarios climáticos y el diagnóstico de vulnerabilidades ayudan a predecir la diferente localización de estas intensidades y a prever estrategias para reducir las vulnerabilidades. Para definir medidas de adaptación es esencial contestar tres preguntas claves:

¿Cuáles son los grupos, sectores o unidades sociales (más) vulnerables?

- ¿Qué ámbitos geográficos son (más) vulnerables?

- ¿Cuáles son las prioridades para reducir vulnerabilidades?

Investigaciones de los últimos años en América Latina indican que la vulnerabilidad climática principal de estos países, en particular en las regiones de sierra y selva como las del Perú, se concentra en los ecosistemas naturales y biodiversidad, la agricultura y ganadería, la provisión de agua y la salud humana.

Existen diferentes corrientes del cómo enfocar la vulnerabilidad y la adaptabilidad al cambio climático desde el punto de vista técnico. Una de esas corrientes es la conceptualización utilizada en la Gestión del Riesgo de Desastres donde se expresa al Riesgo como una función del Peligro y la Vulnerabilidad; sin embargo, cuando se habla de adaptabilidad al Cambio Climático Global, difícilmente se podría enfocar la temática en forma de Riesgo, motivo por el cual se modifica la propuesta por la de Vulnerabilidad Biofísica que es un concepto desarrollado por el IPCC con el Tyndall Center.

En la medida que el marco conceptual de ACC es el que se utilizará, entonces se desarrollarán conceptos previos que definirán la fórmula propuesta.

Vulnerabilidad al Cambio Climático (V_{CC}). La metodología propuesta por el Tyndall Center, fue puesta en práctica para los procesos sociales, vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en la cuenca del río Piura.

V_{CC} se expresa como el grado de susceptibilidad de un sistema a los efectos del Cambio Climático en el presente y futuro. En tal sentido, la convención adoptada es: cuando se habla de V_{CC} este es igual a la

Vulnerabilidad Biofísica (V_{BIOF}) término que se usará en el presente documento por V_{CC} , por tanto, la fórmula final quedaría como sigue:

$$V_{\text{BIOF}} = f(p, V_{\text{INHERENTE AL SISTEMA}})$$

“La vulnerabilidad al cambio climático es definida como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático, incluidas su variabilidad, y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad depende de la *exposición*, de la *sensibilidad* y de la *capacidad de adaptación* de un sistema” (IPCC, 2007).

Vulnerabilidad = Exposición + Sensibilidad - Capacidad adaptativa

“La progresión de la vulnerabilidad empieza con causas fundamentales (acceso limitado a recursos, estructuras y poder, además de ideologías políticas y económicas presentes en una localidad) a los cuales se añaden presiones dinámicas (p.ej. falta de capacidad, inversiones o sociedad civil, o de fuerzas macro como un crecimiento de la población, la urbanización, la deforestación) y condiciones inseguras (como entornos físicos frágiles, economía local frágil, o una sociedad vulnerable)” (Birkmann, 2007).

Cuadro 3. Diferencias conceptuales entre GRD y ACC

Gestión del Riesgo de Desastres (GRD)	Adaptación al Cambio Climático (ACC)
$R = f(p, v)$	$V_{CC} = f(p, V_{\text{inherente al sistema}})$ $V_{CC} = \text{Vulnerabilidad Biofísica}$ $V = f(\text{sensibilidad y capacidad de adaptación})$
<p>R es producto de dos factores, <i>el Peligro</i> y la <i>Vulnerabilidad</i>; con lo cual ambos factores que coinciden en un tiempo y espacio dados, se constituyen en condicionantes para que se configure el riesgo.</p>	<p>La Vulnerabilidad Biofísica es entonces un concepto dinámico, al igual que sus componentes (el Peligro y la Vulnerabilidad inherente a un Sistema) pues así como se crea, incrementa, acumula o modifica, también se previene, transforma y minimiza.</p>

Fuente. Datos tomados del Proyecto COPASA - GTZ (2010).

Vulnerabilidad inherente al sistema (VINHERENTE AL SISTEMA). Es la capacidad del mismo para reaccionar de manera eficiente/ineficiente a los problemas generados por los fenómenos de origen natural inducidos por el Cambio Climático Global. En otras palabras, “la vulnerabilidad de un sistema se relaciona con su capacidad de ser dañado por un determinado peligro”. Teniendo en cuenta que cada sistema tendrá una capacidad diferente en la medida de las vulnerabilidades de cada uno de sus componentes.

Un sistema puede ser una bioregión, una cuenca o como es en el caso peruano, los “límites político administrativos”, el cual ya es una debilidad inherente en la medida que el sistema es continuo y difícilmente obedece a divisiones creadas por el hombre.

El Reglamento de la Ley N° 29664, define a la vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

Capacidad de adaptación (CA) Es la facultad de reacción de un sistema ante los factores climáticos presentes y futuros, para afrontar las consecuencias. Se considera función de la Capacidad de Adaptación, el bienestar, la tecnología, la educación, la información, la infraestructura, el acceso a los recursos, la estabilidad y la gestión de capacidades.

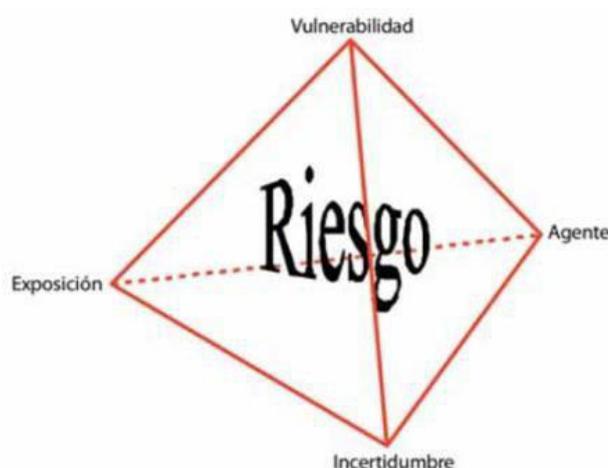
Resiliencia. “Capacidad de las personas, familias y comunidades, entidades públicas y privadas, las actividades económicas y las estructuras físicas, para asimilar, absorber, adaptarse, cambiar, resistir y recuperarse, del impacto de un peligro o amenaza, así como de incrementar su capacidad de aprendizaje y recuperación de los desastres pasados para protegerse mejor en el futuro” (INDECI, 2020, p. 381).

Riesgo. Retomando la cuestión de la cosmovisión andina que enmarca este análisis, para los pueblos ancestrales, la forma en que se comporta el hombre en su comunidad se considera una incumbencia de la gestión del riesgo, en virtud de los principios regentes de sus relaciones (Milla Villena, 2000). Considerando la procedencia rural de los actuales pobladores de la zona estudiada, por vía consuetudinaria, esta faena originaria del *ayllu* se encuentra internalizada en el comportamiento comunitario.

Desde una perspectiva técnica, la metodología del “Tetraedro del riesgo”, propuesto por IH Cantabria para calcular el riesgo en forma

cuantitativa en las zonas inundables básicamente enfocadas al cambio climático, toma en cuenta a “los factores agente, incertidumbre, exposición y vulnerabilidad” (CEPAL & IH Cantabria, 2012a).

Figura 4. Elementos constitutivos del riesgo. Tetraedro del riesgo.



Fuente. CEPAL & IH Cantabria (2012)

Los elementos que componen el riesgo son:

“Los **Agentes** que intervienen en la estimación del riesgo pueden depender de otros agentes o variables que tienen una determinada distribución de probabilidad y, por tanto, es necesario tener información de cada una de estas variables para poder cuantificar la incertidumbre lo más precisa posible asociada a cada magnitud del evento considerado. Así por ejemplo, si se desea estudiar el riesgo de inundación, el agente con el que se va a evaluar el riesgo es la cota de inundación (Z), que a su vez depende de otras variables o agentes” (CEPAL, 2012) como son la precipitación (X) y la pendiente (Y). Nótese que las mayúsculas hacen referencia a lo aleatorio de la variable, por lo que “...se está en disposición de

calcular la incertidumbre asociada a cada nivel de inundación” (CEPAL, 2012).

La **exposición** es un factor importante en la evaluación del riesgo. Es decir, “...la determinación de la exposición o zona afectada es según la magnitud del agente” (CEPAL, 2012). Por ejemplo, al analizar el riesgo de inundación, “...para calcular la exposición para cada nivel de inundación posible, se precisa un modelo digital del terreno para poder evaluar qué zonas se ven afectadas por la inundación” (CEPAL, 2012). Cabe destacar que “...a este nivel no importa conocer que elementos hay en una zona expuesta, ya que tal efecto se considera en la vulnerabilidad” (CEPAL, 2012).

“Para estimar la **vulnerabilidad**, es importante determinar la sensibilidad y la capacidad de adaptación o resiliencia de los distintos elementos identificados en la zona expuesta, en función de la intensidad del evento asociado al agente y es, por tanto, un parámetro multidimensional” (CEPAL, 2012). “Los posibles daños producidos por una inundación dependen, por ejemplo, del nivel del agua que se alcance en cada zona y para cada nivel de agua, ese daño se debería cuantificar de forma diferente” (CEPAL, 2012).

El riesgo puede ser expresado como:

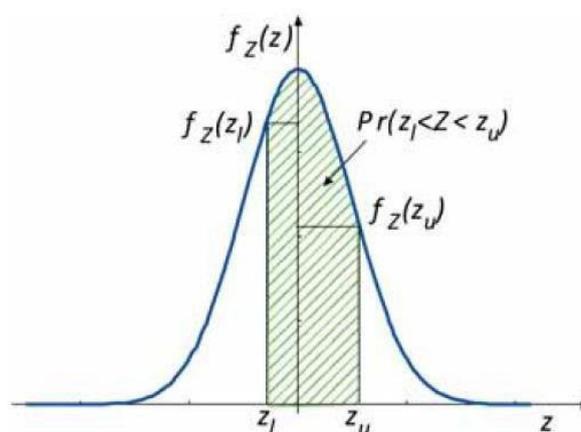
$$z = g(x, y) \quad \dots (1)$$

“Las variables están en minúsculas por que hacen referencia a instancias particulares de las variables aleatorias. Por tanto, si se conoce la distribución estadística de las variables X e Y, partiendo del conocimiento de la función de densidad conjunta $f(x,y)(x,y)$, la

variable cota de inundación, que define el daño, es una variable aleatoria cuya función de densidad depende tanto de las distribuciones de X e Y como del funcional (1) que las relaciona.” (CEPAL, 2011)

A continuación, se ilustra “...la función de densidad y la probabilidad de que la variable aleatoria Z (el agente o amenaza) esté entre los valores z_l y z_u . Esa probabilidad representa, para la agente precipitación, cual es la incertidumbre asociada a que el nivel se encuentre entre esas dos cotas y se corresponde con la integral mostrada en la figura” (CEPAL, 2011).

Figura 5. Función de densidad de la variable aleatoria precipitación (agente o amenaza, hazard).



Fuente. CEPAL & IH Cantabria (2012)

Partiendo de esta función es que puede definirse, “...la ecuación genérica del riesgo para un agente determinado, asociado a una localización geográfica concreta” (CEPAL, 2011):

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} f_z(z)E(z)V(z)dz \quad \dots (3)$$

“Donde $E(z)$ es la exposición de la zona de estudio para el valor del agente z , que, en el caso del riesgo de inundación, representa la precipitación dada. Análogamente, $V(z)$ es la vulnerabilidad asociada al valor del agente z .” (CEPAL, 2011)

“La definición matemática del riesgo está en consonancia con la definición propuesta, ya que representa el valor esperado de la exposición por la vulnerabilidad y es una estimación del valor esperado de las pérdidas” (CEPAL, 2011).

Cabe destacar que “la expresión (3) constituye una conceptualización genérica, que permite obtener muchas de las definiciones de riesgo existentes en la literatura como particularizaciones de la misma” (CEPAL, 2011). De esta forma, “...si en el evento inundación se considera un único umbral límite z_{lim} a partir del cual se produce daño y la probabilidad de que se supere ese umbral es P , y si, además, se definen la vulnerabilidad y la exposición como valores constantes e iguales a los que se producen con ese nivel de inundación” (CEPAL, 2011), se modifica de la siguiente forma:

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} f_z(z)E(z)V(z)dz = E(Z_{lim})V(Z_{lim})P \quad \dots (4)$$

Es observable que “la expresión, coincide con la definición de riesgo como producto de probabilidad multiplicado por exposición y por

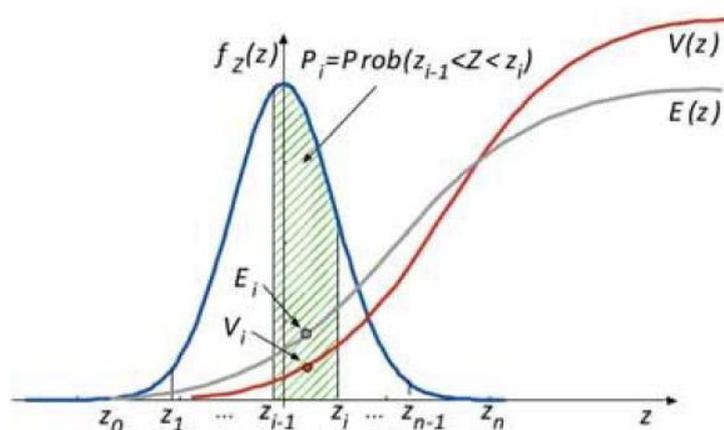
vulnerabilidad” (CEPAL, 2011). En ella, “...el riesgo es igual a la probabilidad por las consecuencias” (CEPAL, 2011).

“Desde el punto de vista práctico es inviable trabajar de forma diferencial empleando la ecuación (3), debido a que es complicado definir de forma continua tanto la función de exposición como la de vulnerabilidad. Por ese motivo la ecuación (3) se discretiza integrando mediante la regla del trapecio” (CEPAL, 2011), que se muestra a continuación:

$$R \approx \sum_{i=1}^n P_i E_i V_i \quad \dots (5)$$

La interpretación gráfica de la discretización se observa en la figura 6.

Figura 6. Discretización en términos de la magnitud del agente para la posterior evaluación del riesgo.



Fuente. CEPAL & IH Cantabria (2012)

Considerando lo presentado en (5) y esta discretización, “el riesgo es igual a cero si cualquiera de los tres componentes, probabilidad (P_i), exposición (E_i) o vulnerabilidad (V_i) es nula” (CEPAL, 2011). En esta definición se tiene en cuenta los siguientes factores:

- “La vulnerabilidad cambia con el tipo de agente y la severidad del mismo” (CEPAL, 2011).

“La determinación del riesgo requiere del conocimiento sobre la distribución espacial de la ocurrencia de los eventos asociados a los agentes y de los elementos en riesgo” (CEPAL, 2011).

Cambio climático. Se define cambio climático⁶ como “...un cambio en el estado del clima que puede ser identificado (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) por cambios en el valor medio de sus propiedades y/o por la variabilidad de las mismas, que persisten durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos” (IPCC, 2013, p.188).

Con respecto a sus causantes, “el cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios inducidos por la acción humana persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra” (IPCC, 2013, p.188).

El rasgo característico de este cambio es el incremento de la temperatura promedio del planeta, debido a la acumulación en la atmósfera de los llamados “gases de efecto invernadero” derivados de

⁶ Informe Especial del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático IPCC - 2016

la quema de combustibles fósiles: dióxido de carbono, óxido nitroso, metano, clorofluorcarbonados y ozono troposférico. Aunque el aumento de algunos de estos compuestos, como el CO₂, puede tener efectos positivos para el crecimiento de las plantas, el cambio climático global que provocan desemboca en la producción de fenómenos críticos como sequías extremas, lluvias intensas, y alteraciones en la composición de la biodiversidad, aparición de plagas y enfermedades. Sin embargo, algunos de estos fenómenos, como el aumento de precipitaciones, podrían ser favorables en zonas históricamente áridas como las de la región central sur o en las partes altas del Perú.

Durante la “VI Plataforma Regional para la Reducción del Riesgo de Desastres en Las Américas” (2018), celebrada en Cartagena, Colombia, se firmó la Declaración de Cartagena, donde se acordó, entre otros aspectos:

- Posicionar la Reducción del Riesgo de Desastres como una prioridad de política pública desde el nivel nacional y con un mayor impacto en el nivel local.
- Motivar los avances en el conocimiento sobre los fenómenos.

Asimismo, en mayo 2019, en la Plataforma Global para la Reducción del Riesgo de Desastres, desarrollada en Suiza, se acordó brindar especial énfasis en el conocimiento del riesgo a nivel mundial.

Para poder alcanzar la meta al 2030 se ha estipulado la implementación de un Plan de Acción, en función a la implementación de políticas y estrategias que conlleven a la reducción de vulnerabilidades, faltando aún una brecha por cubrir en cuanto a una adecuada participación de

los actores locales y de la sociedad civil. Debido a esto, tanto instituciones como población se han visto excluidas en los procesos de aplicación de políticas y no han tenido conocimiento del impacto de estas a nivel local.

El cambio climático es un fenómeno continuo y además es global. Se puede decir que, de algún modo, todas las comunidades humanas y no humanas están expuestas a él, aunque quizás en diferentes intensidades. El monitoreo climático ayuda a predecir la diferente localización de estas intensidades y a prever estrategias para reducir la exposición; sin embargo, a escala local puede ser más manejable operar sobre las características de fragilidad y resiliencia.

Estimación del riesgo. “Comprende las acciones y procedimientos que se realizan para generar el conocimiento de los peligros o amenazas, analizar la vulnerabilidad y establecer los niveles de riesgo que permitan la toma de decisiones en la Gestión del Riesgo de Desastres” (INDECI, 2020, p.380).

Gestión Correctiva. “Es el conjunto de acciones que se planifican y realizan con el objetivo de corregir o mitigar el riesgo existente” (INDECI, 2020, p.379).

Gestión Prospectiva. “Es el conjunto de acciones que se planifican y realizan con el fin de evitar y prevenir la conformación del riesgo futuro que podría originarse con el desarrollo de nuevas inversiones y proyectos en el territorio” (INDECI, 2020, p.379).

Medidas de adaptación. Con el fin de definir las acciones de adaptación es importante ampliar los conocimientos limitados que

existen sobre el impacto de la variabilidad climática y los escenarios climáticos. Hay que aceptar un cierto grado de inseguridad en la definición de la incidencia del cambio climático. Esto se debe por un lado a las limitaciones que tienen los modelos climáticos regionales y locales, más aún en la heterogeneidad geográfica del país, y además, el mismo cambio climático depende del comportamiento futuro del ser humano y los esfuerzos de mitigación que no se puede determinar con exactitud.

La adaptación no debe pensarse como una estrategia puramente pasiva de acomodamiento a las nuevas condiciones, ni separada en forma absoluta de las acciones de mitigación. En realidad, es una estrategia sistémica y dinámica de interacción entre los agentes y los factores del entorno, de tal modo que los agentes pueden reducir las actividades que contribuyen a la magnitud del cambio, así como adecuar sus estrategias de sobrevivencia a las dimensiones no controlables de éste.

Desde lo metodológico, esto supone actuar en cuatro direcciones:

- 1) Reducir las prácticas que contribuyen a los efectos del cambio climático desde el nivel nacional y regional, esto es, actuar sobre los factores concomitantes en la producción del cambio.
- 2) Actuar sobre la vulnerabilidad, reduciendo la exposición y fragilidad de los sistemas de vida actual a los efectos previsibles del cambio, teniendo en cuenta los escenarios de riesgo climático.
- 3) Desarrollar capacidades de resiliencia adaptativa de los sistemas sociales a largo plazo.

- 4) Poner en práctica estrategias para reducir la construcción de vulnerabilidad futura.

Además, en la medida de la vinculación fuerte que hay entre cambio climático y desastres, las medidas de adaptación necesitan ensamblarse en las dimensiones *prospectiva* (para evitar la creación de vulnerabilidad futura) y *correctiva* (para corregir vulnerabilidades existentes).

Sensibilidad (S). Está referida a la forma como un sistema responde / reacciona a los cambios en el clima. Un elemento clarificador de la sensibilidad es el Índice de Desarrollo Humano (IDH) en la medida en que se referencia la Vulnerabilidad de las personas analizadas en el sistema.

2.3.3. Costo evitado

El costo evitado de afectación de viviendas por inundaciones comprende los costos de restablecer la vivienda ante la destrucción de los mismos. La información necesaria para realizar los cálculos consiste en contar con el valor por metro cuadrado de cada predio que sería destruido por el evento.

Los costos evitados de destrucción de las viviendas se obtienen del producto de los predios afectados por el costo unitario de los mismos.

Por su parte Dixon et al. (1999), menciona que: “los costos evitados son los beneficios de la inversión en la reducción del riesgo, tales como los costos evitados de la reconstrucción o rehabilitación, costos evitados de la pérdida de vidas humanas y el empeoramiento de las condiciones sociales, así como los costos evitados de atender la emergencia”.

Sobre la base de las medidas a implementar para garantizar la seguridad física de la población afectada y/o infraestructura de desarrollo en función a los mapas proyectados para periodos de retorno 20 a 50 años y de 100 a 500 años, fueron calculados los costos evitados.

Hay que hacer énfasis en establecer que el modelo incorpora el aspecto de incertidumbre para efectos del análisis, la misma que se sustenta en los periodos de retorno trabajados, para lo cual se tiene que considerar el valor esperado del costo de reconstrucción, debido a que es un evento incierto, pero probable, y sobre la cual debemos de tener conocimiento para una adecuada toma de decisiones.

2.4. Marco contextual

El distrito de Calca se ubica en la provincia de Calca, departamento del Cusco. Tiene una extensión de 336.90 km². Altitudinalmente, se sitúa entre los 5,700 msnm en la zona más elevada (nevados Colque Cruz y Chicón) y los 2,900 msnm, en las cercanías de la ciudad de Calca. Geográficamente, está entre las coordenadas UTM siguientes: Norte: 8'523,000 a 8'543,000 m. y Este: 175,000 a 192,000 m.

El territorio del distrito posee las siguientes cuencas hidrográficas:

Cuadro 4. *Cuencas hidrográficas en el distrito de Calca.*

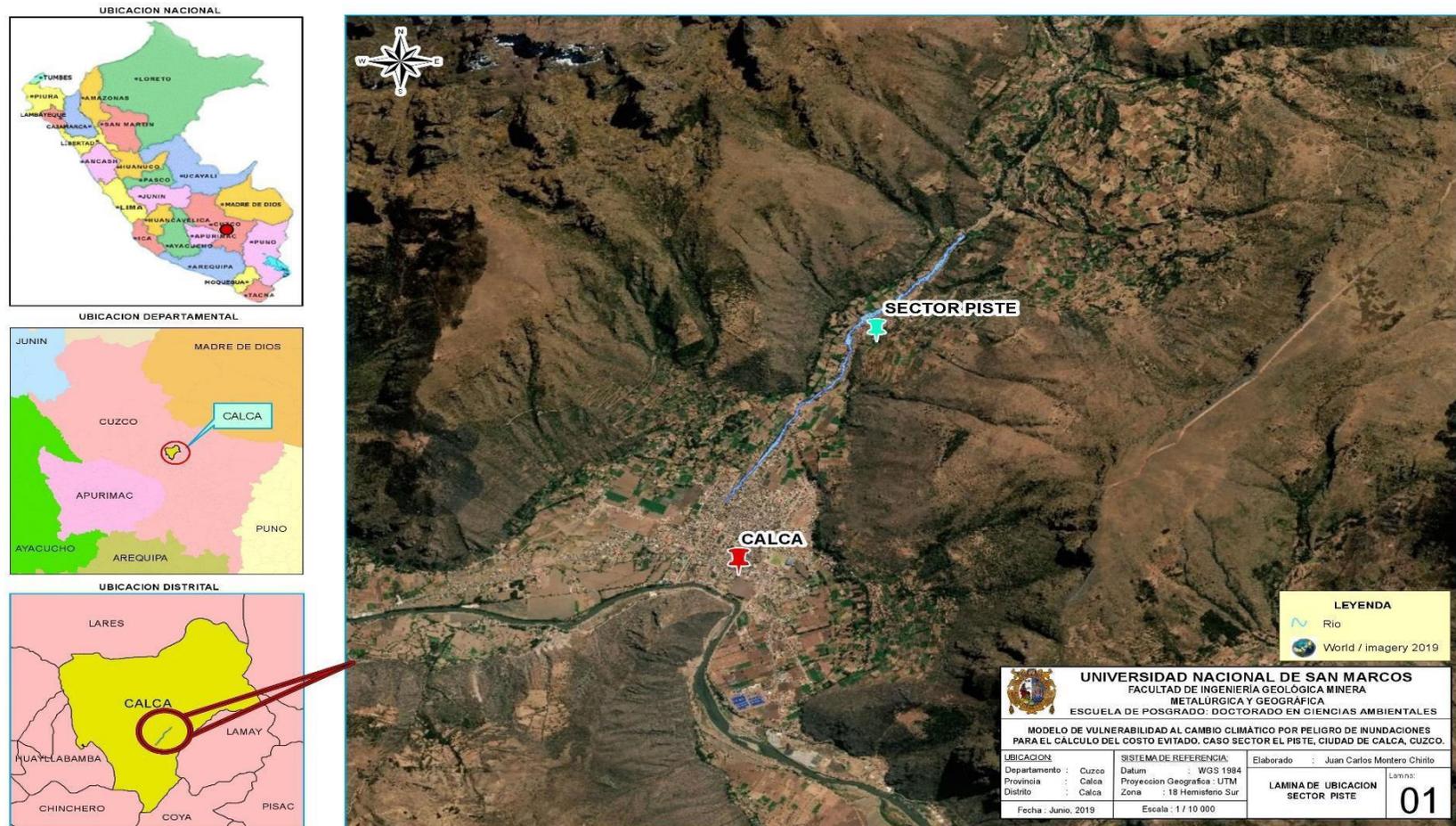
Nombre	Río principal	Extensión (km²)	%
Qochoq	Qochoq	172.15	51%
Cancha-Cancha	Cancha-Cancha	53.41	16%
Arín	Churo	17.54	5%
Quellouno	Quellouno	9.98	3%
Otras y zonas inter-cuencas	Varios	83.82	25%
TOTAL DISTRITO		336.90	100%

Fuente. Autoridad Nacional del Agua – 2017

Nota. En el cuadro se muestran las cuencas hidrográficas en el Distrito de Calca, su extensión en km² y su porcentaje parcial respecto al total.

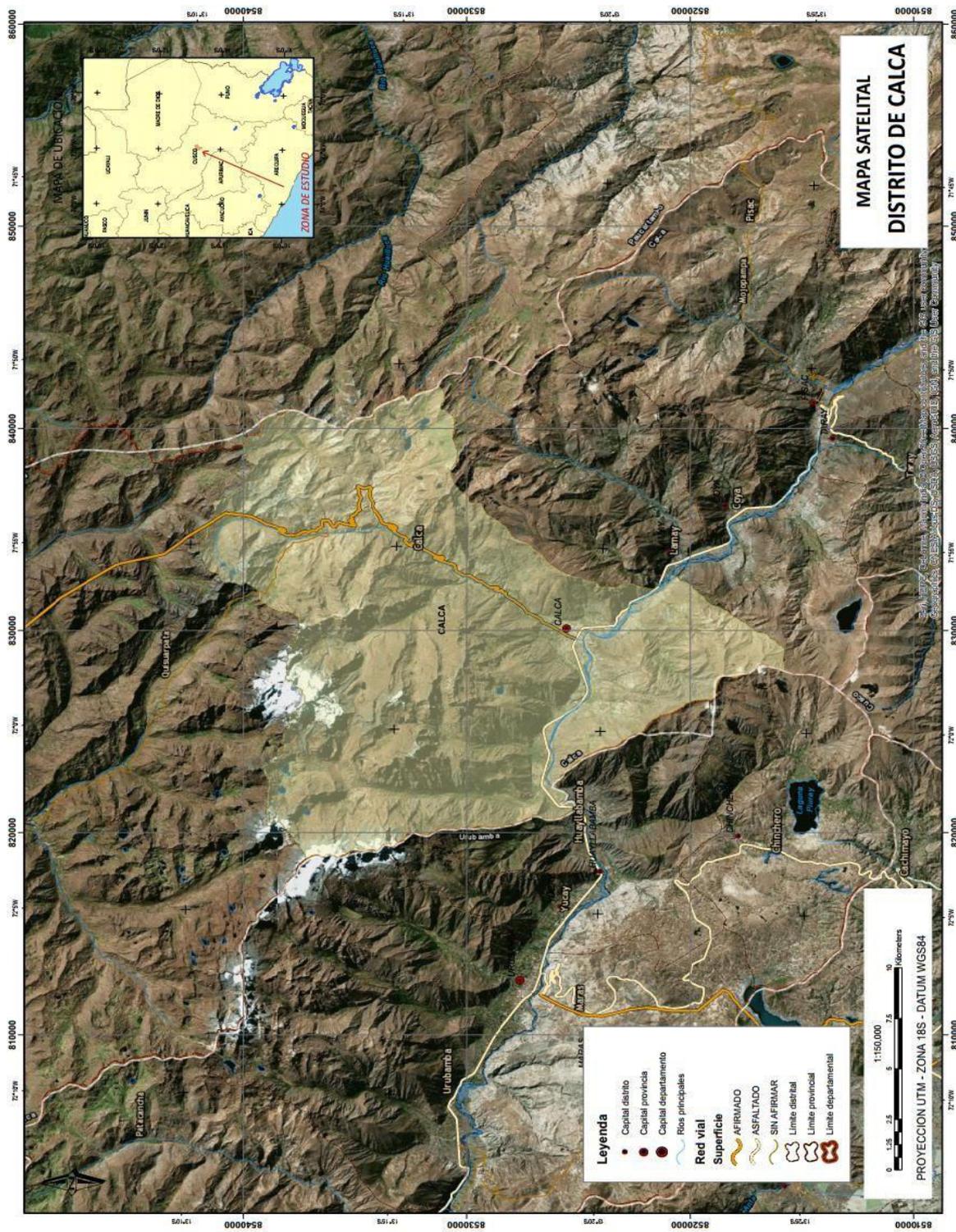
El distrito limita, por el Sur con el distrito de Lamay, por el Este con la provincia de Paucartambo, por el Norte con el distrito de Lares y por el Oeste con la provincia de Urubamba.

Figura 7. Mapa de ubicación de la ciudad de Calca, Cusco - Perú.



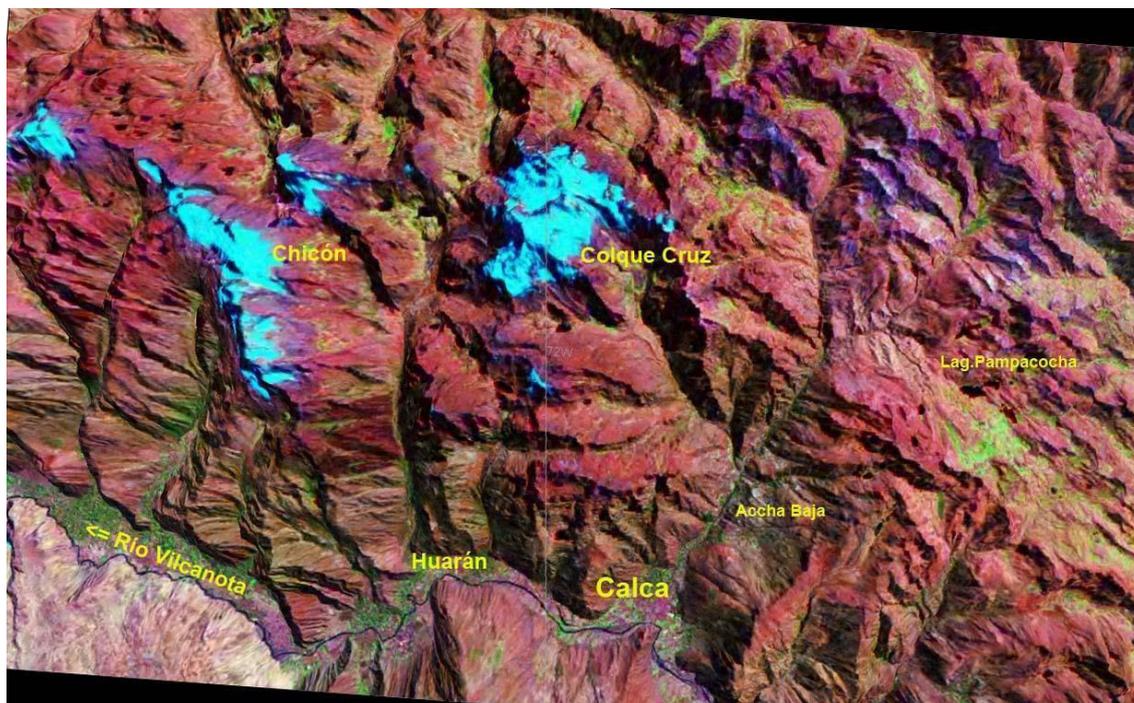
Fuente. Elaboración propia (2020).

Figura 8. Mapa satelital Distrito de Calca



Fuente. Elaboración propia (2020).

Figura 9. Vista satelital de Calca



Fuente. Elaboración propia (2020).

Dentro de la cuenca Qochoq, se encuentran 4 microcuencas: Huamanchoque, Chayñahuayco, Huaccanhuaycco, y Qochoq Bajo.

2.4.1. Ecología y clima

En base al mapa ecológico de la Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios, es posible identificar "...cinco zonas de vida o formaciones ecológicas: Bosque Seco - Montano Bajo Sub Tropical; Bosque Húmedo - Montano Sub Tropical; Parámo muy Húmedo - Sub Alpino - Sub Tropical; y Nivel Sub Tropical (NS)" (MINAGRI, 2010).

En el lugar, se han registrado temperaturas hasta los 29.8 grados centígrados (Agosto) y desde los 9.8 grados bajo cero (Junio). Este brusco cambio de temperatura durante el día, es una característica de la zona del proyecto y es un factor que ha incidido con el tiempo, en la fractura y descomposición del macizo rocoso expuesto, generando todo el material coluvial que cuelga en las laderas.

La fisiografía nos indica que la zona es escarpada. “Según el sistema de clasificación del clima de Pulgar Vidal, en la cuenca Qochoq y en el distrito, existen 3 tipos de climas: templado-frío, característica piso de valle entre 2,926 a 3,100 msnm; frío, propio de las zonas ubicadas entre 3,200 a 3,600 msnm; y muy frío, perteneciente a alturas superiores a los 3,600 msnm” (Welt Hunger Hilfe, 2008).

Figura 10. Vista aérea de la ciudad de Calca en el cono aluvial del Qochoq.



Fuente. Google Earth.

De acuerdo con lo informado por sus habitantes, inundaciones y huaycos afectaron al barrio de Piste por los años de 1960, 1970, 1980,

2010, 2011, 2015, dañando y destruyendo distintos puentes de carácter provisional.

- “El 9 de febrero del 2002, a las 2 de la madrugada el barrio de Piste, se vio afectado por el desborde del río Qochoq. Un huayco provocó el represamiento del río, en la zona de Planta Grande, quebrada Ancahuachana, cuyo desembalse afectó la carretera, tierras de cultivo y aproximadamente 16 viviendas, de las cuales 5 fueron fuertemente afectadas.” (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008)
- “El 4 de febrero de 2003, se produjo una inundación sin mayores daños” (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008).
- “El mes de febrero de 2007, el caudal del río se incrementó, pasando por encima de algunos puentes, y ante la amenaza de inundación, maquinaria del municipio procedió al enrocado provisional de puntos críticos” (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008).
- “El 21 de febrero del 2010, intensas precipitaciones originó la afectación de 12 viviendas y pérdidas de cultivos” (Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN], 2008).

2.4.2. Centros poblados y comunidades

El distrito de Calca tiene una población total de 74,700 habitantes (XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, 2017), siendo su densidad poblacional 97 hab/km². Sin embargo, esta cifra no representa la realidad, por cuanto la población está distribuida asimétricamente. Solo la ciudad de Calca tiene aproximadamente 31,048 habitantes, lo que representa el 54% del total distrital. El 46% restante se distribuye en 95 centros poblados (INEI, 2017), de los cuales solo 3 superan los 400 habitantes.

Cuadro 5. Población en la cuenca del Qochoq y cuencas aledañas

	Nº. Distritos	Población	% del total
Cuenca Qochoq	47	14,504	73%
Otras cuencas	49	5,230	27%
Total =	96	19,734	100%

Fuente. INEI, 2017

Nota. En el cuadro se muestra la población de la cuenca del Qochoq y la cantidad de distritos.

Según el INEI, el distrito de Calca tiene 96 centros poblados, de los cuales, solo la ciudad de Calca es considerada como población urbana, aunque podríamos incluir 2 centros poblados que se aproximan a ser considerados como tales: Arín (204 viviendas) y Huarán (185 viviendas). De acuerdo a esto, la población urbana del distrito representaría el 60%, siendo, por tanto, la población rural el 40% restante.

El 73% de la población del distrito se concentra en la cuenca del río Qochoq (47 distritos), mientras que el 27% restante se distribuye en las demás cuencas. Ello evidencia el peso que tiene Qochoq para el distrito.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, si bien subsisten las comunidades campesinas, como organización social de base, que ejercen sus derechos sobre el territorio y son reconocidas legalmente, sin embargo, existen otras instancias como los comités de regantes que tienen gran importancia en la distribución del agua. En lo territorial, hay superposición entre las comunidades y los denominados “anexos” pertenecientes al centro poblado más cercano. Por ejemplo, el centro poblado perteneciente a la comunidad campesina Cancha-Cancha, es a la vez, un anexo del C.P. Huarán.

Los principales núcleos que concentran gran parte de la población distrital son:

Cuadro 6. Principales núcleos poblacionales en el distrito de Calca

Nombre	Zona	Viviendas	Poblac. aprox.
CALCA	URBANO	2840	10,670
ARIN	RURAL	204	717
HUARAN	RURAL	185	650
SILLACANCHA	RURAL	121	425
SAN JOSE DE URCO CHICO	RURAL	106	373
UNURAQUI	RURAL	73	257
ACCHAHUATA	RURAL	63	221
HUQQI	RURAL	62	218
URCO	RURAL	57	200
SACLLO	RURAL	57	200
HUANDAR	RURAL	55	193
QUESPIHUAYLLA	RURAL	52	183
VILLA CARMEN	RURAL	51	179
PISTE	RURAL	50	176
SUNTUPAMPA	RURAL	45	158
TOTORA	RURAL	44	155
CANCHA-CANCHA	RURAL	40	141
CHIMPACALCA	RURAL	37	130
ACCHA PAMPA	RURAL	34	120

Fuente. Portal del INEI 2017

Fotografía 1. Comunidad Cancha-Cancha

Fuente: Intercooperation, 2016

Nota. En la fotografía se muestran riberas demasiado bajas facilitan las inundaciones frecuentes.

Fotografía 2. Comunidad Cancha-Cancha

Fuente: Intercooperation, 2016

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Clasificar la investigación en cierto tipo de metodología resulta complejo, si se quiere decir a qué tipo de investigación pertenece tal o cual trabajo. La flexibilidad que ofrece la reflexión acerca de esquemas conceptuales puede resultar mucho más productiva para orientar y tomar decisiones dentro de esquemas de investigación no tradicionales.

Los fundamentos epistemológicos, tanto empíricos como teóricos sirven para plantear las bases de una investigación (Padrón, 2006). En este sentido, la epistemología sirve en la estructuración de marcos conceptuales y sistemas procedimentales para tomar decisiones en el proceso de investigación.

Para llegar a construir la propuesta metodológica será necesario reconocer tanto aspectos cualitativos como cuantitativos. En efecto la tesis considera una visión y revisión de diferentes variables: teóricas, prácticas, aplicadas, de la planificación, y del riesgo de desastres, que determinan finalmente un set de variables específicas, cuyos resultados se explicarán en el capítulo correspondiente.

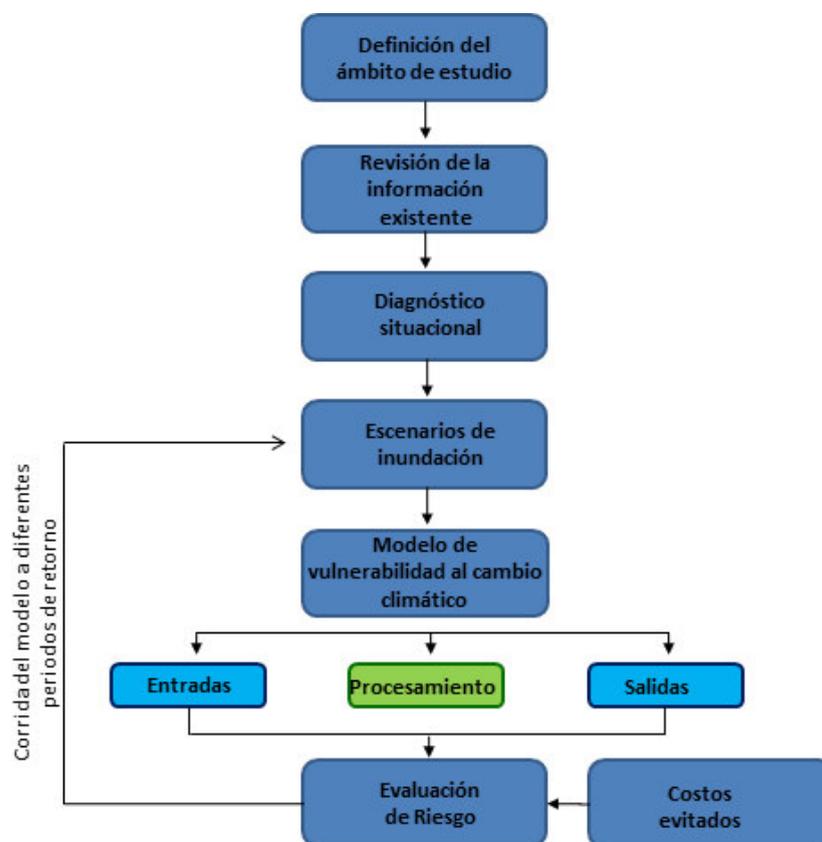
3.1. Diseño del estudio

En la metodología se pueden distinguir los siguientes pasos en el conjunto de la investigación:

- A) Definición del área de estudio.

- B) Revisión de la información existente.
- C) Diagnóstico situacional.
- D) Escenarios de inundación.
- E) Modelo de vulnerabilidad al cambio climático.
- F) Evaluación de Riesgo.
- G) Cálculo del Costo evitado.

Figura 11. Esquema metodológico de la investigación.



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. En el gráfico se visualiza los pasos previstos para la obtención del modelo de vulnerabilidad al cambio climático, así como la determinación de los costos evitados ante la probabilidad de destrucción de viviendas.

A) Definición del área de estudio

En esta etapa se abordan las tareas para seleccionar y caracterizar el área de estudio:

A.1. Selección de tramos críticos del área de estudio.

A.2. En principio, las características del área de investigación a ser analizadas:

- Representatividad del **fenómeno**. Es decir, cuencas donde

se produzcan de manera frecuente inundaciones.

- Representatividad desde el punto de vista geográfico.

Un tramo crítico⁷ es el tramo de la ribera de los ríos y quebradas cercanas a población, que han sido identificados con márgenes deterioradas en malas condiciones, cuyos elementos expuestos están susceptibles a sufrir daños por peligro de inundación, ocasionados:

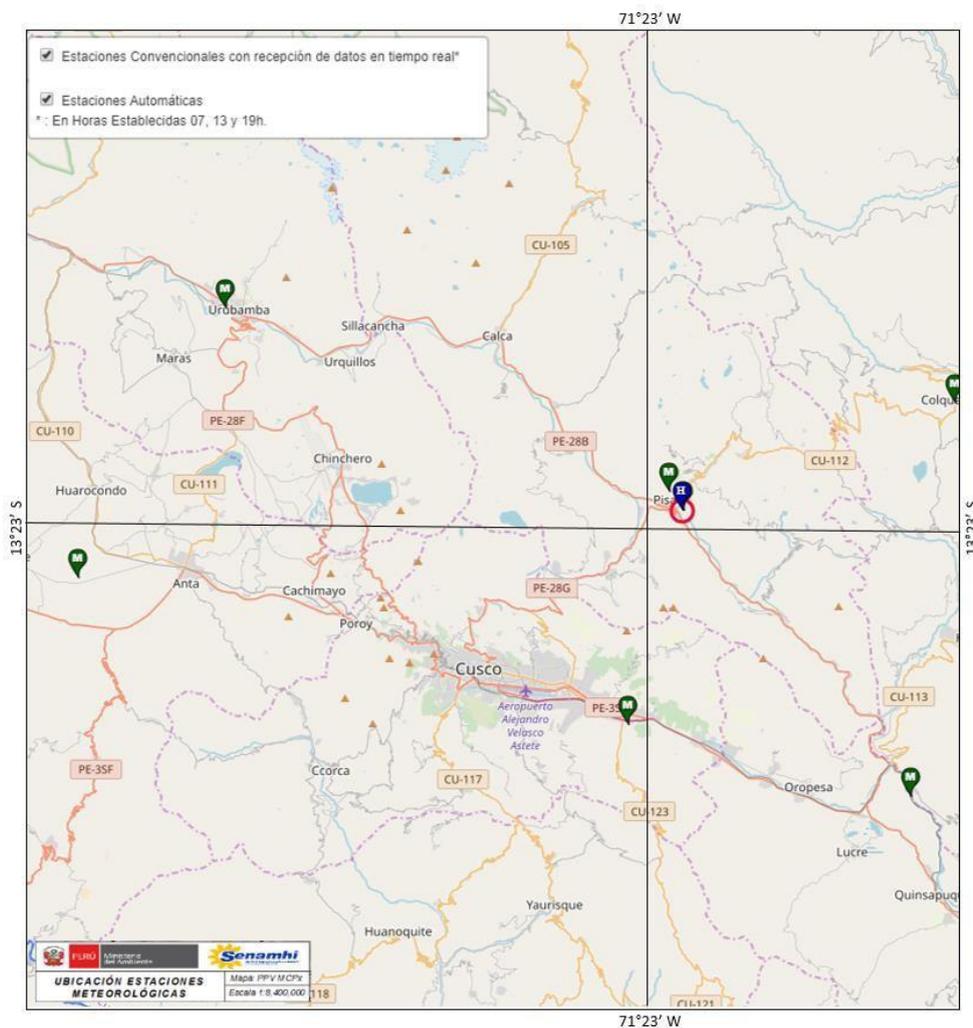
- Por la recurrencia de fenómenos hidrometeorológicos, como caudales o lluvias cuya magnitud no necesariamente se relaciona a un máximo extraordinario, pero que por su duración o recurrencia producen daños.
- Por la presencia de eventos extremos o extraordinarios como el Fenómeno El Niño.

B) Revisión de la información existente

B.1. Recopilación de información histórica (documentaria e hidrometeorológica) de pérdidas generadas por inundaciones, por lo menos de los últimos 30 años.

⁷ Autoridad Nacional del Agua. - Identificación de puntos críticos con riesgo a inundaciones en ríos y quebradas (ANA, 2019).

Figura 12. Distribución de estaciones meteorológicas seleccionadas para la investigación.



Fuente. Elaboración propia, 2020.

B.2. Recopilación de datos de peligros por inundación, pérdidas históricas y su corrección.

B.3. Levantamiento de información en la zona de estudio.

Incluyendo:

- Levantamiento de secciones topográficas complementarias en los tramos seleccionados.

- Superficie cubierta por inundaciones históricas a nivel de la zona de estudio.
- Las principales instituciones de donde recopilar información para luego poder proceder a la normalización de la información:
 - *SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).*
 - *ANA (Autoridad Nacional del Agua).*
 - *Base histórica de pérdidas por desastres DesInventar.*
 - *INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil).*
 - *CENEPRED (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres).*
 - *DGAS (Dirección General de Aguas y Suelos).*
 - *CORPAC (Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial).*
 - *Estudios específicos sobre el tema de las inundaciones, estudios, tesis doctorales, proyectos, etc.*
 - *Instituto Geográfico Nacional.*
 - *Otros.*

C) Diagnóstico situacional

Referido básicamente a la línea de base del ámbito de estudio, obteniéndose:

- *Registros hidrometeorológicos* de buena calidad y de suficiente longitud (precipitación, temperatura y caudal), al menos de 30 años de datos. También se tendrá en cuenta la

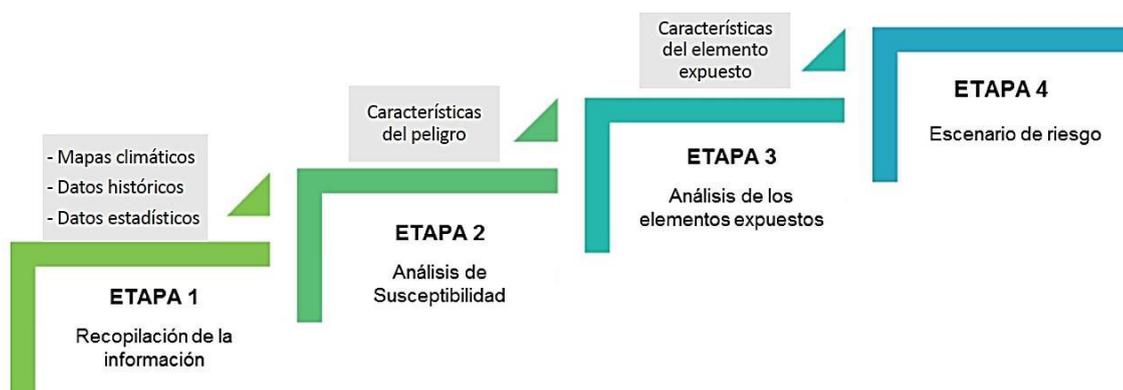
resolución temporal de dicha información y la buena cobertura espacial de las estaciones pluviométricas y de las estaciones hidrométricas.

- Existencia de *información estadística, cartográfica y topográfica* necesaria.
- Existencia de información detallada sobre **pérdidas** ocasionadas al menos de los últimos 30 años.

D) Escenarios de inundación

El escenario de riesgos, es un instrumento técnico que determina los ámbitos de geográficos con mayor prioridad de intervención⁸, para que las autoridades competentes puedan tomar decisiones orientadas a la gestión prospectiva, correctiva y/o reactiva, a efectos de proteger a la población y sus medios de vida, así como la infraestructura y las actividades socioeconómicas expuestas.

Figura 13. Esquema metodológico para elaboración de escenarios de riesgo por inundación.

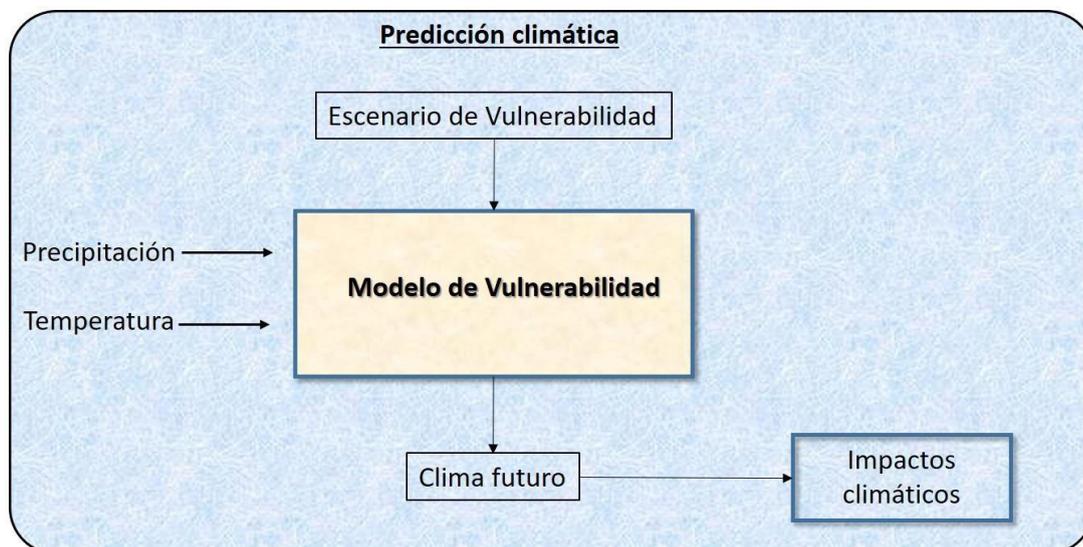


Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. En la figura se muestran las etapas para la elaboración de escenarios de riesgo por inundación.

⁸ Distritos de Alto, Muy Alto Riesgo

E) Modelo de vulnerabilidad al cambio climático

Figura 14. Esquema conceptual modelo de vulnerabilidad

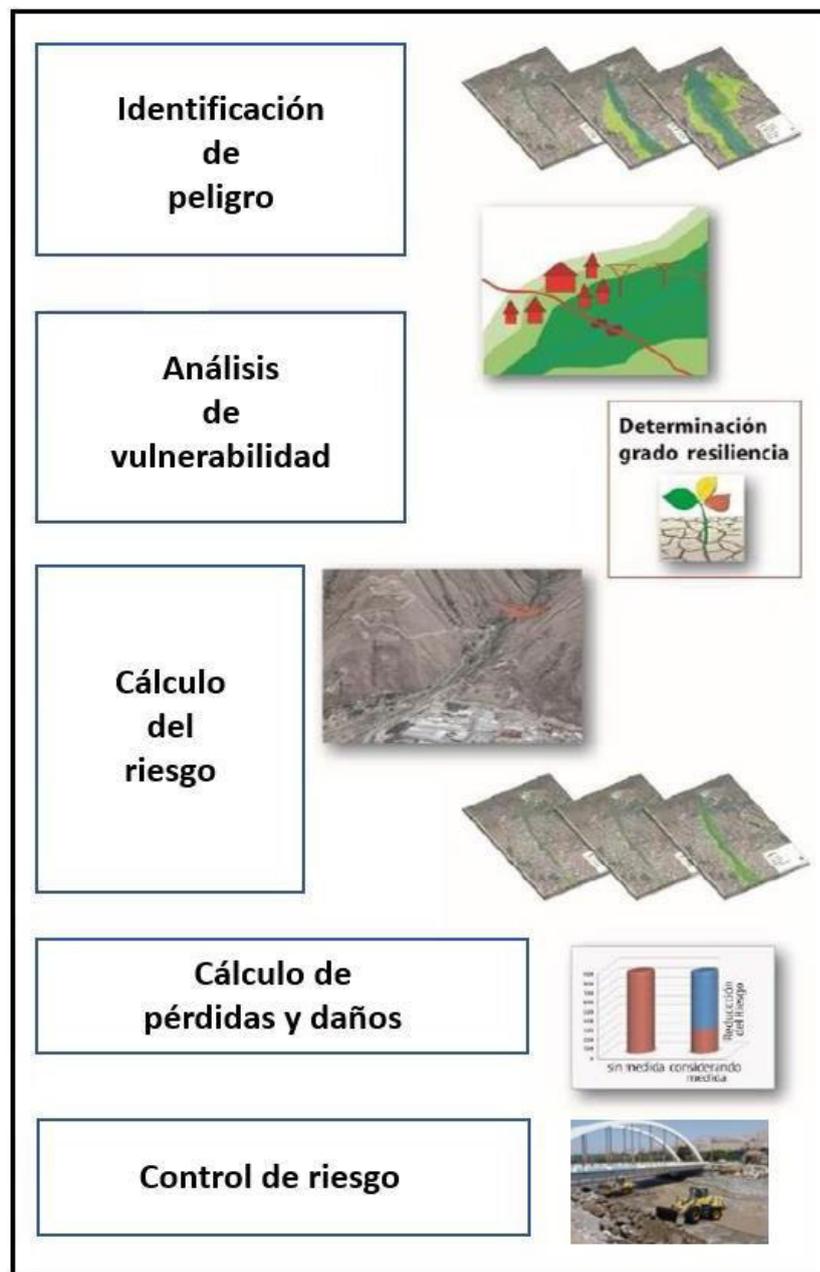
Fuente. Elaboración propia, 2020.

F) Evaluación de Riesgo

“La asignación de las funciones de vulnerabilidad a los tipos constructivos definidos por el modelo de exposición se realiza teniendo en cuenta las siguientes variables: el tipo constructivo de la base de datos de exposición y la altura representativa de la construcción en Calca” (Cardona, y otros, 2013).

La vulnerabilidad es según la base de datos de exposición que refiere al tipo constructivo y a la altura representativa de cada grupo.

Figura 15. Metodología Evaluación de Riesgos.



Fuente. Adaptado de CENEPRED (2020)

Se utilizó la herramienta Model Builder para el análisis cartográfico de vulnerabilidad, asignándole los valores obtenidos en la matriz de Saaty (vector de normalización), encadenados por geoprocursos, esta se resume en:

Cuadro 7. Niveles de peligro ante inundaciones

Nivel de peligro	Descripción del nivel	Valor
Muy Alto	Se producen inundaciones de gran magnitud	2
Alto	Se producen inundaciones peligrosas.	1
Medio	Pueden ocurrir inundaciones peligrosas que, sin embargo, son normales en esta zona.	0

Fuente: Adaptado de CENEPRED (2022)

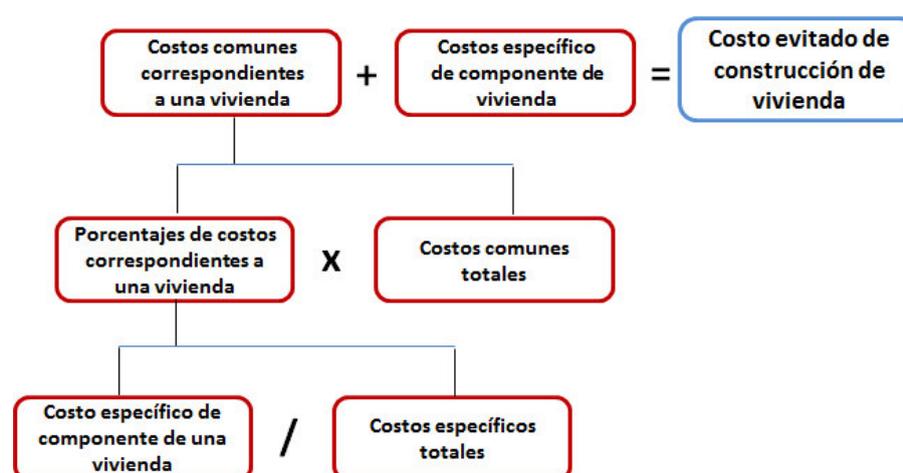
Nota. Esta tabla presenta los niveles de peligro para la temática de inundaciones en el Sector El Piste. La otra categorización (nivel Bajo) no se consideró al no haberse obtenido para los distintos mapas temáticos de resultado.

G) Costo evitado

La implementación de los costos evitados será brindar protección ante posibles inundaciones.

Las medidas de prevención que se implementen a raíz de los resultados brindados por el modelo de vulnerabilidad al cambio climático ante peligros por inundaciones, pueden ser ocasionadas por una descarga igual o menor a 20, 50 ó 100 años.

Figura 16. Metodología de cálculo de evitado de construcción de vivienda.



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Daños para diferentes Periodos de Retorno

En ese sentido la cuantificación de daños que se ocasionarán a las viviendas en el Sector El Piste se ha calculado para diferentes períodos de retorno (T) para 5, 10 y 50 años respectivamente, considerando la superficie o área de inundación y el caudal para el período de retorno que produjo la inundación.

Las superficies de inundación fueron determinadas empleando la topografía existente del río en el Sector El Piste, los caudales para diferentes períodos de retorno y el modelo de simulación hidráulica.

Daños a las Viviendas

Para la cuantificación de los daños a las viviendas por inundación se ha clasificado en función al tipo de material de construcción de dichas viviendas: i) albañilería, ii) adobe y iii) concreto y en función del nivel de inundación a las viviendas adoptando un tipo de daño a cada nivel de inundación, tal como se observa en el cuadro siguiente.

Cuadro 8. Daños por Nivel de Inundación

Nivel de Inundación	< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.
Tipo de Daño	Leve	Parcial	Severo

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La unidad de medida para la identificación de daños será el número de viviendas y el área promedio afectada de cada vivienda, según el tipo de material de construcción, el cual incluye las paredes, techos y pisos.

3.2. Tipo de investigación

Cuadro 9. *Tipo y fundamentación de la investigación*

	Tipo de investigación	Fundamentación
Desde el punto de vista de los objetivos o de la profundidad de la investigación.	De caso	Se estudia los rasgos característicos de riesgo climático.
Desde el punto de vista de la utilidad o el fin del conocimiento.	Aplicada	El modelo se espera pueda ser replicado.
Desde el punto de vista del diseño de la investigación	No Experimental	Los insumos son requeridos en base a los eventos climáticos ocurridos en el distrito de Calca, con un diseño longitudinal de tendencia.
Desde el punto de vista del marco	Gabinete (software cartográfico y climatológico). Cuantitativo	El modelo de vulnerabilidad climática y el escenario de riesgo son trabajados en base a software cartográfico y climatológico, analizando las tendencias de la temperatura y precipitación con datos numéricos de la serie histórica respectivamente.
Desde el punto de vista de naturaleza de los datos.	Correlacional	Se realiza análisis estadístico en los resultados.

Fuente. Elaboración propia (2020).

Su diseño es correlacional porque permite determinar la relación que existe entre las variables de una misma muestra.

De acuerdo a Arias (2003) los diseños analíticos explicativos se ocupan de establecer causas y determinar efectos, siendo su alcance de explicación de la ocurrencia del fenómeno, las relaciones entre fenómenos y la descripción del fenómeno.

“Los diseños explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales. Su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas” (Hernández et al., 2010).

3.3. Unidad de análisis

La unidad de análisis debe estar determinada por los criterios que corresponden al objeto de estudio. Según Bernal (2006), son “los sujetos u objetos de medidas y estudios”. Para esta investigación se tomó como unidad de análisis a la población del Sector El Piste, Calca, Cusco.

El análisis se realizó con las variables de precipitación y caudales pertenecientes a la Red de Observaciones del SENAMHI – estación meteorológica de Pisac. Así mismo se recopiló información climatológica modelada de PISCO el mismo que también fue desarrollado por el SENAMHI.

3.4. Población de estudio

Considerando que “la población es el conjunto de unidades de las que se desea obtener información y sobre las que se van a generar conclusiones” (Hernández et al., 2010), fueron medidos tres grupos de pobladores: los integrantes de la parte alta, los integrantes de la parte media y los integrantes de la parte baja del Sector El Piste.

Se analizaron las unidades sociales y sus medios de vida en relación a sus actividades económicas, siendo estos: las unidades productivas, su tecnología, y de servicios para el desarrollo de la agricultura.

La actividad agrícola en el Sector El Piste, constituye la principal fuente productiva, de ingresos y ocupación de la familia. Esta actividad está expuesta recurrentemente a fenómenos naturales extremos, que ocasionan daños y pérdidas considerables a los agentes económicos.

3.5. Periodo de estudio

Para la presente investigación se escogió el siguiente periodo de información meteorológica observada y modelada:

Cuadro 10. *Información meteorológica observada y modelada*

Información observada	Variable	Tipo	Periodo de estudio	Propietario
Pisac	Precipitación	Convencional	1961 - 2017	SENAMHI
	Temperatura		1658 - 2017	
Información modelada	Variable	Tipo	Periodo de estudio	Propietario
PISCO	Precipitación	Modelada - grillada	1981 - 2016	SENAMHI
	Temperatura		1981 - 2015	

Fuente. SENAMHI (2020)

La base de datos climatológicos modelados de PISCO, presenta una resolución temporal desde el año 1981, que a partir de la fecha fue su primer producto.

3.6. Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra se definió a partir de una fórmula:

- Población (N): 176 pobladores.
- El número 4: coeficiente de confiabilidad para el 94% de nivel de confianza.
- p y q: son las probabilidades de éxito y fracaso que tiene cada integrante de la población.
- E: es el error seleccionado de 5.

Fórmula:

$$n = \frac{4 N p \cdot q}{E^2 (N - 1) + 4 p \cdot q}$$

$$n = \frac{4 (176) (50) (50)}{5^2 (176 - 1) + 4 (50) (50)}$$

$$n = 122$$

El tamaño de la muestra fue de 122 pobladores.

3.7. Selección de muestra

Se seleccionó a pobladores en los niveles de peligro alto y muy alto al determinar los modelos probabilísticos, distinguiendo entre categorías de edad y sexo. Se aplicó la técnica del muestreo aleatorio simple.

3.8. Validez de instrumentos

La validez de los instrumentos de producción de información se efectuó con herramientas ya validadas por entidades nacionales y de cooperación internacional, respecto a la validez de determinada técnica, entendiéndose que validez es la coherencia entre lo que la técnica presenta y lo que con ella se desea observar, levantar información. En otras palabras, se busca constatar si es coherente la aplicación del método respectivo.

Se realizó la identificación in situ de las alturas de inundación, talleres, estudios, y se aplicaron los instrumentos de diagnóstico.

Respecto a la información hidrometeorológica.

a) Información observada de precipitación de Senamhi.

Se utilizó un registro histórico de la estación meteorológica de Pisac. El periodo de registro utilizado fue 1961 – 2017. La información histórica corresponde al SENAMHI.

b) Información observada de temperatura de Senamhi

Para el análisis de la temperatura se ha utilizado un registro histórico de temperatura media, máxima y mínima de la estación meteorológica de Pisac. El periodo de registro utilizado fue 1958 – 2017. La información histórica corresponde al SENAMHI.

c) Datos climatológicos modelados - PISCO

Se utilizó el producto de temperatura y precipitación de la base de datos grillados de PISCO con una resolución de 0.05°~5km, el mismo que fue producida por el SENAMHI, cuya información está disponible en formato ráster. El producto PISCO, es resultado de la combinación de datos climatológicos observado de la red de estaciones meteorológicas de todo el Perú y datos estimados por satelitales del producto CHIRPS con datos mensuales (Waldo Lavado et al., 2014).

La base de datos climatológicos de PISCO de temperatura y precipitación utilizados en el presente estudio se ha obtenido desde la página web del SENAMHI.

- Focus Group
- Investigación documental

Consistió en la revisión y organización de la información secundaria disponible en documentos e instrumentos de gestión para el desarrollo, como de estudios relacionados con el territorio y la vulnerabilidad territorial.

Se analizó información referida a las principales amenazas que se manifiestan en el distrito, factores de vulnerabilidad de las unidades sociales, principales infraestructuras para el desarrollo agrario, entre otros aspectos relacionados al tema de investigación.

Esta información complementó la información primaria obtenida en los talleres y reuniones focales y contribuyó en la definición de la vulnerabilidad territorial.

3.9. Operacionalización de variables

Variable independiente (I): Vulnerabilidad al cambio climático.

Definición operacional: Se facilitará su medición a través de indicadores, tomados en base a parámetros de entidades nacionales: precipitación, temperatura, caudales, entre otros, considerando las recomendaciones de la Guía de Prácticas Hidrológicas de la World Meteorological Organization (WMO). Para la medición de los indicadores se usará los registros de las estaciones automáticas y semiautomáticas del Senamhi y de la Autoridad Nacional del Agua – ANA.

Variable dependiente (I): Peligro por inundación.

Definición operacional: Se expresará en 2 categorías de acuerdo a la comparación de los indicadores: intensidad y probabilidad de ocurrencia, considerados en el Manual de inundaciones del CENEPRED. Para la medición de los indicadores se considerará la Directiva 2007/60/EC de la Unión Europea.

Cuadro 11. *Operacionalización de la variable independiente*

VARIABLE INDEPENDIENTE (I)	INDICADORES VAR. INDEPENDIENTE
X= Vulnerabilidad al cambio climático	X ₁ = Precipitación. X ₂ = Temperatura X ₃ = Caudales m ³ /s

Fuente. Elaboración propia (2020).

Cuadro 12. Operacionalización de la variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE (I)	INDICADORES VAR. DEPENDIENTE
Y= Peligro por inundación	Y ₁ = Intensidad Y ₂ = Probabilidad de ocurrencia

Fuente. Elaboración propia (2020).

Cuadro 13. Definición nominal, real y operacional de las variables

VARIABLE	DEFINICIÓN NOMINAL	DEFINICIÓN REAL, DIMENSIONES	DEFINICIÓN OPERACIONAL, INDICADORES
Vulnerabilidad al cambio climático	“Grado al cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos” (Cuarto Reporte de Evaluación del Panel intergubernamental del Cambio Climático – IPCC).	Dimensión Física Dimensión Económica	Se facilitará su medición con indicadores tomados en base a parámetros de entidades nacionales: precipitación, temperatura, caudales, entre otros, considerando las recomendaciones de la Guía de Prácticas Hidrológicas de la World Meteorological Organization (WMO). Para la medición de los indicadores se usará los registros de las estaciones automáticas y semiautomáticas del Senamhi y de la Autoridad Nacional del Agua - ANA. Indicadores: X ₁ =Precipitación X ₂ =Temperatura X ₃ =Caudales m ³ /s-
Peligro por inundación	Probabilidad de que una determinada área geográfica presente niveles de peligrosidad muy alta, alta, media.	Dimensión Física Dimensión Ambiental	Se expresará en 2 categorías de acuerdo a la comparación de los indicadores: intensidad y probabilidad de ocurrencia.

Fuente. Elaboración propia (2020).

3.10. Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	HIPÓTESIS	DISEÑO METODOLÓGICO				
				DE ACUERDO AL TIEMPO	TIPO DE INVERSIÓN	MUESTRA	INSTRUMENTOS	TIPO ANÁLISIS ESTADÍSTICO
<p><u>General</u></p> <p>¿Cómo influye en el cálculo del costo evitado el modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en El Piste, Calca, Cusco?</p>	<p><u>General</u></p> <p>Establecer el grado de influencia del modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en el cálculo del costo evitado de destrucción de viviendas en El Piste, Calca, Cusco.</p>	<p>Variable Independiente (I):</p> <p>Vulnerabilidad al cambio climático</p>	<p>El modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones influye significativamente en el cálculo del costo evitado de destrucción de viviendas ante inundaciones en el Sector El Piste, Calca, Cusco.</p>	<p>De caso (se estudia los rasgos característicos de la vulnerabilidad climática).</p> <p>Aplicada (el modelo se espera pueda ser replicado).</p> <p>No Experimental (se ensaya un modelo de vulnerabilidad climática ante peligros por inundaciones). Gabinete (escenario de riesgo es trabajado con insumos de campo). Correlacional (análisis estadístico)</p>	<p>Ámbito distrital urbano del Sector El Piste, distrito de Calca, Cusco.</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Fichas bibliográficas</p> <p>Modelos</p> <p>Variable dependiente: Matrices de Evaluación de Riesgo.</p> <p>Escenarios de riesgo.</p>	<p>Sistematización de encuestas</p> <p>Cálculo de probabilidades.</p> <p>Programación para modelamiento y análisis estadístico.</p>	
<p><u>Específicos</u></p> <p>¿Qué herramienta metodológica facilitará el análisis de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en El Piste, Calca, Cusco?</p>	<p><u>Específicos</u></p> <p>Diseñar una metodología para el análisis de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en El Piste.</p>	<p>Variables Dependientes (I):</p> <p>Peligro por inundación</p>	<p>Determinar parámetros a considerar en el modelo de vulnerabilidad al cambio climático que facilite su implementación en El Piste.</p>	<p>Transversal</p>				
<p>¿Qué parámetros considerar en el modelo de vulnerabilidad al cambio climático que facilite su implementación en El Piste, Calca, Cusco?</p>	<p>Desarrollar una metodología que permita calcular el costo evitado en afectación de viviendas ante riesgo de inundaciones..</p>							
<p>¿Qué procedimiento metodológico permitirá calcular el costo evitado en afectación de viviendas ante riesgo de inundaciones El Piste, Calca, Cusco?</p>								

3.11. Técnicas de recolección de datos

A través de una ficha estructurada de información. Se adjunta en anexo y considera entre otros aspectos: características estructurales de la vivienda, grupo etéreo, discapacidad de la población, cumplimiento de normas técnicas de construcción, disponibilidad de capital natural, entre otros aspectos.

a. Programas y herramientas

En la presente investigación se utilizaron los siguientes programas lo que facilitó analizar y encontrar los resultados:

- ✓ Paquete Trend, Non-Parametric Test and Change-Point Detection. Prueba no paramétrica de Mann-Kendal y Pettitt.
- ✓ Paquete estadístico PAleontological STatistics (PAST versión 3.2) lo que permitió determinar la pendiente o tasa de cambio de la precipitación, temperatura media, máxima y mínima.
- ✓ Microsoft Excel, lo que permitió organizar la base de datos mensuales de las variables climatológicas de temperatura y precipitación en formatos establecidos y convertir a escala estacional.
- ✓ ArcMap de ArcGis Desktop 10.5

b. Equipos

- ✓ Laptop personal
- ✓ Materiales de escritorio
- ✓ Usb

3.12. Análisis e interpretación de la información

Criterios para determinar la vulnerabilidad al cambio climático

- a) Vulnerabilidad por fragilidad.
- b) Vulnerabilidad por resiliencia.
- c) Vulnerabilidad territorial.

Técnicas

Las técnicas utilizadas en los talleres son las siguientes:

- ✓ **Análisis de Riesgo:** Con la finalidad de ubicar en el espacio los elementos físico – estructurales esenciales para el desarrollo de la actividad agrícola, con los que cuentan las unidades sociales de cada unidad territorial, y puntualizar sus componentes en riesgo.

En el taller de identificación y clasificación de elementos esenciales, se usó el mapa base del Distrito de Calca, como insumo para la elaboración del mapa parlante respectivo.

En los talleres comunitarios de Análisis del Riesgo de los elementos físico estructurales esenciales, los agricultores elaboraron en base a sus conocimientos, los mapas parlantes respectivos.

- ✓ **Aplicación de matrices de análisis:** orientadas a generar información sobre los elementos físicos estructurales esenciales.

Se trabajaron las siguientes matrices: a) matriz de identificación,

caracterización y clasificación de elementos físico estructurales; b) matriz de Análisis del Riesgo de los elementos físico estructurales y, c) matriz de estrategias para reducir la vulnerabilidad territorial.

Para los escenarios de inundación: se elaboraron básicamente en función al análisis de susceptibilidad (análisis de factores condicionantes, factores desencadenantes) y al análisis de los elementos expuestos, conforme a la metodología del CENEPRED⁹ que viene siendo aplicada a nivel nacional.

Cuadro 14. Principales parámetros de peligro por inundación

TIPO DE PELIGRO NATURAL O FENÓMENO	SUCEPTIBILIDAD		PRIORIZACIÓN
	FACTORES CONDICIONANTES	FACTORES DESENCADENANTES	
INUNDACIONES	UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS PENDIENTE UNIDADES GEOGRÁFICAS	PRECIPITACIONES PLUVIALES	

Fuente. Adaptado de metodología CENEPRED (2020).

Cuadro 15. Principales parámetros de vulnerabilidad

DIMENSIÓN	FACTORES	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN
SOCIAL	EXPOSICIÓN	GRUPO ETAREO USO Y EQUIPAMIENTO URBANO DISCAPACIDAD FÍSICA DE POBLADORES
	FRAGILIDAD	TIPO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA TIPO DE SERVICIO DE ALUMBRADO TIPO DE SERVICIO DE ALCANTARILLADO CAPACITACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGOS
	RESILIENCIA	CONOCIMIENTO DE DESASTRES ACTITUD FRENTE AL PELIGRO
ECONÓMICA	EXPOSICIÓN	MATERIAL PREDOMINANTE EN PAREDES MATERIAL PREDOMINANTE EN TECHO SERVICIO DE ALCANTARILLADO

⁹ Escenario de Riesgo por Lluvias 2022. Pronóstico de precipitaciones en la sierra (CENEPRED, 2022).

FRAGILIDAD	ESTADO DE CONSERVACIÓN DE EDIFICACIÓN
RESILIENCIA	INGRESO FAMILIAR MENSUAL PROMEDIO OCUPACIÓN LABORAL DEL JEFE DE HOGAR AFILIACIÓN A UN SEGURO DE SALUD ACTIVIDAD LABORAL

Fuente. Adaptado de metodología CENEPRED (2020).

La fragilidad de la dimensión socioeconómica es estimada en función de la normalización de los valores cuantitativos de las variables de análisis a nivel de lote y ante el impacto del peligro por inundaciones, clasificados y descritos en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Variables de análisis de fragilidad y factor de influencia del evento

Factor	Cód.	Variables ¹⁰	Cód.	Indicadores	Factor de influencia del Peligro (FIP)
Fragilidad	E	Pob. por grupo de edad	E1	0-5 años	4
			E2	5-65 años	1
			E3	> 65 años	4
	D	Pob. con alguna discapacidad	D1	No encontrado	0
			D2	Si	1
	COD	Categoría de ocupación	CO1	Empleado	1
			CO2	Obrero	2
			CO3	Trabajador Independiente	2
			CO4	Empleador	1
			CO5	Trabajador Familiar no remunerado	4
			CO6	Trabajador (a) del hogar	2
	NE	Nivel Educativo alcanzado	NE1	Sin nivel	0
			NE2	Inicial	4
			NE2	Primaria	2
NE3			Secundaria	2	
			NE4	Superior	1

¹⁰ Adaptado del Manual para la Evaluación de Riesgos originados por fenómenos naturales. 2da. Versión CENEPRED (2014).

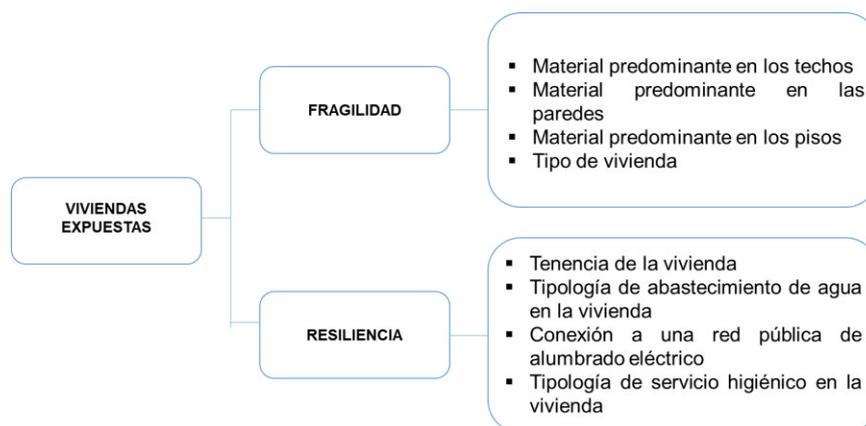
Nota. Esta tabla muestra las variables e indicadores por el componente de fragilidad con su respectivo factor de influencia (peso asignado).

Dimensión Física

La fragilidad de la dimensión física es estimada para el peligro de inundaciones con variables de análisis a nivel de lote, clasificados y descritos en la Tabla 3 y Figura 3.

Determinadas las viviendas expuestas y/o establecidas dentro del área de influencia de las inundaciones, se incorpora el análisis de la fragilidad y resiliencia, a fin de estimar los niveles de vulnerabilidad física.

Figura 17. Elementos expuestos de la dimensión física



Nota. En el gráfico se visualizan algunas variables consideradas tanto por fragilidad como por resiliencia respecto a las viviendas expuestas.

La evaluación de las viviendas expuestas a la ocurrencia de peligros de origen natural, forman parte importante en la elaboración de planes y programas de prevención, reducción, rehabilitación y reconstrucción.

En este caso, se realizaron proyecciones con la ecuación de crecimiento geométrico simplificado (Torres-Degró, 2011), recomendado para análisis de

tiempos medianos entre 5 - 10 años y con incremento de semejanza lineal(aumento de similares cantidades por unidad de tiempo) para el material predominante de las paredes, tipología y tenencia de la vivienda.

Para el cálculo de las viviendas existentes a la fecha de corte en que se materialice un determinado evento de origen natural, se obtiene aplicando la siguiente fórmula.

$$V_d = V_o * e^{rt} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

V_d = Viviendas al día del desastre

V_o = Último cálculo oficial de viviendas

e = Logaritmo neperiano

t = Tiempo en años entre la fecha inicial de la proyección usada en el cálculo de r y el momento del desastre.

r = Tasa anual de crecimiento geométrico simplificado del año o periodo de ocurrencia del desastre.

$$r = (2/a) \times [(V_{t+n} - V_t) / (V_{t+n} + V_t)] \dots\dots\dots (2)$$

a = La amplitud o distancia en tiempo entre las dos cantidades de viviendas de referencia.

V_{t+n} = Viviendas al momento actual

V_t = Viviendas al momento inicial

Cuadro 17. Fragilidad de la dimensión física

Factor	Cód.	Variables	Cód.	Indicadores	Factor de Influencia del Peligro (FIP)	
FRAGILIDAD	T	Material predominante en techo	T1	Concreto	1	
			T2	Madera	2	
			T3	Tejas	3	
			T4	Calamina	4	
			T5	Torta de Barro	4	
			T6	Estera	4	
	P	Material predominante en pared	P1	Ladrillo	1	
			P2	Adobe	3	
			P3	Madera	3	
			P4	Quincha	3	
			P5	Estera	4	
			P6	Piedra con barro	3	
			P7	Piedra con cal	3	
	PS	Material predominante en piso	PS1	Parquet	1	
			PS2	Lámina	1	
				asfáltica		
			PS3	Loseta	1	
			PS4	Madera	2	
			PS5	Cemento	1	
			PS6	Tierra	4	
			PS7	Otro	4	
TV			Tipo de vivienda	TV1	Casa	1
				TV2	Independiente Departamento en edificio	1
	TV3	Vivienda en quinta		3		
	TV4	Vivienda en casa de vecindad		3		
	TV5	Choza		4		
	TV6	Vivienda improvisada		4		

Fuente: Adaptado de CENEPRED (2022)

Nota. Esta tabla muestra las variables e indicadores por la dimensión física.

✓ **Tratamiento de datos**

La presente investigación se realizó a partir de la base de datos de precipitación y temperatura observada de la estación meteorológica Pisac del SENAMHI, así como de los datos climatológicos modelados de PISCO.

Se ordenó la base de datos observada y modelada en la serie mensual, anual y estacional; utilizándose la herramienta de Microsoft Excel, lo que facilitó ordenar y clasificar la base de datos, según los periodos de estudio, con la finalidad de poder identificar el comportamiento y análisis de las tendencias de la precipitación y temperatura respectivamente.

3.12.1. Determinación de tendencias lineales e temperatura y precipitación

Se aplicó el análisis de regresión lineal simple con la finalidad de determinar la pendiente o tasa de cambio de la temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por unidad de tiempo y el nivel de significancia.

Se realizaron análisis de tendencias lineales de la temperatura y precipitación en la serie mensual y anual, el cual se realizó para ambas variables.

Se realizaron subdivisiones se realizaron con la finalidad de observar cambios en la tendencia lineal en los últimos años.

Cuadro 18. *Periodo de estudio para el análisis de tendencia lineal*

Información observada (A)	Variable	Serie	Tipo	Tendencia lineal	Longitud
Pisac	Temperatura (Tm, Tmax, Tmin)	Mensual	Convencional	1958- 2017	59
		v anual		1970- 2017	47
				1980- 2017	37
	Precipitación	Mensual		1961- 2017	56
		v anual		1970- 2017	47
				1980- 2017	37
Información modelada (B)	Variable	Serie	Tipo	Tendencia lineal	Longitud
PISCO	Precipitación	Mensual y anual	Modelada – grillada	1981 - 2016	35
	Temperatura (Tm, Tmax, Tmin)	Mensual y anual		1981 - 2015	34

Fuente. SENAMHI (2020).

En cada pendiente proyectada (mensual y anual) se estableció el nivel de significancia en 5% ($P\text{-value} \leq 0.05$). Al realizar el análisis de tendencia lineal en la progresión climática, es sustentada estadísticamente con un nivel de probabilidad de error de 5% es decir menor a 0.05 (Acuña, 2015).

Las tendencias lineales de las temperaturas media, máxima y mínima se expresaron en °C/año. La estimación del incremento total resulta de multiplicar la pendiente por el número de años de longitud (récord histórico) respecto a la progresión climática de temperatura.

De igual forma, se desarrolló el análisis de las progresiones temporales de precipitación y temperatura, que resultan en una representación cronológica de los datos. La producción de los gráficos de dispersión fue útil para verificar las tendencias de las variables de precipitación y temperatura.

3.12.2. Análisis estadístico de las tendencias de precipitación y temperatura.

El análisis de datos en la actual investigación es cuantitativo, cuyo flujo metodológico fue optar por el software estadístico para el estudio de los datos. Esto se llevó a cabo considerando el nivel de medición de las variables y a través de la estadística de inferencia, lo que permitió calcular los parámetros y experimentar las hipótesis.

Se utilizó los ensayos de Mann-Kendall con fines de localizar las tendencias y el test de Pettitt, para revelar la presencia de un punto de cambio en una progresión temporal respectivamente. Estas pruebas representan a un test no paramétrico. Seguidamente, se detalla la secuencia del método estadístico.

El test de Mann-Kendall, tiene como objetivo detectar una tendencia al incremento o al decremento de una serie de datos, y en este caso para la detección de tendencias de variables climáticas (cambios en las temperaturas y precipitaciones) (W. Lavado et al., 2013).

Según Zbigniew (2004) la fórmula de Pettitt determina que es una de las pruebas muy completa para detectar e identificar los cambios en las series temporales.

3.12.3. Prueba de Mann-Kendall

El test de Mann-Kendall es un ensayo no paramétrico que se utiliza para la caracterización de tendencias de los datos de series de tiempo. Una ventaja de este ensayo es que los datos no necesitan ajustarse a cualquier distribución particular. La segunda ventaja de la prueba es su baja sensibilidad a las interrupciones bruscas a la serie temporal homogénea (Jaagus, 2016).

Respecto a la temperatura se calculó las tendencias de la temperatura media, mínimas y máximas mediante el estadístico no paramétrico de Man-Kendall. De igual forma también se estudió las tendencias en cuanto a precipitación, esto permitió tener los resultados conforme a los objetivos planteados en el actual estudio.

La prueba no paramétrica de Man-Kendall programa a dos puntos

El estudio de tendencias se evaluó las progresiones de tiempo anual, mensual y estacional empleando Mann-Kendall, para las variables de precipitación y temperatura.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

En la presente investigación se empleó progresiones de temperatura y precipitación de la estación meteorológica de Pisac. Esta estación corresponde al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Se empleó un método de regresión lineal para el estudio de tendencias lineales de la temperatura y precipitación. Respecto a las temperaturas se cobertura información de 1958 – 2017, para la precipitación comprendió desde 1961 – 2017, a fin de percibir cambios en la tendencia lineal en los últimos años.

El método de Man-Kendall se usó para revelar las tendencias, así como el punto de cambio en una progresión temporal de temperatura y precipitación. Esta técnica se empleó en los datos del SENAMHI y la base de datos climatológicos de PISCO.

4.1.1. Análisis de la tendencia lineal mediante registros históricos del SENAMHI y modelado de datos PISCO

a. Temperatura media

Al analizar toda la progresión histórica de datos en la estación meteorológica de Pisac¹¹ disponible de SENAMHI (1958 – 2017), no se encontró un aumento estadísticamente significativo en la temperatura media en todos los meses del año ($P\text{-value} > 0.05$). Sin embargo, la temperatura media anual

¹¹ Datos de temperatura obtenidos de la estación convencional de Pisac (1958-2017) (SENAMHI, 2020)

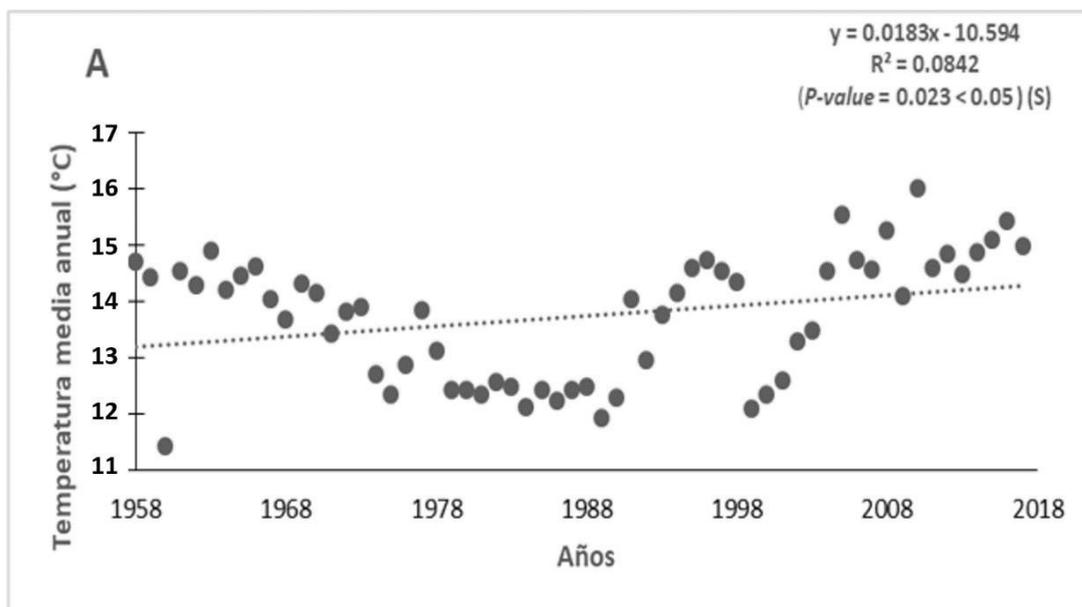
aumentó considerablemente para este periodo en 1.08°C ($P\text{-value} < 0.05$) (Cuadro 16 y Figura 17). Asimismo, para este periodo los meses con mayor aumento de temperatura fueron agosto ($+1.31^{\circ}\text{C}$) y setiembre ($+1.14$), meses que corresponden a la época seca en Calca. Mientras que los meses enero y febrero tuvieron menor incremento de temperatura media. La temperatura media por década para el año 1958 – 2017 fue de $0.18^{\circ}\text{C}/\text{década}$.

Cuadro 19. *Tendencia lineal de temperatura media*

(A)	Temperatura media 1958-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0.005	0.003	0.013	0.016	0.008	0.017	0.010	0.022	0.020	0.013	0.008	0.012	0.018
ΔT_m ($^{\circ}\text{C}$)	0.311	0.186	0.742	0.952	0.471	1.031	0.613	1.321	1.156	0.768	0.473	0.683	1.078
r^2	0.009	0.004	0.053	0.069	0.013	0.031	0.012	0.056	0.043	0.034	0.014	0.042	0.084
$P\text{-value}$	0.516	0.662	0.101	0.071	0.414	0.227	0.456	0.094	0.135	0.202	0.403	0.150	0.023

Fuente. Elaboración propia, 2020

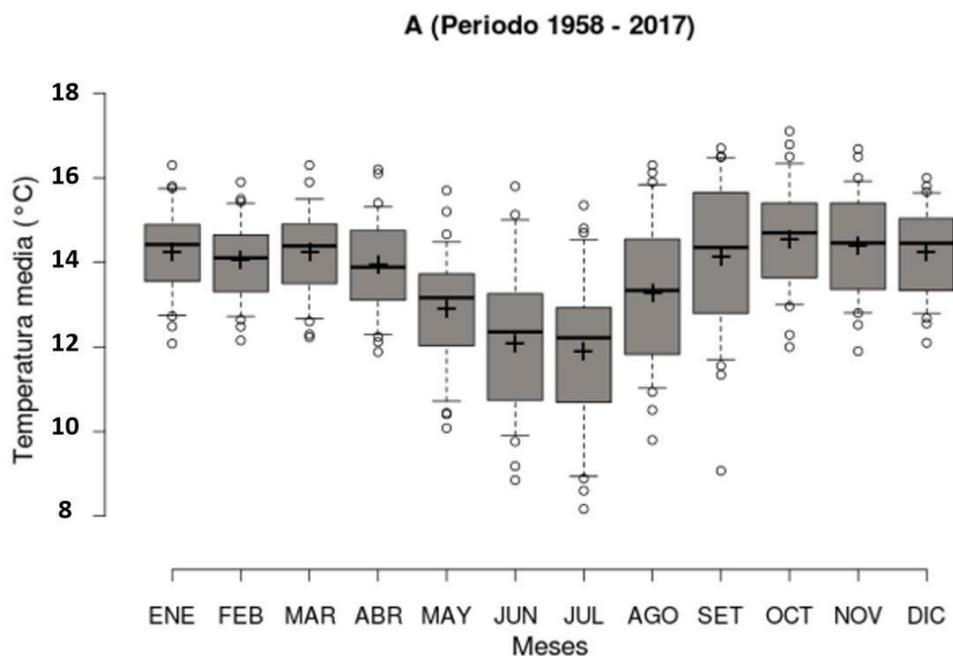
Figura 18. Tendencia lineal de la temperatura media anual según periodo de evaluación (1958 – 2017).



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Comportamiento mensual de la temperatura media promedio a lo largo del año, para el periodo 1958-2017. Las temperaturas promedio más bajas se reconocieron en los meses de mayo, junio y julio; lo que concuerda para los tres periodos de evaluación, siendo el mes de julio (7.1°C) que registró menor temperatura, por lo general este mes suele presentar temperaturas bajas.

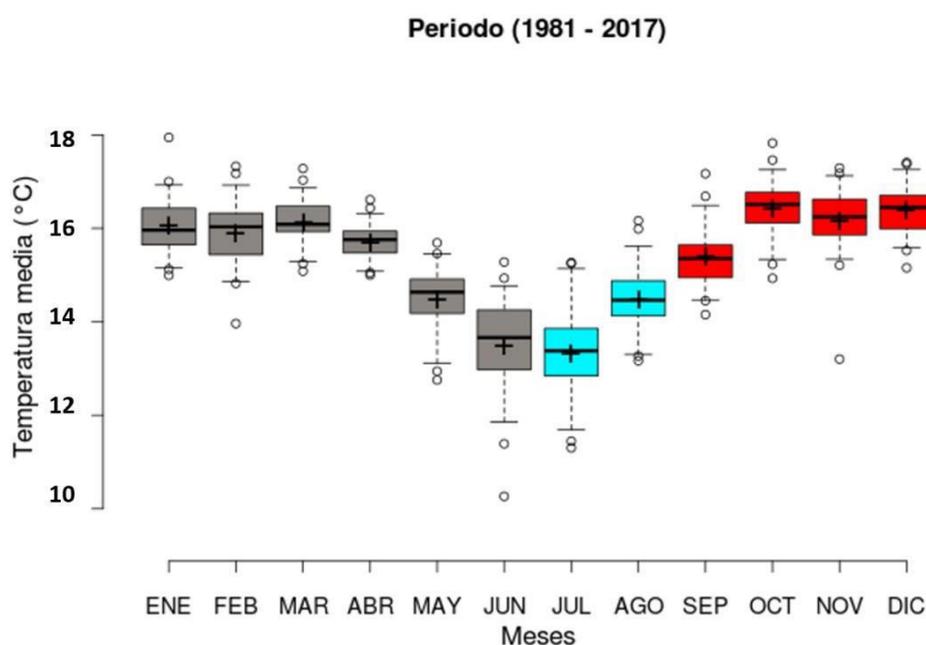
Figura 19. Temperatura media mensual (1958 – 2017)



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. (Plomo = No Significativo). Los recuadros denotan los percentiles 25 y 75, los puntos representan valores inconsistentes y los guiones centrales las medianas.

El análisis de la temperatura media a partir de los datos de PISCO durante el periodo de 1981 – 2015, arrojó similares temperaturas durante todos los meses del año.

Figura 20. *Temperatura media (1981 – 2017)*

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. Leyenda: Rojo = aumento considerable. Celeste = baja no considerable. Plomo = no significativo. Los recuadros denotan los percentiles 25 y 75, los puntos representan valores inconsistentes y los guiones centrales las medianas.

b. Temperatura máxima promedio

La temperatura máxima promedio anual para el periodo 1958 – 2017, en la ciudad de Calca se incrementó en 1.40°C (P-value < 0.05) (Cuadro 16 y Figura 20). Asimismo, se encontró un incremento estadísticamente significativo en 9 meses del año (P-value < 0.05), Por otro lado, los meses que presentaron mayor incremento fueron abril (+1.62°C), junio (+1.55°C) y octubre +1.51°C). Sin embargo, en los meses de marzo, mayo y setiembre no se visualizó un aumento estadísticamente significativo (P-value > 0.05). La temperatura máxima por década para el periodo 1958 – 2017 fue de 0.23°C/década.

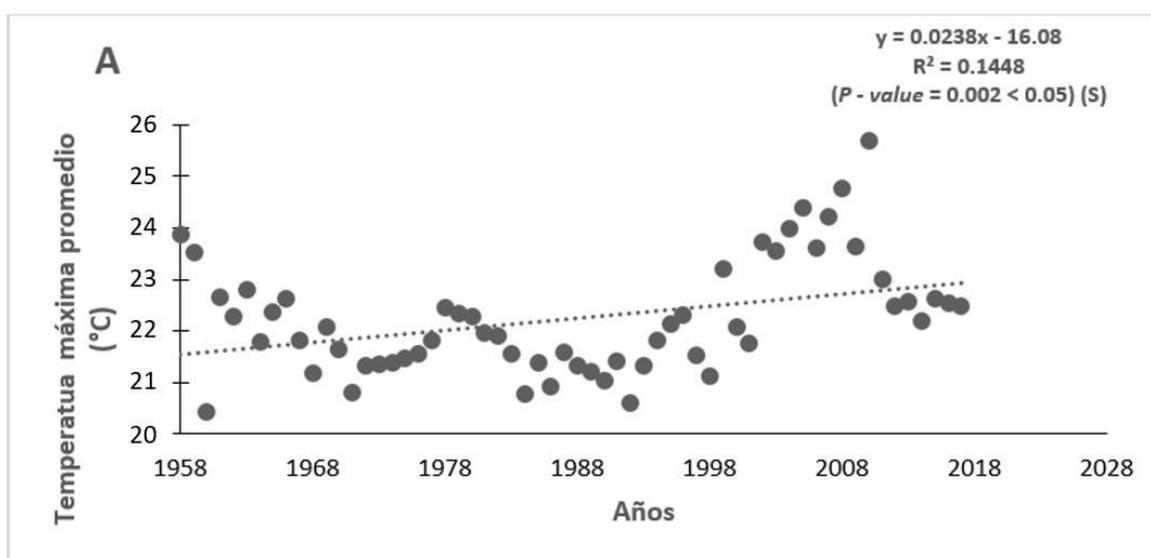
El aumento de la temperatura máxima también fueron encontrados para la ciudad de Calca (Acuña, 2015) donde se verificó el aumento en promedio de la temperatura máxima en $0.11^{\circ}\text{C}/\text{década}$ para el periodo 1971 – 2010. Este incremento de la temperatura está relacionado con los años de los periodos climáticos.

Cuadro 20. Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio

(A)	Temperatura máxima promedio 1958-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0.022	0.017	0.022	0.025	0.010	0.015	0.026	0.028	0.021	0.025	0.022	0.026	0.024
ΔT_{mx} ($^{\circ}\text{C}$)	1.304	1.017	1.315	1.491	0.570	0.887	1.518	1.629	1.244	1.483	1.277	1.555	1.405
r²	0.113	0.064	0.132	0.139	0.015	0.018	0.067	0.109	0.067	0.151	0.119	0.243	0.145
P-value	0.016	0.059	0.007	0.006	0.372	0.328	0.057	0.016	0.060	0.004	0.012	0.000	0.002

Fuente. Elaboración propia, 2020.

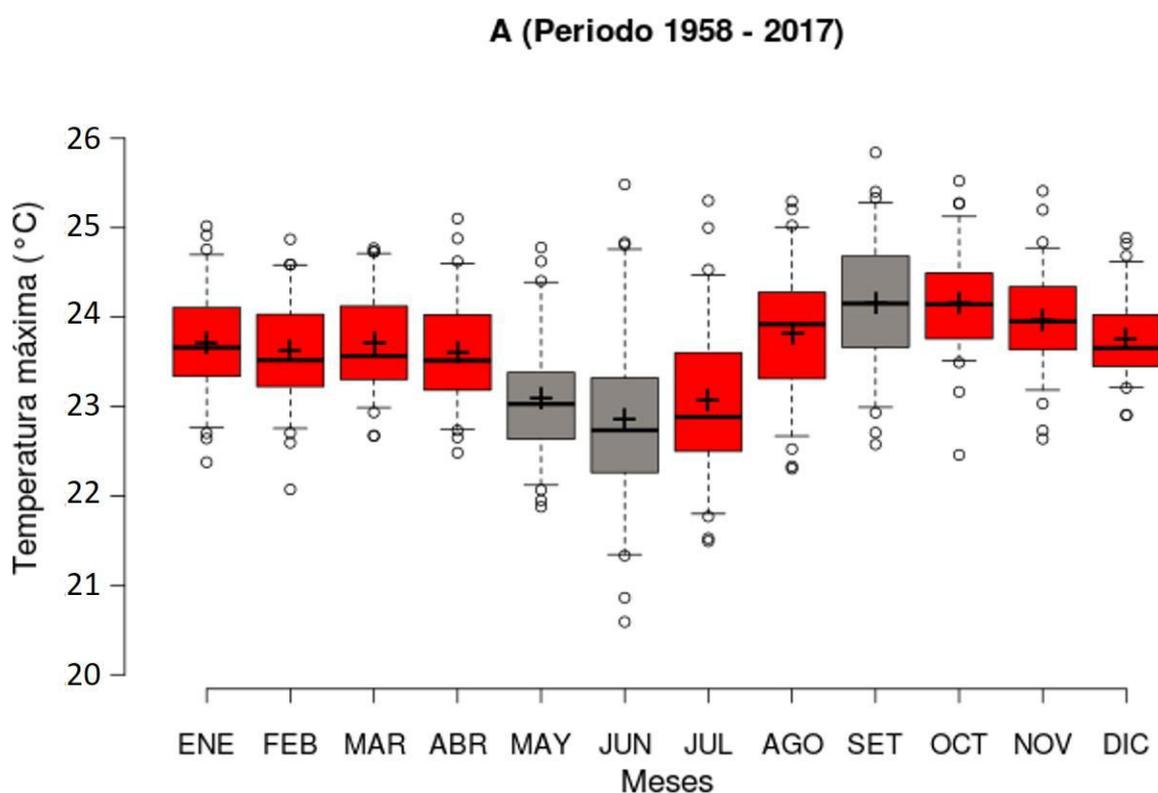
Figura 21. Tendencia lineal de la temperatura máxima promedio (1958 – 2017).



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Comportamiento mensual de la temperatura máxima promedio a lo largo del año, durante el periodo 1958-2017. Se encuentra que las temperaturas más altas se registraron entre los meses de setiembre y octubre (30.33°C).

Figura 22. *Temperatura máxima mensual (1958 – 2017)*



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. Leyenda: Rojo = aumento considerable. Plomo = no significativo. Los rectángulos denotan los percentiles 25 y 75, los guiones centrales muestran las medianas.

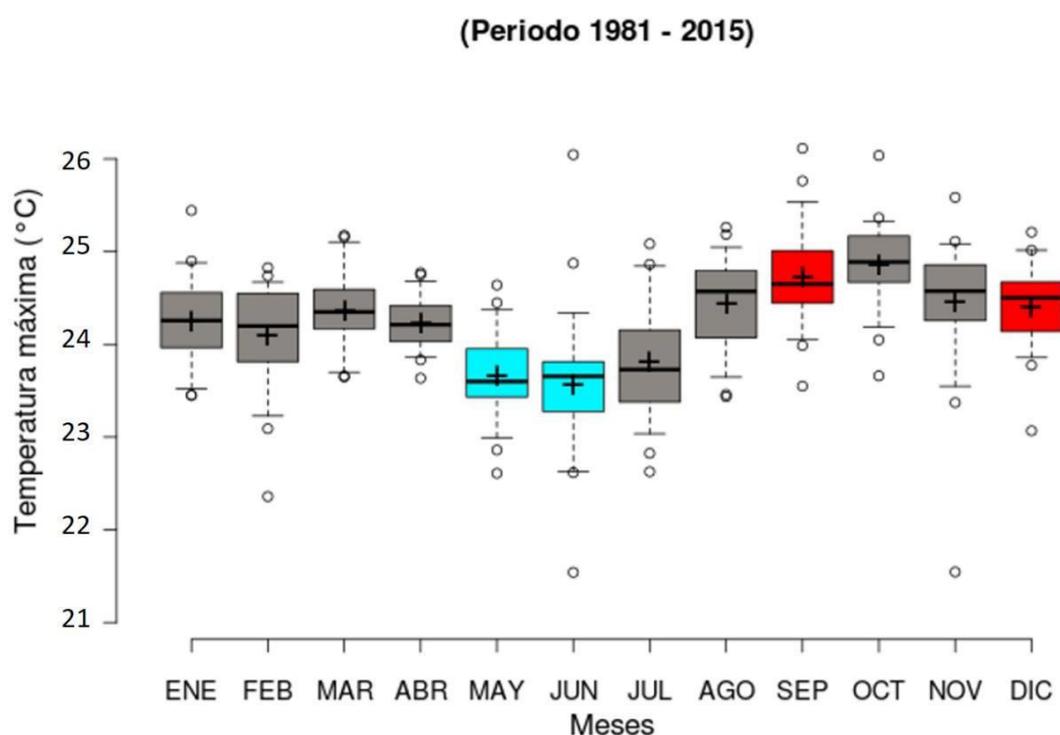
De acuerdo al registro histórico de la estación meteorológica de Pisac para el periodo 1958 – 2017 la temperatura máxima anual registró el valor mínimo de (6.44°C) en 1960 y el valor máximo en el año 2010, con 26.69°C.

Cuadro 21. Estadísticos de la temperatura máxima 1958 - 2017

Variable	Temperatura máxima °C (1958-2017)
Media	31.24
Desviación estándar	1.09
Mínimo	6.44
Máximo	26.69

Fuente. SENAMHI, 2020.

El comportamiento de la temperatura máxima a partir de datos– PISCO durante el periodo 1981 – 2015, presenta mayor temperatura en los meses de octubre y setiembre.

Figura 23. Temperatura máxima (1981 – 2015).

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. Leyenda: Rojo = aumento considerable. Celeste = baja no considerable. Plomo = no significativo. Los recuadros denotan los percentiles 25 y 75, los puntos representan valores inconsistentes y los guiones centrales las medianas.

c. Temperatura mínima promedio

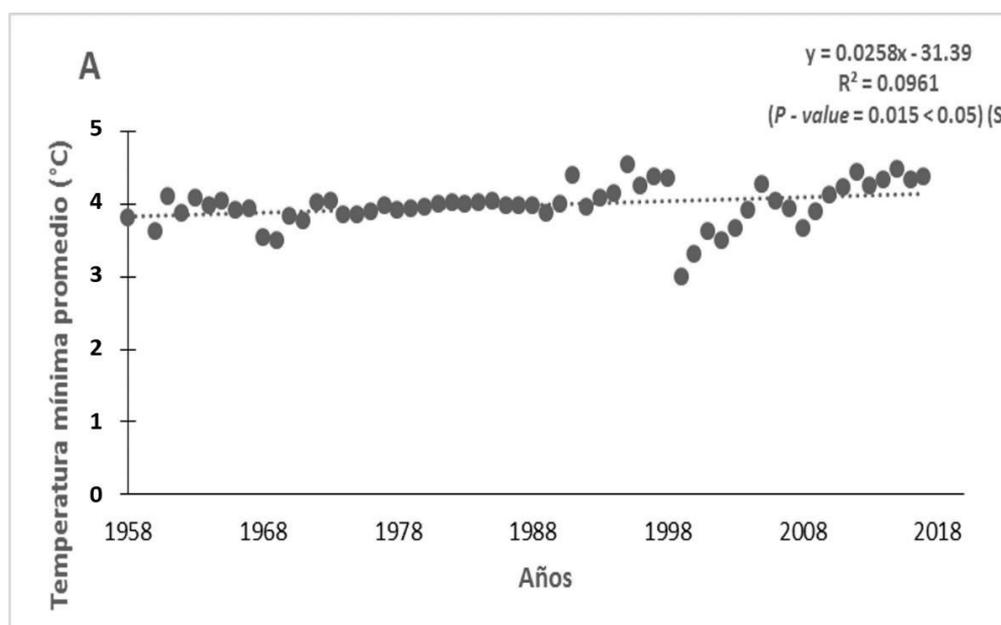
Por el periodo 1958 – 2017 la temperatura mínima promedio anual registró un incremento estadísticamente significativo (P -value < 0.05) de 1.92°C . Asimismo encontró un incremento estadísticamente significativo en la temperatura en los meses de junio y julio ($+3.97^{\circ}\text{C}$) (P -value < 0.05). Sin embargo, en los otros meses del año no se encontró incremento significativo (P -value > 0.05). Por otra parte, la temperatura mínima promedio con menor incremento fue marzo (-0.06°C) (Cuadro 18 y Figura 23).

Cuadro 22. Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio

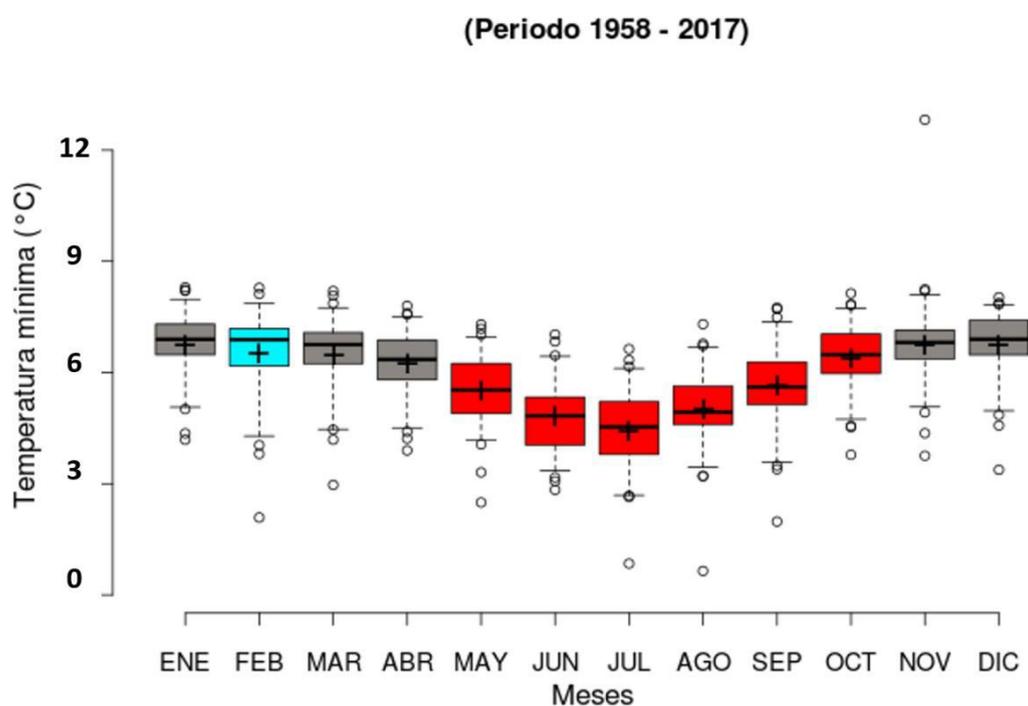
(A)	Temperatura mínima promedio 1958-2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0.001	-0.001	0.008	0.019	0.027	0.049	0.055	0.047	0.048	0.023	0.017	0.008	0.026
ΔT_m ($^{\circ}\text{C}$)	0.046	-0.056	0.484	1.140	1.569	2.877	3.228	2.745	2.836	1.369	0.974	0.472	1.523
r²	0.000	0.000	0.007	0.047	0.077	0.256	0.234	0.202	0.227	0.068	0.019	0.008	0.096
p-value	0.949	0.953	0.567	0.121	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.058	0.337	0.536	0.015

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Figura 24. Tendencia lineal de la temperatura mínima promedio (1958 – 2017).



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Figura 25. Temperatura mínima promedio (1958 – 2017).

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. Leyenda: Rojo = aumento considerable. Celeste = baja no considerable. Plomo = no significativo. Los recuadros denotan los percentiles 25 y 75, y, los guiones centrales las medianas.

En Pisac, según el registro histórico de la estación meteorológica para el periodo 1958 – 2017 la temperatura mínima anual obtuvo el valor mínimo de (4.05°C) en 1999 y el registro máximo en el año 1995, con 6.7°C.

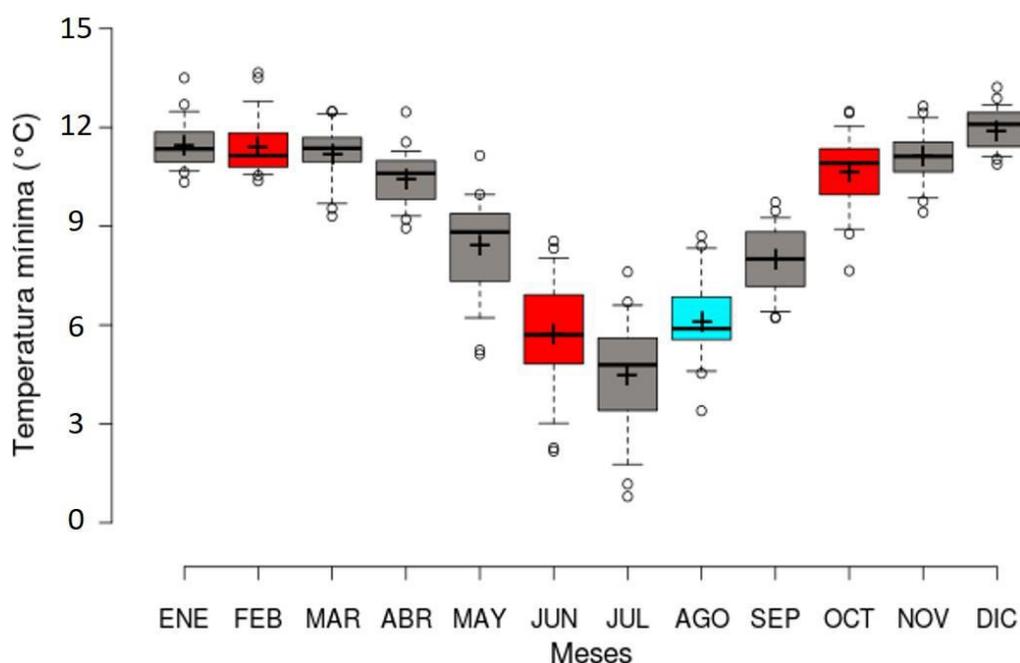
Cuadro 23. Estadísticos de la temperatura mínima 1958-2017

Variable	Temperatura mínima °C (1958-2017)
Media	11.92
Desviación estándar	1.43
Mínimo	4.05
Máximo	6.7

Fuente. SENAMHI, 2020.

Respecto al comportamiento de la temperatura mínima para el periodo 1981 – 2015 con los datos de PISCO, se obtuvo la temperatura más baja en el mes de julio.

Figura 26. *Temperatura mínima (1981 – 2015).*
(Periodo 1981 - 2015)



Fuente. Elaboración propia.

Nota. Rojo = aumento considerable. Celeste = baja no considerable. Plomo = no significativo. Los recuadros denotan los percentiles 25 y 75. Los puntos representan valores inconsistentes y los guiones centrales las medianas.

d. Precipitación

La información meteorológica para el análisis de la precipitación anual es perteneciente a la Red de Observaciones del SENAMHI (estación Pisac), cuyo rango de análisis es el periodo 1961 – 2017.

En el periodo comprendido entre los años 1961 – 2017, no se encontró un incremento estadísticamente significativo en la precipitación anual, lo que también sucedió para los meses del año (P -value > 0.05). La precipitación anual registró un incremento no significativo (169.09 mm). Sin embargo, la precipitación mensual presentó una disminución no significativa durante los meses de marzo (- 33.18 mm), julio (-20.16 mm), y agosto (-6.55 mm). Por otro lado, se observó un incremento no significativo de la precipitación durante los meses de enero (45.19 mm) y febrero (66.06 mm). Sin embargo, además el mes de menor incremento en precipitación fue junio (3.22 mm/año), aunque éstas no fueron estadísticamente significativas (Cuadro 21 y Figura 26).

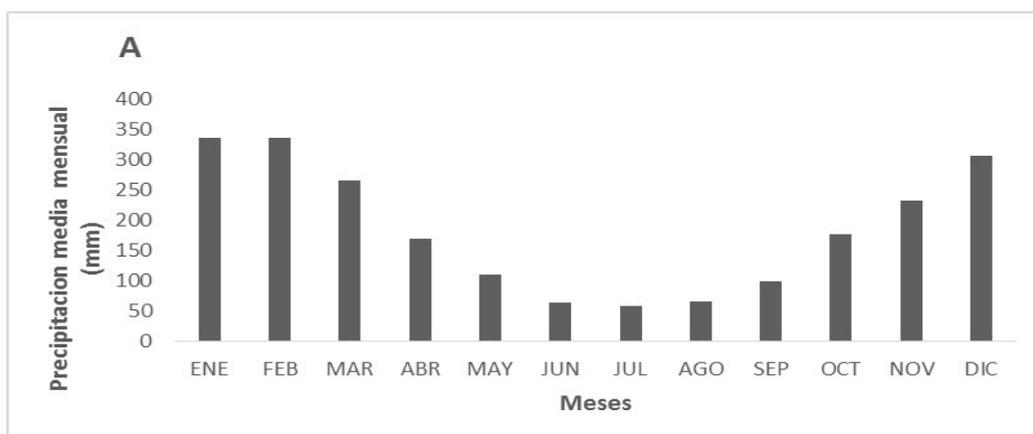
Espinoza et al. (2010) señala que las precipitaciones disminuyen con mayor fuerza en las estaciones secas como con (JJA y SON) y sin embargo en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo no es tanto.

Cuadro 24. *Tendencia lineal de la precipitación*

(A)	Precipitación (mm) 1961 – 2017												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Pendiente	0.871	1.193	-0.630	0.799	0.464	0.060	-0.381	-0.108	-0.449	0.158	0.383	0.664	3.075
ΔPp (mm)	45.19	66.06	-33.18	44.728	25.968	3.22	-20.160	-6.55	-25.117	8.824	21.431	37.188	169.09
r²	0.010	0.022	0.010	0.022	0.011	0.000	0.013	0.001	0.013	0.001	0.006	0.010	0.014
P-value	0.488	0.298	0.496	0.310	0.480	0.884	0.438	0.831	0.414	0.824	0.589	0.495	0.417

Fuente. Elaboración propia, 2020.

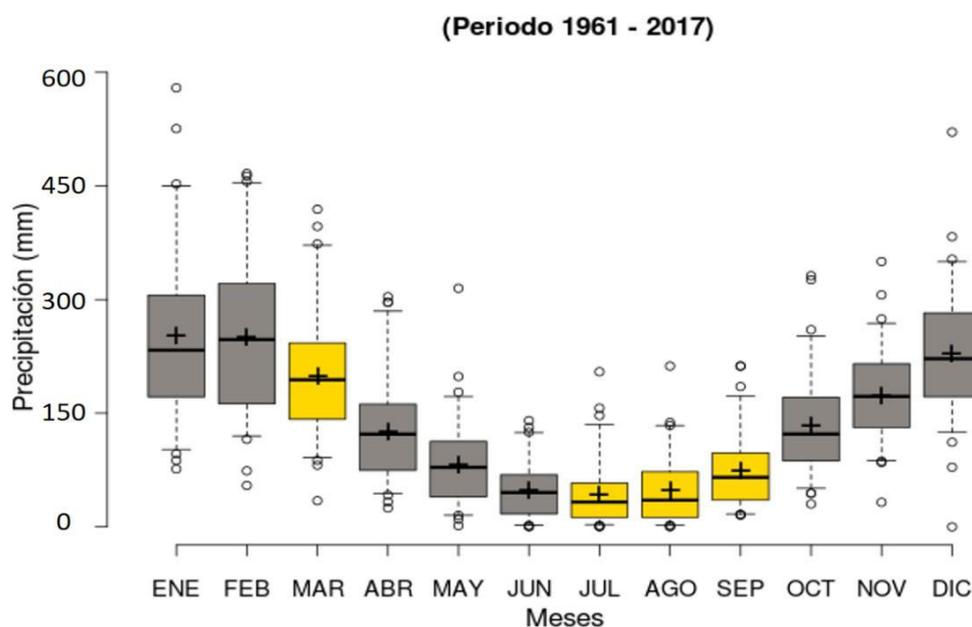
Figura 27. Precipitación promedio mensual (1961 – 2017).



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Las precipitaciones mensuales se agrupan en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre que son de mayor persistencia pluvial. De igual forma, los meses de junio, julio y agosto son meses que presentan precipitación pluvial más bajos, también conocida como época de estiaje.

Figura 28. Precipitación promedio (1961 – 2017).



Fuente. Elaboración propia, 2020.

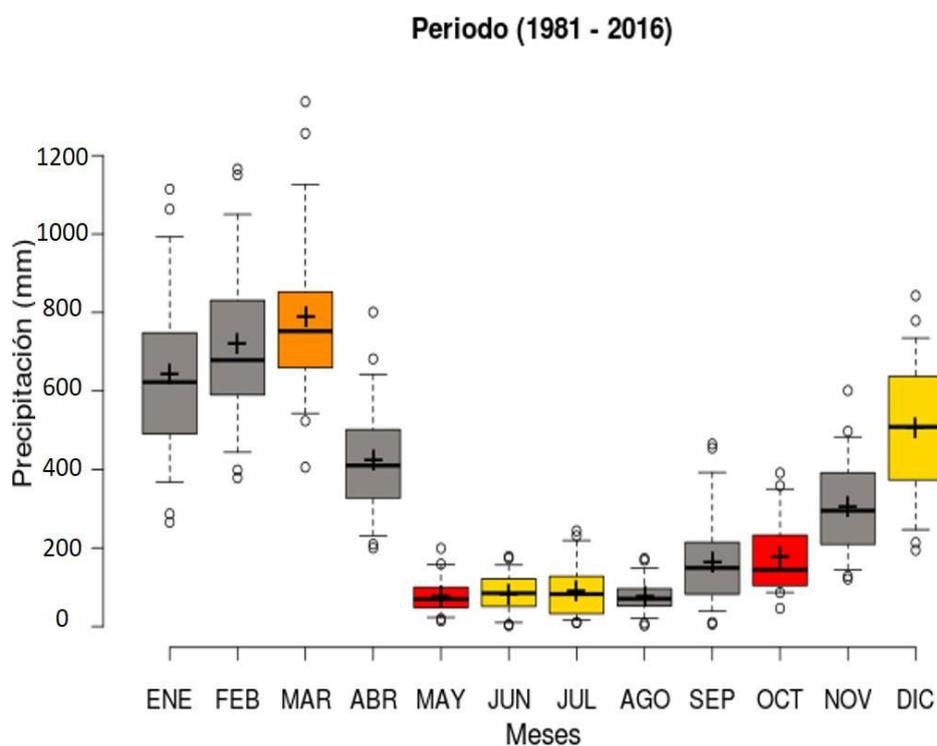
Nota. Plomo = no significativa. Crema = disminución no significativa. Los recuadros denotan los percentiles 25 y 75. Los puntos representan valores inconsistentes y los guiones centrales las medianas.

Cuadro 25. Estadísticos de precipitación 1961 - 2017

Variable	Precipitación mm (1961-2017)
Media	2193.94
Desviación estándar	455.74
Mínimo	50
Máximo	280

Fuente. SENAMHI, 2020.

Respecto a la ciudad de Calca, conforme al registro histórico de datos modelados de PISCO la precipitación anual registro el valor mínimo de (50 mm) en 2015 y el valor máximo en el año 1982, con 800 mm.

Figura 29. Precipitación promedio (1981 – 2016).

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. Rojo = aumento considerable. Naranja = disminución significativa. Plomo = no significativo. Crema = disminución no significativa. Los recuadros denotan los percentiles 25 y 75. Los puntos representan valores inconsistentes y los guiones centrales las medianas.

4.1.2 Análisis de la tendencia lineal mediante datos climatológicos modelados - PISCO

Cuadro 26. Caudales máximos para diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno (años)	Caudal máximo m ³ /s (Río Qochoq – Calca)	Velocidad (m/s)
50	19.76	1.2
100	28.61	1.5
200	43.17	1.8
500	56.68	2.1

Fuente. Actualización del Estudio Hidrológico del Qochoq – C. Loaiza, 2018

Nota. Esta tabla presenta los caudales extremos para un periodo de retorno de 50, 100, 200 y 500 años.

Cuadro 27. Análisis del tirante crítico para T = 100 años

Ancho de cauce (m)	Altura ribera (m)	Sección efectiva (m ²)	Velocidad agua (m/s)	Capacidad conducción m ³ /s	Caudal Max m ³ /s	Tirante (m)	Altura Desborde (m)	Desborda?
7	2	14	1.5	21	28.61	2.72	0.72	Si
8	2	16	1.5	24	28.61	2.38	0.38	Si
9	2	18	1.5	27	28.61	2.12	0.12	Si
10	2	20	1.5	30	28.61	1.91	-0.09	No

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Conclusión:

Para T= 100 años, el cauce mínimo debe ser 10 m de ancho y 2 m. de profundidad.

Cuadro 28. Análisis del tirante crítico para T = 200 años

Ancho de cauce (m)	Altura ribera (m)	Sección efectiva (m ²)	Velocidad agua (m/s)	Caudal m ³ /s	Caudal Max m ³ /s	Tirante	Altura Desborde (m)	Desborda?
7	2	14	1.8	25.2	43.17	3.43	1.43	#N/A
8	2	16	1.8	28.8	43.17	3.00	1.00	Si
9	2	18	1.8	32.4	43.17	2.66	0.66	Si
10	2.5	25	1.8	45	43.17	2.40	-0.10	No
11	2.5	27.5	1.8	49.5	43.17	2.18	-0.32	No
12	2.5	30	1.8	54	43.17	2.00	-0.50	No

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Conclusión:

Para T = 200 años, el cauce mínimo debe ser 10 m. de ancho y 2.5 m. de profundidad.

Cuadro 29. *Cálculo de llegada de un aluvión a Calca*

Lugar del desembalse	Velocidad m/s	Distancia entre puntos (km)	Velocidad km/min	Tiempo en llegar (min)
Accha Baja	5	4.5	0.3	15
Pampacocha	10	15	0.6	25
Planta grande	5	2	0.3	6.7
Machacancha	5	8	0.3	26.7
Llancho	5	7	0.3	23.3

Fuente. Elaboración propia, 2020.

Cuadro 30. *Caudales aforados promedio cuenca del río Qochoq*

LUGAR	RÍO	TIRANTE (m)	AREA m ²	VELOCIDAD m/s	CAUDAL m ³ /s
1) Puente Tatora	Qochoq	0.7	2.8	1.8045	5.0526
2) Puente Ccochaccoyllor	Huaccanhuaycco	0.6	2.4	1.0714	2.5714
3) Accopampa	Chayñahuaycco	0.5	2.5	0.9924	2.4812
4) Chainapata	Huamanchoque	0.6	1.8	0.5115	0.9206
5) Bocatoma Piste	Qochoq	0.6	6	1.0707	6.4244
6) Río Vilcanota	Qochoq	0.6	5.22	1.1409	5.9557

Fuente. Elaboración propia, 2020.

4.2. Cálculo del costo evitado

Existe una complementariedad directa entre los beneficios y los costos, así tenemos que un beneficio no aprovechado se constituye en un costo, y un costo evitado se traduce en un beneficio. Así por ejemplo, en las medidas de adaptación que implementamos sobre un área geográfica en particular, estos finalmente, se convierten en beneficios de la inversión.

$$C_{evitados} = VAN + II - \sum_t \frac{(B_t + C_t)}{(1+i)^t} [\Delta II + \sum_t \frac{\Delta(C)}{(1+i)^t}] - [BGP - BGT]$$

Donde:

C_{Evitados} = Costos evitados en reconstrucción / rehabilitación.

BGP = Beneficios generados.

BGT = Beneficios generados a terceros.

Seguidamente, aplicando el índice de Costos Evitados

$$I_{\text{CE}} = \frac{\sum \text{Costo específico de componente de una vivienda}}{\text{Costos específicos totales}}$$

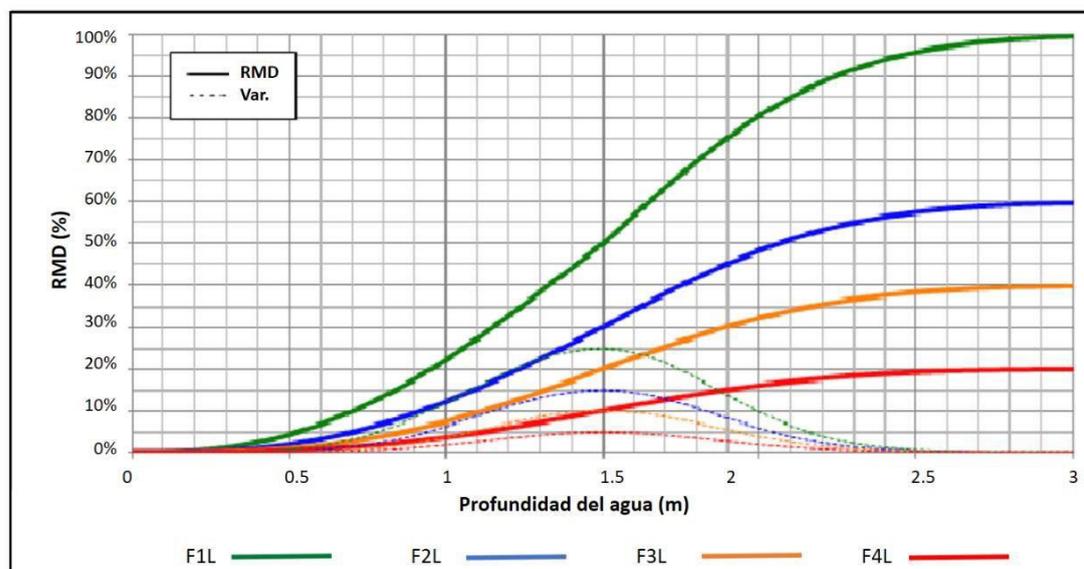
$I_{\text{CE}} = 0.68$

Con base en el resultado obtenido se podrá clasificar el índice del costo evitado.

Cuadro 31. Rangos del índice de Costo Evitado

Valor del Índice	Nivel de Significancia
$I_{\text{CE}} \leq 0.3$	Significancia Baja
$I_{\text{CE}} \leq 0.6$	Significancia Media
$0.6 \leq I_{\text{CE}} \leq 1.0$	Significancia Alta

Fuente: Adaptado de metodología MEF Costo efectividad, 2018.

Figura 30. Funciones de vulnerabilidad para inundación.

Fuente. HAZUS MH 2.1 Flood Model (2011)

El valor de los daños o costos evitados a las viviendas y su equipamiento para cada periodo de retorno (sin y con modelo de vulnerabilidad al cambio climático), considerando el tipo de material de construcción y nivel de inundación se presenta en los cuadros siguientes al igual que las pérdidas estimadas ante inundaciones por costos de viviendas.

Para la evaluación del conjunto de variables e indicadores, obtenidos partiendo de la utilización del método de comparación de pares, se determinó el índice de consistencia con fines de validación (Saaty, 2008).

Cuadro 32. Matriz de normalización - Fragilidad física

Fragilidad social	Material predominante en techos	Material predominante de pared	Material predominante de piso	Tipo de vivienda	Vector Priorización
Material predominante en techos	0.579	0.682	0.387	0.438	0.521
Material predominante de pared	0.193	0.227	0.484	0.313	0.304
Material predominante de piso	0.145	0.045	0.097	0.188	0.119

Tipo de vivienda	0.083	0.045	0.032	0.063	0.056
------------------	-------	-------	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Cuadro 33. Matriz de normalización - Fragilidad económica

Fragilidad Económica	Población por grupos de edad	Población con alguna discapacidad	Categoría de ocupación	Nivel educativo alcanzado	Vector Priorización
Población por grupos de edad	0.579	0.662	0.480	0.438	0.540
Población con alguna discapacidad	0.193	0.221	0.360	0.313	0.272
Categoría de ocupación	0.145	0.074	0.120	0.188	0.131
Nivel educativo alcanzado	0.083	0.044	0.040	0.063	0.057

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Cuadro 34. Matriz de normalización – Resiliencia social

Resiliencia social	Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres	Interés en participar en campañas de prevención del riesgo	Ha recibido capacitación en temas de riesgo de desastres	Vector de priorización
Conocimiento sobre ocurrencia pasada de desastres	0.677	0.692	7.00	0.669
Interés en participar en campañas de prevención del riesgo	0.226	1.00	3.00	0.243
Ha recibido capacitación en temas de riesgo de desastres	0.097	0.33	1.00	0.088

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En base a los valores de fragilidad y resiliencia obtenidos partiendo de las matrices de Saaty se calcularon los niveles de vulnerabilidad respectivo.

Cuadro 35. Niveles de vulnerabilidad ante inundaciones

Nivel de vulnerabilidad	Descripción del nivel	Clase
Muy Alta	Viviendas en estado crítico, un muy alto desconocimiento sobre el riesgo existente.	0,547 – 0,277
Alta	Viviendas en estado de reforzamiento inmediato, una baja resiliencia en la población.	0,277 – 0,124
Media	Viviendas a rehabilitar, un nivel de conocimiento básico sobre el riesgo existente.	0,124 – 0,052

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Cuadro 36. Pérdidas estimadas ante inundaciones por costos de viviendas

TIPOLOGÍA	VALORES UNITARIOS POR PARTIDAS POR METRO CUADRADO DE ÁREA							SUB TOTAL
	TECHADA							
	ESTRUCTURAS	ACABADOS			INSTALACIONES			
	Muros y columnas	Techos	Pisos	Puertas y ventanas	Revestimientos	Baños	Eléctricas y sanitarias	En Soles
Adobe	104.83	10.26	16.51	19.68	42.07	8.37	12.3	214.02
Albañilería	152.62	112.6	26.39	35.77	42.07	11.23	22.37	403.03
Concreto armado	214.61	112.6	43.01	55.69	113.06	35.8	40.67	615.42

Fuente: Resolución Ministerial N°270- 2020-VIVIENDA (Diario El Peruano, 2021)

Nota. Esta tabla muestra las pérdidas estimadas por área techada en material de adobe, albañilería y concreto armado.

Cuadro 37. Depreciación por tipología de material en la vivienda

TIPOLOGÍA	DEPRECIACIÓN	TOTAL por m ²	
		Soles	Dólares
Adobe	50.00%	S/. 107.00	\$ 39.63
Albañilería	27.00%	S/. 294.20	\$ 108.96
Concreto armado	9.00%	S/. 560.00	\$ 207.41

Fuente: Dirección Regional de Vivienda, 2020.

Tomando como línea de base la simulación hidráulica del río para los diferentes periodos de retorno se ha estimado el número de viviendas afectadas por niveles de inundación (equivalentes en metro cuadrado¹²), material de construcción, sin y con medidas de prevención a partir del

¹² El área total de las viviendas varía entre 100 a 120 metros cuadrados

modelo de vulnerabilidad al cambio climático, tal como se observa en los cuadros siguientes.

Cuadro 38. Matriz de daños en viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático

Material	Unidad	T=2 años			T=5 años			T=10 años		
		< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.	< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.	< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.
Concreto	m ²	230.70	119.69	0.00	1,610.97	377.86	106.81	2,777.39	4,251.31	1,462.69
Albañilería	m ²	769.00	398.95	0.00	5,369.88	1,259.54	356.05	9,257.97	14,171.03	4,875.64
Adobe	m ²	538.30	279.27	0.00	3,758.92	881.68	249.23	6,480.58	9,919.72	3,412.95

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Cuadro 39. Matriz de daños en viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático

Material	Unidad	T=25 años			T=50 años		
		< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.	< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.
Concreto	m ²	3,727.42	4,990.32	1,987.71	3,445.78	5,540.62	2,206.28
Albañilería	m ²	12,424.74	16,634.40	6,625.68	11,485.94	18,468.74	7,354.25
Adobe	m ²	8,697.32	11,644.08	4,637.98	8,040.16	12,928.12	5,147.98

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Cuadro 40. Matriz de daños en viviendas – Con modelo de vulnerabilidad al cambio climático

Material	Unidad	T=10 años			T=25 años			T=50 años		
		< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.	< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.	< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.
Concreto	m ²	225.54	0.00	0.00	77.00	0.00	148.57	77.00	46.67	148.57
Albañilería	m ²	751.80	0.00	0.00	256.66	0.00	495.22	256.66	155.56	495.22
Adobe	m ²	526.26	0.00	0.00	179.66	0.00	346.66	179.66	108.89	346.66

1/ No se presenta daños para los periodos de retorno de 2 y 5 años. Fuente: Elaboración propia, 2020.

Nota. Esta tabla muestra los daños en viviendas ante efectos del cambio climático para 3 tipologías de viviendas (concreto, albañilería y adobe).

Los costos unitarios de las viviendas se han obtenido de los valores unitarios de edificaciones para la zona de estudio, de acuerdo al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

El costo unitario del daño a viviendas, los cuales fueron calculados en función del costo unitario por tipo de construcción multiplicado por el factor de afectación se presenta en el cuadro siguiente.

Cuadro 41. Costo Unitario de Construcción y de Daño

Categoría	Material	Costo Unitario Construcción (S./m ²)	Factor Afectación			Costo Unitario del Daño (S./m ²)		
			< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.	< 0.50 m.	0.50 - 2.00 m.	> 2.00 m.
I	Concreto	554	0.33	0.56	0.86	182	309	476
II	Albañilería	317	0.44	0.70	1.02	139	223	323
III	Adobe	254	0.61	0.85	1.10	155	215	280

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El valor de los daños o costos evitados a las viviendas y su equipamiento para cada periodo de retorno (sin y con modelo de vulnerabilidad al cambio climático), considerando el tipo de material de construcción y nivel de inundación se presenta en los cuadros siguientes.

Cuadro 42. Valor de los daños en Viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático

(Expresados en Nuevos Soles a precios privados de enero 2018)

Material	Descripción	T=2 años			T=5 años			T=10 años			Total	
		< 0.50 m.	0.50-2.00 m	Total	< 0.50 m.	0.50-2.00 m	> 2.00 m.	Total	< 0.50 m.	0.50-2.00 m		> 2.00 m.
Concreto	Metrado (m ²)	230.70	119.69	79	1,610.97	377.86	106.81	461	2,777.39	4,251.31	1,462.69	2,515
	Costo (Miles S/.)	42	37		294	117	51		506	1,313	696	
Albañilería	Metrado (m ²)	769.00	398.95	196	5,369.88	1,259.54	356.05	1,144	9,257.97	14,171.03	4,875.64	6,025
	Costo (Miles S/.)	107	89		748	281	115		1,290	3,161	1,574	
Adobe	Metrado (m ²)	538.30	279.27	143	3,758.92	881.68	249.23	841	6,480.58	9,919.72	3,412.95	4,089
	Costo (Miles S/.)	83	60		582	189	70		1,003	2,132	954	
Total		232	186	418	1,623	587	235	2,362	2,799	6,607	3,224	12,629

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Nota. Los valores del cuadro están expresados en Nuevos Soles a precios privados de enero 2018.

Cuadro 43. Valor de los daños en viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático

(Expresados en Nuevos Soles a precios privados de enero 2018)

Material	Descripción	T=25 años				T=50 años			
		< 0.50	0.50 - 2.00	> 2.00	Total	< 0.50	0.50 - 2.00	> 2.00	Total
Concreto	Metrado (m ²)	3,727	4,990	1,988	3,167	3,446	5,541	2,206	3,389
	Costo (Miles S/.)	680	1,542	945		628	1,712	1,049	
Albañilería	Metrado (m ²)	12,425	16,634	6,626	7,580	11,486	18,469	7,354	8,094
	Costo (Miles S/.)	1,731	3,711	2,139		1,600	4,120	2,374	
Adobe	Metrado (m ²)	8,697	11,644	4,638	5,145	8,040	12,928	5,148	5,462
	Costo (Miles S/.)	1,346	2,503	1,297		1,244	2,779	1,439	
Total		3,756	7,755	4,381	15,892	3,472	8,610	4,862	16,945

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Nota. Los valores del cuadro están expresados en Nuevos Soles a precios privados de enero 2018.

Cuadro 44. Valor de los daños en viviendas – Sin modelo de vulnerabilidad al cambio climático - Resumen

(Expresados en Nuevos Soles a precios privados de enero 2018)

Material	Descripción	T=10 años			Total
		< 0.50	0.50 - 2.00	> 2.00	
Concreto	Metrado (m ²)	226	0	0	41
	Costo (Miles S/.)	41	0	0	
Albañilería	Metrado (m ²)	752	0	0	105
	Costo (Miles S/.)	105	0	0	
Adobe	Metrado (m ²)	526	0	0	81
	Costo (Miles S/.)	81	0	0	
Total		227	0	0	227

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Nota. Los valores del cuadro están expresados en Nuevos Soles a precios privados de enero 2018.

Cuadro 45. Valor de los daños en viviendas – Con modelo de vulnerabilidad al cambio climático

(Expresados en Nuevos Soles a precios privados de enero 2018)

Material	Descripción	T=25 años				T=50 años			
		< 0.50	0.50 - 2.00	> 2.00	Total	< 0.50	0.50 - 2.00	> 2.00	Total
Concreto	Metrado (m ²)	77	0	149	85	77	47	149	99
	Costo (Miles S/.)	14	0	71		14	14	71	
Albañilería	Metrado (m ²)	257	0	495	196	257	156	495	230

	Costo (Miles S/.)	36	0	160		36	35	160	
Adobe	Metrado (m ²)	180	0	347	125	180	109	347	148
	Costo (Miles S/.)	28	0	97		28	23	97	
	Total	78	0	327		78	73	327	478

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Nota. Los valores del cuadro están expresados en Nuevos Soles a precios privados de enero 2018.

Asimismo, se presentan los mapas obtenidos de la corrida del modelo a periodos de retorno de 5-20, 50-100 años y 20-50, 100-500 años.

La matriz de correlación muestra por pares de variables el coeficiente de Pearson y el nivel de significancia obtenido (significancia de $0.000 < 0.05$), por lo que se rechaza la hipótesis nula, entonces: existe una relación significativa entre vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones y la variable costo evitado. Se obtuvo una asociación lineal estadísticamente muy fuerte ($r = 0.825$, $p < 0,05$).

Cuadro 46. Matriz de correlación entre vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones y los costos evitados

		Vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones	Costos evitados
Vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones	Correlación de Pearson	1	,825
	Sig. (bilateral)		,000
	N	25	25
Costos evitados	Correlación de Pearson	,825	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	25	25

Nota. Esta tabla muestra la alta correlación obtenida entre la vulnerabilidad por peligro de inundaciones y los costos estimados.

Realizado la aplicación del modelo de vulnerabilidad se determinaron escenarios de inundación, determinándose las zonas críticas (zonas de alto y muy alto riesgo), para finalmente llegar a determinar los costos evitados.

Una vez aplicado los criterios para la evaluación de riesgo (dimensión física y social) se determinó los costos evitados, para lo cual se actualizó previamente las viviendas al día del desastre (V_d), obteniéndose valores similares, aplicando las siguientes fórmulas siguiendo los procedimientos de la Dirección General de Programación Multianual del Sector Público:

i) Costos evitados de construcción de vivienda = Costos comunes correspondientes + Costos específicos de componente de vivienda

Costos evitados de construcción de vivienda. = $(278.78+214.02) + (523.939+403.03) + (800.046+615.42)$

Costos evitados de construcción de vivienda. = S/. 2,835.235

ii) Costos evitados de construcción de vivienda = Unidades afectadas + Costo unitario de reconstrucción

Costos evitados de construcción de vivienda = 78 + 2,835.35

Costos evitados de construcción de vivienda = S/. 2,913.35

4.3. Presentación de resultados

Figura 31. Mapa de Peligros a Periodos de Retorno de 5-20 y 50-100 años



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. En el gráfico se zonifica el peligro por inundación a diferente periodo de retorno.

Figura 32. Mapa de Peligros a Periodos de Retorno de 20-50 y 100-500 años.



Fuente. Elaboración propia, 2020.

Nota. En el gráfico se zonifica el peligro por inundación entre 20 y 500 años como periodo de retorno.

CAPÍTULO V: IMPACTOS

5.1. Propuesta para la solución del problema.

5.1.1. Medidas Estructurales

Las principales medidas estructurales ante la ocurrencia de inundaciones se mencionan a continuación.

Cuadro 47. Principales medidas estructurales identificadas

TIPO DE ESTRUCTURA	FUNCIÓN	MEDIDA ESTRUCTURAL
PROTECCIÓN	Forma una barrera física que impide y/o regula el paso del agua.	DRENAJE PLUVIAL
		GAVIONES
		ENSANCHAMIENTO DE CAUCE
INFRAESTRUCTURA NATURAL	Evitan la generación de los caudales máximos y regulan la generación de flujos de agua que puedan provocar inundaciones.	DESCOLMATACION DE CAUCE
		REFORESTACIÓN CON ESPECIES NATIVAS
		REVEGETACIÓN CON ESPECIES NATIVAS

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Drenaje pluvial:

Se contempla como la medida más relevante. Consiste en implementar un sistema de alcantarillado para el drenaje pluvial producto de precipitaciones de intensidad, que considere factores topográficos, hidrológicos, hidráulicos, el impacto ambiental, los suelos, las compatibilidades de uso y los recursos económicos indispensables a destinar para operaciones y mantenimiento.

a) Obras de protección

Este tipo de obras se centran en la intervención del área de impacto con el objetivo de la reducción del nivel de inundación; Asimismo, este tipo de obras son implementadas para la rectificación de los cauces.

Fotografía 3. *Obra de protección ante inundaciones*



b) Infraestructura natural

Este tipo de infraestructura se centra en el área de formación de caudales con el objetivo de evitar la generación de las avenidas máximas, este tipo de infraestructura también cumple la función de regulación de caudales y disminución de la duración de una inundación.

5.1.2. Medidas no estructurales

Para el control del riesgo por el acaecimiento de inundaciones pluviales se orientan a la utilización del conocimiento, toda práctica o acuerdo existente para reducir el riesgo y su impacto, principalmente, mediante políticas públicas legislación y programas educativos.

Entre las principales medidas no estructurales para el control del riesgo por inundaciones pluviales se mencionan a las siguientes:

- Elaborar evaluaciones de riesgos por inundaciones pluviales.
- Elaborar escenarios de riesgos por inundaciones pluviales.
- Realizar un constante monitoreo y seguimiento preventivo de la dinámica por inundaciones pluviales.
- En caso se hubiera identificado otro peligro, promover el desarrollo de estudios de riesgos, si es que fuera necesario.
- Robustecer las capacidades de los habitantes con respecto a las inundaciones, desde sistemas de alerta temprana hasta la determinación de rutas de evacuación y establecimiento de zonas seguras.
- Impedir asentamientos, posesión informal o viviendas sin habilitación urbana en los márgenes del río Qosqoq.

Se requiere una apropiada gestión del riesgo de desastres desde el nivel local, dado que los procesos de adaptación y mitigación no son independientes. Implementar progresivamente, de manera eficiente estos procesos implican transformaciones sustanciales que propendan hacia el desarrollo sostenible del distrito.

5.2. Costos de implementación de la propuesta.

El gobierno local de Calca debe transversalizar la Gestión del Riesgo de Desastres, propendiendo a una sociedad más proactiva y prevenida ante los peligros, y más resiliente ante la inevitable ocurrencia de desastres, para lo cual es necesario no solo pensar en medidas estructurales de mitigación del riesgo, sino y por, sobre todo, mantener una actitud proactiva respecto a la gestión municipal; ellos terminan siendo más importante incluso que las obras. El impacto de los desastres es inversamente proporcional a las políticas preventivas y de gerenciamiento del riesgo que se hayan planificado y aplicado con anterioridad.

Se destaca la posibilidad de elaborar proyectos de cooperación para la gestión de los riesgos, informes de evaluación del riesgo que permitan acceder a recursos del “Fondo Para Intervenciones ante la Ocurrencia de Desastres Naturales” (FONDES), o acciones para acceder al Programa Presupuestal 068 Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres.

En un primer momento se estima un promedio de inversión de 90 mil Soles como sustento técnico para implementación de proyectos de inversión (entre Informe de Evaluación de Riesgos, Plan de Prevención y Acciones del PP 068).

5.3. Beneficios

Los beneficios de la propuesta del modelo de vulnerabilidad al cambio climático podemos resumirlos en:

- Cálculo en pérdidas de aproximadamente 25 viviendas (un aproximado de S/. 478,000).

CONCLUSIONES

- El modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones si incide en el cálculo del costo evitado de destrucción de viviendas en el Sector El Piste, Calca, Cusco, con un índice de influencia del 0,825.
- Se ha calibrado y validado la metodología para el análisis de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en el Sector El Piste, Calca, Cusco.
- Se ha validado tres parámetros fundamentales para el modelo de vulnerabilidad al cambio climático en el Sector El Piste.
- Se ha validado una metodología que permite el cálculo del costo evitado en afectación de viviendas ante riesgo de inundaciones.
- La correcta selección y ponderación de los descriptores en la matriz de Saaty facilitó el cálculo del costo evitado en la investigación; sin embargo, deben ser utilizados conforme a cada problemática sobre el territorio en el cual se aplique.
- La inadecuada expansión urbana contribuye al riesgo de desastres ante inundaciones aunado a la ausencia del plan urbano, causando un incremento de la vulnerabilidad.
- La determinación del riesgo de inundación a diversos periodos de retorno, y, el costo evitado en colapso de viviendas viabiliza la toma de decisiones para la implementación de medidas de reducción del riesgo ante inundaciones.

RECOMENDACIONES

- Hacer incidencia desde el gobierno local hacia la población, colegios profesionales y universidades sobre la prioridad de trabajar en temáticas referidas a prevención y reducción del riesgo ante inundaciones.
- Considerar básicamente la dimensión ambiental en el análisis de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones.
- Priorizar la selección de parámetros disponibles en función a la disponibilidad de información para el modelo de vulnerabilidad al cambio climático.
- Adaptar y difundir la metodología del cálculo del costo evitado en afectación de viviendas ante riesgo de inundaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, D. (2015). Analisis Multivariado para la generacion de Escenarios Climaticos 2040 - 2050 en el Perú. Tesis de Postgrado. Univeridad Nacional Agraria La Molina.
- Agurto Calvo, S. (1987). Estudios acerca de la construcción, arquitectura y planeamiento incas. Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). https://issuu.com/hugobennyelgueramansilla3/docs/agurto_calvo_s._1987._estudios_ace
- Alves, L., Santos, C., Querino, S., & Gama, M. (2016). Tendencia de precipitacion zonal y anual de eventosexremos entre 1943 y 2015 en el Alto Rio Acre. Centro Regional de Porto Velho.
- ANA. (2019). Identificación de puntos críticos con riesgo a inundaciones en ríos y quebradas 2019. Autoridad Nacional del Agua. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4426>
- Arias, F. (2003). El Proyecto de Investigación. Editorial Epistema Orial.
- Arntz Wolf, E., & Ehrbach, E. (1996). El Niño: Experimento Climático de la Naturaleza. México: IEPSA.
- Bazo, J. (2014). Proyecciones climáticas sobre perú y su relación con el fenómeno enso [Tesis para optar el grado de Doctor de Ciencias del Clima, Universidad de Vigo]. https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/04/tesis_JuanBazo_oct2014.pdf
- Beck, U. (2006). La Sociedad del Riesgo Global España. Editorial Siglo XXI.

- Bernal, C. (2006). Metodología de la Investigación. 2da. Edición, editorial Pearson Prentices Hall. México.
- Birkmann, J. (2007). Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies. United Nations Univ. Press, Tokyo.
[https://www.cdema.org/virtuallibrary/images/Measuring Vulnerability_Birkmann_2006.pdf](https://www.cdema.org/virtuallibrary/images/Measuring_Vulnerability_Birkmann_2006.pdf)
- Bustamante De La Fuente, M. J. (2010). Cambio climático en el Perú. Biblioteca Nacional del Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/39223>
- Cardona, O., Bernal, G., Ordaz, M., Salgado, M., Singh, S., Mora, M., . . . Barbat, A. (2013). Modelación Probabilística de Riesgos Naturales en el Nivel Global: el Modelo Global de Riesgo. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Obtenido de [https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2013/en/bgdocs/CIMNE %20ET%20AL%20Global%20Risk%20Model%20GAR-2013_Tablas%20ESPr%20v2.pdf](https://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2013/en/bgdocs/CIMNE%20ET%20AL%20Global%20Risk%20Model%20GAR-2013_Tablas%20ESPr%20v2.pdf)
- Carrasco, J. (2012). Caracterización de la problemática ante peligros de origen natural a los que se encuentra expuesto la población del Sector El Piste (1ra Ed.).
- CENEPRED. (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción Del Riesgo de Desastres. [http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA PUBLICAR/CENEPRED/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA_PUBLICAR/CENEPRED/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf)

CENEPRED. (2020). Guía para la evaluación de los efectos probables frente al impacto del peligro originado por fenómenos naturales. https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Normatividad/Resoluciones/2020/jefaturales/RJ-080-2020-CENEPRED-J_GUIA.pdf

CENEPRED. (2022). Escenario de Riesgo por Lluvias 2022. Pronóstico de Precipitaciones en la Sierra. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción Del Riesgo de Desastres. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=aviso-meteorologico-vigente-prueba&a=2022&b=5721&c=00&d=SENA>

CEPAL, & IH Cantabria. (2011). Guía metodológica: Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Gobierno de España. [https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/coast-climate-adaptation-library/latin-america-and-caribbean/regional---latin-am-amp-caribbean/Cepal.-2011.Efectos-Del-CC-En-La-Costa-\[esp\].pdf](https://research.fit.edu/media/site-specific/researchfitedu/coast-climate-adaptation-library/latin-america-and-caribbean/regional---latin-am-amp-caribbean/Cepal.-2011.Efectos-Del-CC-En-La-Costa-[esp].pdf)

CEPAL, & IH Cantabria. (2012a). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Riesgos. In Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Informe sobre el impacto económico en América Latina y el Caribe de la enfermedad por coronavirus (COVID-19): estudio elaborado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Gobierno de. <https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/riesgos.pdf>

CEPAL, & IH Cantabria. (2012b). Efectos del cambio climático en la Costa de América Latina y el Caribe. Vulnerabilidad y Exposición. In Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. Gobierno de España. https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/vulnerabilidad_exposicion.pdf

- CEPAL. (2011). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Guía Metodológica. Universidad de Cantabria. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3953-efectos-cambio-climatico-la-costa-america-latina-caribe-guia-metodologica>
- CEPAL. (2012). Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: Riesgos. Universidad de Cantabria. Santiago de Chile: Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/riesgos.pdf>
- Cruz Cuentas, R. (2017). Gestión del riesgo por inundación en asentamientos populares, distrito de Mariano Melgar, Arequipa [Tesis para optar el grado de Magíster Programa de Maestría en Planeamiento y Gestión Urbana Ambiental, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN]. http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA_PUBLICAR/OTROS/Concurso de Tesis 2006-2007. Analisis del Riesgo en procesos de Desarrollo e Inversion.pdf
- Delia, C. C., & Riverón, A. (2012). La educación en ciencia tecnología y sociedad para la gestión social del riesgo de desastres : una contribución al desarrollo sostenible. *Revista Congreso Universidad*, 1(1), 1–10. bit.ly/3RfghAh
- DGPM-MEF. (2007). Conceptos asociados a la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático: aportes en apoyo de la inversión pública para el desarrollo sostenible. In *Conceptos asociados a la gestión del riesgo en un contexto de cambio climático: aportes en apoyo de la inversión pública para el desarrollo sostenible*. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/estudios_documentos/documentos/ConceptosDesastresCambio.pdf

Directiva Europea 2007/60/EC. (n.d.). De Evaluación y Gestión de Riesgos de Inundación.

https://www.miteco.gob.es/es/agua/legislacion/GRI_EGR_Inundacion.aspx

Dixon, J. A., Fallon Scura, L., Carpenten, R. A., & Sherman, P. B. (1999). Análisis económico de impactos ambientales. In Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=000028287>

Espinoza, J., Ronchail, J., Lavado, W., Carranza, J., Cochonneau, G., De Oliveira, E., Pombosa, R., Vauchel, P., & Guyot, J. (2010). Variabilidad espacio-temporal de las lluvias en la cuenca amazónica y su relación con la variabilidad hidrológica regional. Un enfoque particular sobre la región andina. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 130(2), 99–130.

Flores-López, F. (2012). Planeación de Recursos Hídricos mediante el uso del modelo WEAP.

García, M. (2018). Protocolo de monitoreo hidrológico en páramos. In Repositorio Institucional de Documentación Científica Humboldt. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/34981>

Giddens, A. (2011). *En el Límite. La vida en el capitalismo global.*

GTZ, (Cooperación Alemana al desarrollo). (2010). Proyecto COPASA-GTZ.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación.* Ed. México: Mc Graw-Hill, 4ta. edición.

- INDECI. (2011). Manual de estimación de riesgo ante inundaciones fluviales. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>
- INDECI. (2020). Compendio Estadístico del INDECI 2020. In Instituto Nacional de Defensa Civil. <https://portal.indeci.gob.pe/direccion-politicas-y-planos/compendios-estadisticos/compendios/2020-2/>
- INEI. (2017). XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1600/
- Insunza, A. (2010). Pachakuti. Memoria para optar al Título de Artista Pintor, 1-20. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/101502/ar-insunza_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2012). Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf
- IPCC. (2013). Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (T. F. Stocker, G.-K. D. Qin, M. Plattner, S. K. Tignor, J. Allen, A. Boschung, Y. Nauels, V. Xia, & P. M. M. Bex (Eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf

IPCC. (2016). Informe Especial del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático IPCC.

Jaagus, J. (2006). Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 88, 77–88. <https://doi.org/10.1007/s00704-005-0161-0>

Lavado, W., Labat, D., Ronchail, J., Espinoza, J., & Guyot, J. (2013). Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon–Andes basin over the last 40 years (1965–2007) Waldo. *Hydrological Processes*, 27(20), 2944–2957. <https://doi.org/10.1002/hyp.9418>

Lavado, Waldo, Fernandez, C., Aybar, C., Caycho, T., Endara, S., Vega, F., Huerta, A., Acuña, J., & Obando, O. (2014). PISCO: Peruvian Interpolated data of the SENAMHI s Climatological and hydrological Observations. Precipitation v1.1. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://docplayer.es/82339528-Pisco-peruvian-interpolated-data-of-the-senamhi-s-climatological-and-hydrological-observations-precipitation-v1-1.html>

Lavell, A. (2000). Desastres y Desarrollo: Hacia un Entendimiento de las Formas de Construcción Social de un Desastre: El Caso del Huracán Mitch en Centroamérica. *Desastre Al Desarrollo Sostenible: El Caso de Mitch En Centroamerica*, 1–28. bit.ly/3Hh1j8u

Lavell, A. (2015). *La Gestión del Riesgo: ADN del Desarrollo*. UICN.

- León, B., & Baquero, E. (2010). La Percepción de los científicos sobre el rigor de los documentales en Ciencia para la televisión. Editorial UOC. https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/27608/1/Percepción_científicos_documentales_101-120.pdf
- Ley N° 29664 de creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Pub. L. No. Ley N° 29664, Presidencia de Consejo de Ministros - Perú 1 (2011).
- Marengo, J., Jones, R., Alves, L., & Valverde, M. (2009). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. *International Journal of Climatology*, 1–15. <https://doi.org/10.1002/joc>
- McKinney, D. C., Rivas, D., Somos-Valenzuela, M., & Chisolm, R. E. (2014). Modelo de inundación en Huaraz para un aluvión (GLOF) desde la laguna Palcacocha. http://siar.regionancash.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/nota_tecnica_03.pdf
- MEF. (2016). Guía simplificada para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de servicios de protección frente a inundaciones, a nivel de perfil. Ministerio de Economía y Finanzas. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/prevencion_y_desastres/Guia-de-inundaciones-web-2014.pdf
- Meyer, V. (2005). Methoden der Sturmflut-Schadenpotentialanalyse an der deutschen Nordseeküste. Dissertation at the University of Hannover, UFZ-Dissertation 3/2005.

Milla Villena, C. (2000). Ayni. Centro de Estudios Andinos.

MINAM, (Ministerio del Ambiente), CENEPRED, (Centro Nacional de Estimación, P. y R. del R. de D., & GIZ, (Cooperación Alemana al Desarrollo). (2013). La adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: reflexiones e implicancias. [http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA PUBLICAR/OTROS/Nota_tecnica_La Adaptacion al cambio climatico y la gestion del riesgo.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA_PUBLICAR/OTROS/Nota_tecnica_La_Adaptacion_al_cambio_climatico_y_la_gestion_del_riesgo.pdf)

Montealegre, J. E. (2009). Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala.

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Estudio+de+la+variabilidad+climática+de+la.pdf/643c4c0e-83d7-414f-b2b4-6953f64078d3>

Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, Rowena Ewing, M., & Lee, D. (2009). Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. In Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. <https://doi.org/10.1007/s10273-018-2334-3>

Oliver-Smith, A. (1994). Peru's five hundred year earthquake: vulnerability in historical context. *Disasters, Development, and Environment*, Ed. A. Varley, 3–48.

Oñate, F., & Bosque, J. (2011). Estudio de tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur. *Estudios Geograficos*, 72(270), 147–172. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201107>

Padrón, J. (2006). Bases del concepto de investigación aplicada. Editorial Mercurio.

Padrón, J. (2014). Notas sobre enfoques epistemológicos, estilos de pensamiento y paradigmas: Proyecto de Epistemología en DVD. Universidad del Zulia.

PLANAGERD, Plan Nacional de Gestion del Riesgo de Desastres - PLANAGERD 2014 - 2021 1 (2014).
http://www.cenepred.gob.pe/web/download/PLANAGERD_2014-2021.pdf

Poderti, A. (2019). El Pachacuti y las invasiones a los pueblos andinos. CONICET-UBA. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/337223491_EL_PACHACUTI_EN_LA_HISTORIA_ANDINA

Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050, 2 (2021) (testimony of PCM).
https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/DS_038_2021_PCM_POLITICA_NACIONAL_DEL_RIESGO_DESASTRES_AL_2050.pdf

Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050, Decreto Supremo N° 038-2021-PCM (Presidencia del Consejo de Ministros del Perú 1 de marzo de 2021).

Popper, K. R. (1957). La miseria del historicismo. Titivillus.
https://proletarios.org/books/Popper-Miseria_del_historicismo.pdf

Proyecto Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina [PREDECAN]. (2008). Plan Comunitario de Gestión del Riesgo de Desastres de la Comunidad de Piste. Municipalidad Provincial de Calca, Cusco. Calca:

Proyecto PREDECAN. Obtenido de https://predes.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/plan_comunitario_piste.pdf

Puertas, O., Carvajal, Y., & Quintero, M. (2011). Estudio de tendencias de la precipitación mensual en la Cuenca Alta - Media del río Cauca. *Dyna*, 169, 112–120. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49622390013>

Puicón, J., Saavedra, V., Granda, L., Ferro, V., Cruz, R., Toledo, M., & Ticona, J. (2009). *Análisis del riesgo: En procesos de desarrollo e inversión* (1era ed.). Biblioteca Nacional del Perú. http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA_PUBLICAR/OTROS/Concurso de Tesis 2006-2007. Analisis del Riesgo en procesos de Desarrollo e Inversion.pdf

Renom, M. (2009). *Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala*. [Tesis para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos]. <https://docplayer.es/14496055-Universidad-de-buenos-aires-facultad-de-ciencias-exactas-y-naturales.html>

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, 1(1), 83–98. <https://www.rafikulislam.com/uploads/resourses/197245512559a37aadea6d.pdf>

Salas, E. (2014). *Análisis de tendencia de la temperatura y precipitación pluvial mensual en la cuenca del río Illpa, Puno* [Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Del Altiplano]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_9ac7b8bfef4124e0d34d7b8e797167c7/Details

SENAMHI. (2019). Evaluación de zonas de inundación utilizando un modelo hidrológico - hidráulico en Tumbes. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-80.pdf>

SENAMHI. (2020). Estación convencional de Pisac. Data de precipitación (1961-2017) y data de temperatura (1958-2017). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

Sequeiros Cuba, M., & Farfán Encalada, S. (2011). Evaluación hidrológico e hidráulico con el modelo Iber para determinar el riesgo por inundación en la población ribereña al río Qochoq, provincia de Calca – región Cusco 2017 [Tesis para optar el grado de Ingeniero geólogo, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4470/253T20190495_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Shady, R. (2006). Caral - Supe / La Civilización más antigua de América. Proyecto Especial Arqueológico Caral – Supe / INC. <https://www.zonacaral.gob.pe/downloads/publicaciones/libro-caral-supe-la-civilizacion-2008.pdf>

Torres, J., & Gómez, A. (2008). Adaptación al cambio climático: de los fríos y los calores en los Andes (J. Torres & A. Gómez (Eds.)). Soluciones Prácticas-ITDG. [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9414E4ABB1319A9D05257C700053AEB2/\\$FILE/1_pdfsam_Adaptacion_al_cambio_climatico.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9414E4ABB1319A9D05257C700053AEB2/$FILE/1_pdfsam_Adaptacion_al_cambio_climatico.pdf)

Vincent, L. A., Peterson, T. C., Barros, V. R., Marino, M. B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Berlato, M. A., Grimm, A. M., Marengo, J. A., Molion, L., Moncunill, D. F., Rebello, E., Anunciação, Y. M. T., Quintana, J., Santos, J. L., Baez, J., ... Karoly, D. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *American Meteorological Society*, 18(23), 5011–5023. <https://doi.org/10.1175/JCLI3589.1>

Welt Hunger Hilfe. (2008). Plan de Gestión Local del Riesgo de Desastres: Calca, Perú. Lima: PREDES. Obtenido de https://predes.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/plan_gestion_local_riesgo-de-calca.pdf

Yacasi Ccalluhuanca, F. (2017). Allin Runa Kay: Rescatando el fundamento de la moral andina. Tesis para optar el título de Licenciado en Filosofía, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Zbigniew, W. (2004). Change detection in hydrological records - A review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 7–20. <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.53993>

ANEXOS

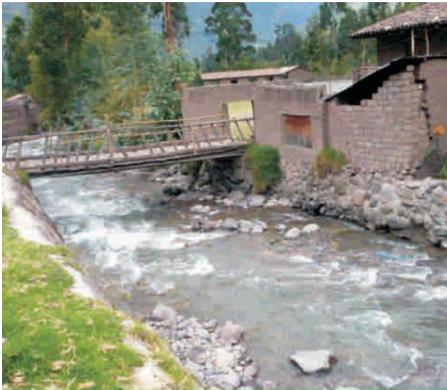
Anexo 1. Data hidrometeorológica

CAUDALES GENERADOS DEL RIO QOCHOQ (M3/SEG) PARA 44 AÑOS DE REGISTROS PLUVIOMETRICOS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1963	4.3339	4.6149	3.6188	2.9989	1.3580	0.5376	0.3248	0.2361	0.6509	0.9480	1.4290	2.6281
1964	3.0271	3.5669	3.6451	2.3330	1.0637	0.4093	0.2339	0.2956	0.7521	1.0052	1.5678	1.6215
1965	3.2542	1.7939	3.4081	2.1755	0.7511	0.3610	0.1997	0.2057	0.6742	1.0828	2.5708	2.7469
1966	2.5630	4.1839	2.6772	1.5852	1.3271	0.3429	0.1869	1.0472	1.2478	2.2251	3.4672	1.6886
1967	2.0922	3.7527	3.6054	1.8435	0.8613	0.4057	0.6870	0.5555	1.3428	2.3425	3.0063	2.9741
1968	2.9073	4.4976	3.2473	1.5161	0.6077	0.4756	0.9984	0.4987	0.8266	1.5405	2.8563	2.2026
1969	3.0745	2.4866	2.6774	1.4464	0.5124	0.5135	0.7115	0.3830	0.6094	1.0034	2.8880	2.3773
1970	3.4380	3.4205	3.6212	2.1832	0.5439	0.4002	0.4241	0.2835	0.6205	0.9318	2.4176	1.5048
1971	3.2784	4.2460	3.8211	1.8873	0.4885	0.3576	0.2712	0.2685	0.8566	0.9048	1.6842	2.3327
1972	3.9613	2.9089	3.5326	1.9384	0.4676	0.3416	0.2586	0.5367	1.1263	0.4391	1.6637	2.6551
1973	4.6713	1.7479	2.6499	1.6469	0.6214	0.3356	0.2607	0.2963	0.4901	0.3494	0.7515	2.6954
1974	3.9776	3.4982	3.9722	2.5206	0.5400	0.8064	0.2547	1.3910	0.3206	0.9889	1.4616	2.6433
1975	3.7527	4.6529	3.5715	3.4241	1.1199	0.5799	0.2075	0.6623	0.4749	1.3191	2.6445	3.4271
1976	3.3226	4.0184	4.1839	3.8425	1.1201	2.6979	0.2123	0.3772	0.7787	0.7901	1.8344	2.6579
1977	3.7894	4.3068	3.0540	4.0230	0.7050	1.2211	0.1916	0.4025	0.7723	1.4620	3.4409	1.8616
1978	3.4868	4.1368	2.3197	2.4488	0.6634	0.6661	0.1838	0.2459	0.3895	2.4911	2.3656	1.6342
1979	2.2733	3.5561	1.4692	1.5697	0.5334	0.4576	0.1809	0.1870	0.4173	1.9330	1.5719	1.8090
1980	3.4983	4.6349	4.0267	2.3293	0.4845	0.4024	0.2023	0.1874	0.4788	1.2968	1.5983	2.4583
1981	3.0385	3.6241	4.4941	1.7567	0.4661	0.5440	0.1879	0.2099	1.0121	1.8208	2.7214	2.8818
1982	3.4268	4.2878	3.5028	2.6778	0.4592	0.4580	0.2049	0.1735	0.4936	1.5689	2.0303	2.5921
1983	3.1687	3.9657	2.9955	3.2791	0.4791	0.8896	0.1888	0.1599	0.2523	0.7560	1.0748	2.5281
1984	2.4882	3.9440	2.7376	3.5283	0.4865	0.7734	0.1828	0.2894	0.1849	1.8644	1.9449	2.3021
1985	1.8509	4.9547	2.8875	1.9058	0.4669	0.8226	0.3152	0.2034	0.3682	2.1239	2.5965	2.9353
1986	2.4643	3.8933	2.6297	2.4788	0.4595	0.5163	0.2303	0.3057	0.2980	0.9870	2.9806	2.0736
1987	3.9516	4.5132	2.0906	1.5114	0.4567	0.5520	0.5575	0.2095	0.5963	1.2667	3.3220	3.5789
1988	3.7699	4.1374	4.5633	2.6668	0.4557	0.4147	0.3213	0.1734	0.3953	0.8444	2.4416	2.9439
1989	4.0809	3.7104	4.4601	3.2982	0.7740	0.6298	0.2326	0.2047	0.2154	1.4825	2.2962	2.4808
1990	3.9083	3.5748	3.1937	2.6542	0.5749	0.8428	0.1992	0.3960	0.2869	1.7559	1.6734	2.2394
1991	4.1172	6.0831	4.7197	2.8992	0.5001	0.9646	0.1867	0.2435	0.2674	2.8237	3.4732	3.0689
1992	1.8347	3.6341	3.2846	1.6694	0.4720	1.3350	0.1820	0.9155	0.1673	1.8784	3.2405	2.4043
1993	3.9282	4.1797	2.5545	2.0884	0.4614	0.9872	0.4047	1.2242	0.3384	1.7476	3.0371	3.1982
1994	4.7037	4.8941	3.4359	2.8489	0.5360	0.5782	0.2639	0.5547	0.6115	1.6760	2.0562	4.6075
1995	2.9641	3.6097	3.6661	1.9752	0.4855	0.9811	0.2559	3.7818	1.6185	2.1877	2.4296	2.9489
1996	4.2292	3.7605	2.9672	2.1454	0.5787	0.5759	0.2080	1.8301	0.8143	2.0210	2.0830	2.9764
1997	2.9361	4.3639	4.1857	1.8035	0.5015	0.4237	0.1900	1.0876	0.6511	1.1055	3.0659	2.9419
1998	2.7374	3.9073	2.6350	1.6518	0.5623	0.4824	0.1832	0.5370	0.3115	1.4683	2.6120	2.0873
1999	3.4707	2.7791	2.7143	3.3574	0.6300	0.4117	0.1807	0.3414	0.3926	0.9875	2.2211	2.2486
2000	3.8361	2.4794	2.0035	1.8416	0.5208	4.9770	1.2346	0.2229	0.2376	1.0537	1.9350	2.8255
2001	2.4697	3.9570	1.9159	1.7125	2.2976	2.1472	0.5758	0.1784	0.2721	1.8192	1.6652	2.9974

2002	4.0209	2.5493	2.4216	1.5017	1.1475	1.0142	0.3282	0.2515	0.6097	1.8600	2.0740	2.5458
2003	4.0204	3.0639	2.4321	2.7212	0.7377	0.6579	0.2576	3.0394	0.3192	0.8205	2.9465	3.1840
2004	3.2347	1.5179	1.6506	2.2750	0.5613	0.5704	0.2535	1.3042	0.3955	1.1705	2.0685	2.8628
2005	3.3434	3.7696	3.6236	3.1277	0.4950	0.5144	0.2071	0.6297	0.8184	0.6961	2.9445	3.5500
2006	<u>1.6113</u>	<u>4.1934</u>	<u>3.4225</u>	<u>2.7061</u>	<u>0.4925</u>	<u>0.4005</u>	<u>0.2570</u>	<u>0.6679</u>	<u>0.6063</u>	<u>0.6075</u>	<u>1.3488</u>	<u>2.3046</u>
PROMEDIOS	3.33	3.76	3.19	2.36	0.68	0.79	0.31	0.62	0.58	1.40	2.31	2.62
MAXIMA	4.70	6.08	4.72	4.02	2.30	4.98	1.23	3.78	1.62	2.82	3.47	4.61
MINIMA	1.61	1.52	1.47	1.45	0.46	0.34	0.18	0.16	0.17	0.35	0.75	1.50
Máximo caudal promedio mensual en 44 años =					6.08							

Anexo 2. Registro fotográfico



Fotografía 4. *Sector El Piste*



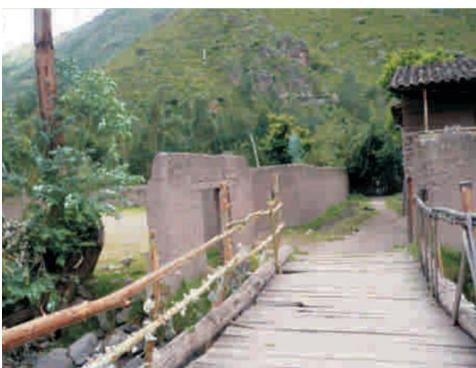
Fotografía 5. *Sector El Piste*



Fotografía 6. *Vista aérea Sector El Piste*



Fotografía 7. Calles y viviendas en El Piste



Fotografía 8. Puente Yabar

Anexo 3. Compromiso del gobierno municipal



MUNICIPALIDAD
PROVINCIAL
DE CALCA



COMPROMISO DE UTILIZACIÓN DE TESIS

Conste por el presente el compromiso en mi gestión de implementar la metodología validada en la tesis *"Modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones para el cálculo del costo evitado. Caso Sector El Piste, ciudad de Calca, Cuzco"*, así como la selección del equipo técnico municipal al que el Magister tenga a bien instruir en 3 sesiones concertadas y programadas entre ambas partes.

Calca, 16 de junio 2019

MUNICIPIO DISTRITAL DE CALCA

Ing. Carlos A. Zamalloa Castro
ALCALDE

