

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

Model of vulnerability to climate change due to flooding hazard, to calculate the cost avoided. Case Sector El Piste, City of Calca, Cuzco

Juan Carlos Montero Chirito<sup>1,a</sup>, Carlos Francisco Cabrera Carranza<sup>1,b</sup>

Recibido: 15/09/2022 - Aprobado: 02/11/2022 – Publicado: 31/12/2022

## RESUMEN

Esta investigación estuvo basada en la determinación de un modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones para el cálculo del costo evitado, cuya característica relevante es la importancia de la variable precipitación. El primer paso ha consistido en la elaboración del estado de arte sobre modelación de vulnerabilidad en la temática de inundaciones. Cuando se trata de modelar inundaciones, se plantea un problema que se origina esencialmente en tratar de simular, con expresiones discretas en el tiempo y el espacio, un progreso que ocurre en la naturaleza a una escala progresivamente mucho menor. La última etapa de la investigación consistió en la corrida del modelo, comparando los valores numéricos con las medidas de control a implementarse, obteniéndose mapas con diversos periodos de retorno ante inundaciones. La principal conclusión es que la modelación ante inundaciones está en función del área de estudio y de las variables meteorológicas, y reducir los niveles de incertidumbre sigue siendo el reto principal, y más aún si lo orientamos al cálculo del costo evitado por inundaciones.

**Palabras claves:** Modelación, periodo de retorno, inundaciones, costo evitado, cambio climático, vulnerabilidad.

## ABSTRACT

The investigation was based on the theoretical and practical aspects for a model of vulnerability to flooding hazard due to climate change, in order to calculate the avoided cost. It takes as a primary characteristic the variable precipitation. The first step has been an account of the state of the art on modelling vulnerability to flooding in Peru. When it comes to modeling floods, a problem arises that stems abundantly from trying to simulate, with discrete expressions in time and space, a progress that occurs in nature on a progressively much smaller scale. The last stage of the investigation consisted of running the model, this phase compares the numerical results with the control measures to be implemented, outcoming a map of different return periods of flooding impact. The main conclusion is that flood modelling is a function of the study area and meteorological variables. Therefore, reducing the levels of uncertainty remains the main challenge, and even more so if we focus on calculating the cost avoided by floods.

**Keywords:** modeling, return periods, floods, avoided cost, climate change, vulnerability.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Departamento Académico de Ingeniería Geográfica. Lima, Perú

a Docente. Autor para correspondencia: [jcarlosmo@unmsm.edu.pe](mailto:jcarlosmo@unmsm.edu.pe) – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1422-5019>

b Docente. E-mail: [ccabreric@unmsm.edu.pe](mailto:ccabreric@unmsm.edu.pe) – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-5886>

## I. INTRODUCCIÓN

Existen indicios sobre anomalías climáticas, especialmente en la historia y los vestigios de culturas que constituyeron escenarios de extraordinarias inundaciones ante la ocurrencia del Fenómeno El Niño, por ejemplo, las ocurridas desde Chiclayo al Norte chico en los Niños 1982-1983 y 1997-1998 (SENAMHI-MINAM, 2014). Estos eventos de origen natural son cada vez más frecuentes en la ciudad de Calca, alterando las actividades socioeconómicas y medios de vida de su población.

“Pacha” (término quechua) considera paralelamente el tiempo, suelo y lugar, y “cuti” se refiere al fin temporal, por lo que hacía referencia al cambio a través del cual una época culmina, una especie de “inversión del espacio y el tiempo”. En ese contexto lo asociaban a escasez de alimentos, y castigo divino, por lo que para la cosmovisión andina el desastre era “una inversión del espacio y el tiempo” (Cruz Cuentas, 2017).

Los especialistas y expertos en la temática señalan que para poder observar y evidenciar el cambio climático, es de importancia en evaluar los cambios de las variables climatológicas, siempre teniendo en consideración el tiempo y espacio. Se entiende a las tendencias como los escenarios continuos que reflejan tendencias ascendentes o descendentes en un rango de tiempo de las variables en estudio (Bradley et al., 1985).

Las inundaciones son una manifestación del cambio climático, el fenómeno natural de origen hidrometeorológico más peligroso en la ciudad de Calca, con recurrencia de eventos extremos un promedio de cada 3 años. Dependen del sistema climático prevaleciente y de las características geomorfológicas y topográficas de Calca. 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 susceptibilidad es la vulnerabilidad de un poblado, estructura física o actividad socioeconómica al daño causado por una amenaza o peligro<sup>2</sup>. El desastre es entonces consecuencia de una mala planificación del desarrollo, donde se supera la capacidad de resiliencia de una población.

Bazo Zambrano (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”. Sequeiros Cuba & Farfán Encalada (2019), determinaron para la ciudad de Calca en el aspecto de vulnerabilidad, que una gran parte de 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.

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”. El Ministerio de Economía y Finanzas en el marco de las guías para el Sistema Nacional de Inversión Pública determinó una metodología para costos evitados en función de la estimación del riesgo y la probabilidad de pérdidas en caso se materializará el peligro en el ámbito del proyecto de inversión<sup>3</sup>.

En este sentido, la tesis de investigación estuvo enfocado en los objetivos específicos: diseñar una metodología para el análisis de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundaciones en el Sector El Piste, Calca, Cuzco, así como desarrollar una metodología que permita calcular el costo evitado en afectación de viviendas ante riesgo de inundaciones.

## II. MÉTODOS

El distrito de Calca se ubica en la Provincia de Calca y Departamento del Cuzco. Tiene una extensión de 336.90 km<sup>2</sup>. La ciudad de Calca altitudinalmente se sitúa sobre los 2 926 msnm con una población de 9 805 habitantes (ver Figura 1).

El proceso de investigación considera siete (7) pasos: Definición del ámbito de estudio, revisión de la información existente, diagnóstico situacional, escenarios de inundación, modelo de vulnerabilidad al cambio climático, evaluación de riesgo y costos evitados.

La metodología toma en consideración en la definición del ámbito de estudio: la selección de tramos críticos del área de estudio, así como la caracterización del fenómeno. Un tramo crítico<sup>4</sup> 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.

Respecto a la revisión de la información existente: se recopiló datos de peligro de inundaciones de los últimos 30 años, información censal del Instituto Nacional de Estadística e Informática, así como estudios diversos de la zona. En cuanto al diagnóstico situacional: se trabajó con data hidrometeorológica, información cartográfica, información

<sup>3</sup> Dirección General de Programación Multianual del Sector Público, Ministerio de Economía y Finanzas (DGPM-MEF, 2010)

<sup>4</sup> Autoridad Nacional del Agua. Identificación de puntos críticos con riesgo a inundaciones en ríos y quebradas (ANA, 2019)

<sup>2</sup> Decreto Supremo N°048-2011-PCM. Reglamento de la Ley N° 29664 (PCM, 2011)

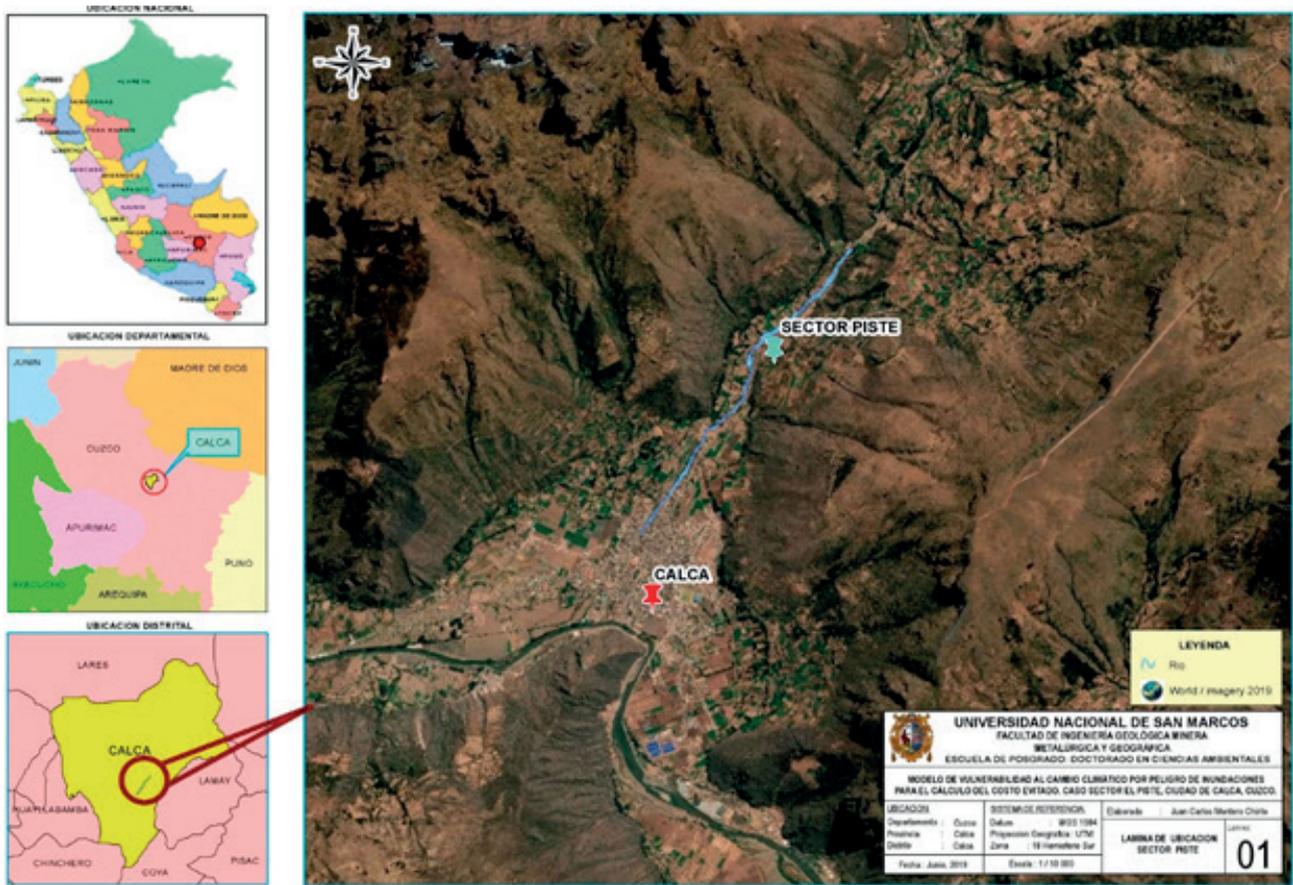


Figura 1. Mapa de localización de la ciudad de Calca, Cuzco - Perú

primaria georreferenciada, así como información secundaria; seguidamente se validó la geodatabase. 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 CENEPRED<sup>5</sup> que viene siendo aplicada a nivel nacional. Asimismo, respecto al modelo de vulnerabilidad al cambio climático: se consideraron las variables de precipitación y temperatura. De igual manera, en evaluación de riesgo, se analizaron el parámetro de evaluación y la vulnerabilidad considerando las variables de exposición y fragilidad, tomando en cuenta, además el cálculo de pérdidas y daños, así como medidas de control de riesgo; finalmente, se calculó los costos evitados de construcción de viviendas ante impacto de inundaciones.

En la Figura 2, se presenta el esquema metodológico de la investigación.

A través del análisis y procesamiento cartográfico se realizó la clasificación supervisada en campo para la determinación de zonas de inundación, permitiendo la determinación de la línea de base, con fines de precisión de los costos evitados por la infraestructura de viviendas.

5 Escenario de Riesgo por Lluvias. Pronóstico de precipitaciones en la sierra (del 08 al 10 de abril de 2022).(CENEPRED, 2022)

La presente investigación plantea una metodología para determinar zonas inundables y conocer la incidencia de la variable de cambio climático en el contexto territorial, facilitando la priorización de medidas de control de riesgo que conlleven a la sostenibilidad de la infraestructura público-privada.

La hipótesis en la investigación considera la influencia del modelo de vulnerabilidad al cambio climático por peligro de inundación en los costos evitados, para lo cual se procedió a comprobar por medio del coeficiente de Pearson (Tabla 1).

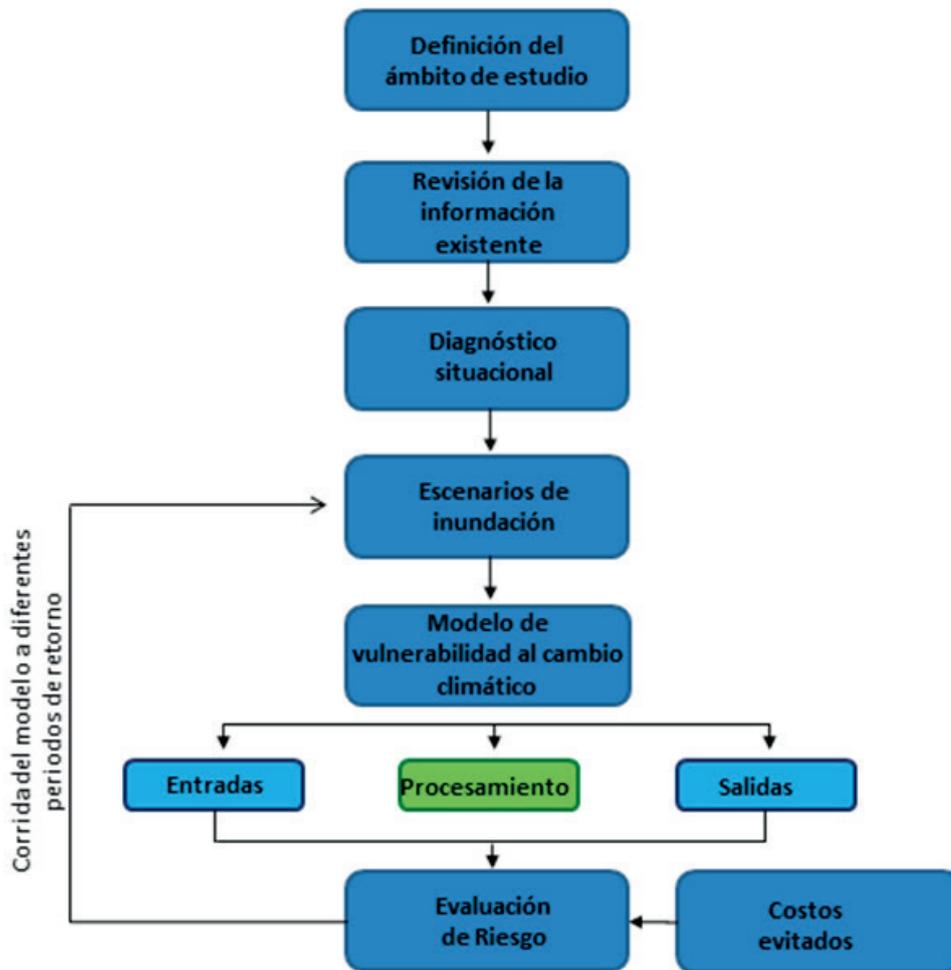
Tabla 1. Niveles de peligro ante inundaciones

Nivel de peligro	Descripción	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 Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, 2021.

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.

Se tomó en consideración 30 años de registros históricos de temperatura y precipitación. El comportamiento de



**Figura 2.** Esquema metodológico de la investigación

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.

la precipitación se analizó por regresión simple. Y las tendencias significativas están de acuerdo con los test de Mann-Kendall y Pettitt ( $P\text{-value} < 0.05$ ) ambas pruebas de la tendencia son estadísticas no paramétricas.

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 geoprocesos.

### 2.1. Dimensión económica

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 la Tabla 2.

### 2.2 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 Figura 3 y Tabla 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.

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.

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

Donde:

Vd = Viviendas al día del desastre

Vo = 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.

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

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

V<sub>t+n</sub> = Viviendas al momento actual

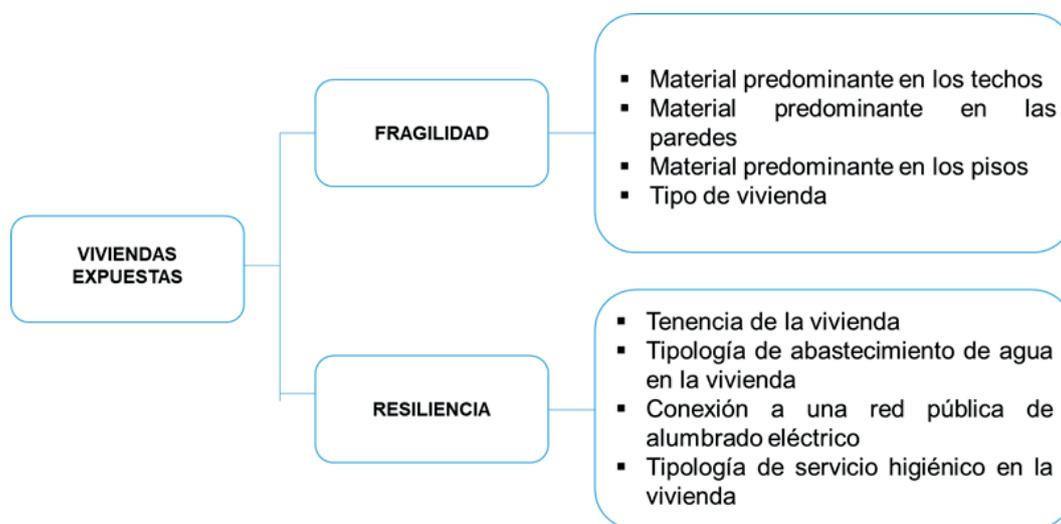
V<sub>t</sub> = Viviendas al momento inicial

**Tabla 2.** Variables de análisis de fragilidad y factor de influencia del evento

Factor	Cód.	Variables'	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	

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

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



**Figura 3.** 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.

**Tabla 3.** 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 asfáltica	1
			PS3	Loseta	1
			PS4	Madera	2
			PS5	Cemento	1
			PS6	Tierra	4
			PS7	Otro	4
	TV	Tipo de vivienda	TV1	Casa Independiente	1
			TV2	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 Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, 2021.

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

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En relación con la data de precipitación, se utilizó el registro histórico de la estación meteorológica de Pisac<sup>6</sup>. El ciclo utilizado fue 1961 – 2017, que es el rango disponible más próxima al área de estudio. La información histórica corresponde al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.

Para el análisis de la temperatura se utilizó la data histórica de temperatura mínima, media y máxima de la estación meteorológica Pisac<sup>7</sup>. El ciclo utilizado fue 1958 – 2017. La información histórica corresponde al SENAMHI.

La temperatura media anual aumentó considerablemente para el periodo 1981-2017 en 1.08°C (P-value < 0.05). Para este periodo los meses con mayor aumento de temperatura fueron septiembre (+1.31°C) y

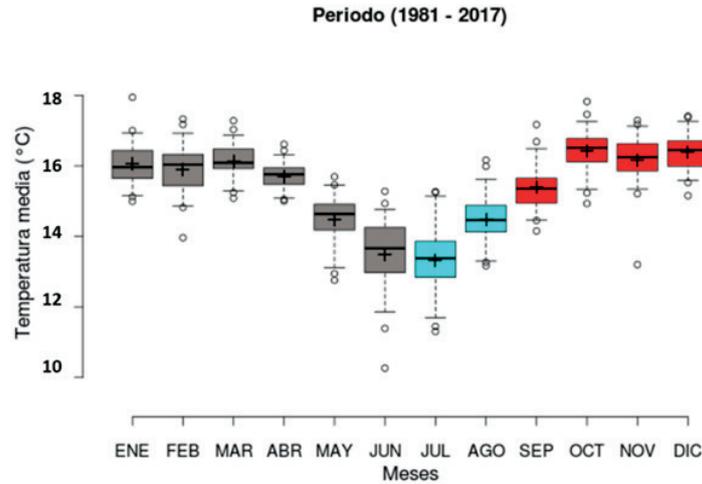
octubre (+1.14), meses que corresponden a la época seca en Calca. Mientras que los meses enero y febrero tuvieron menor incremento de temperatura media. La temperatura media por década para el año 1981 – 2017 fue de 0.18°C/década (Figura 4).

La temperatura máxima promedio anual en el periodo 1958 – 2017, en la ciudad de Calca se incrementó en 1.40°C (P-value < 0.05). 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). Pese a lo cual, 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 (Figura 5).

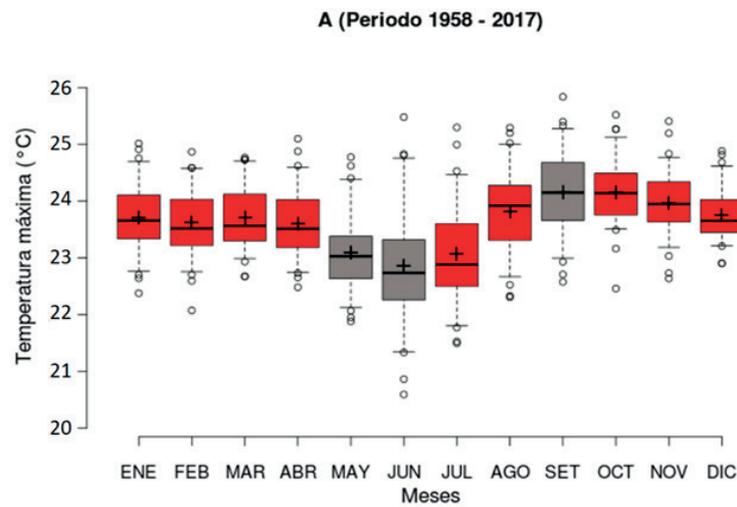
Entre los años 1958 – 2017 la temperatura mínima promedio anual denotó un aumento estadísticamente significativo (P-value<0.05) de 1.92°C. (Figura 6).

6 Datos de precipitación obtenidos de la estación convencional de Pisac (1961-2017) (SENAMHI, 2020)

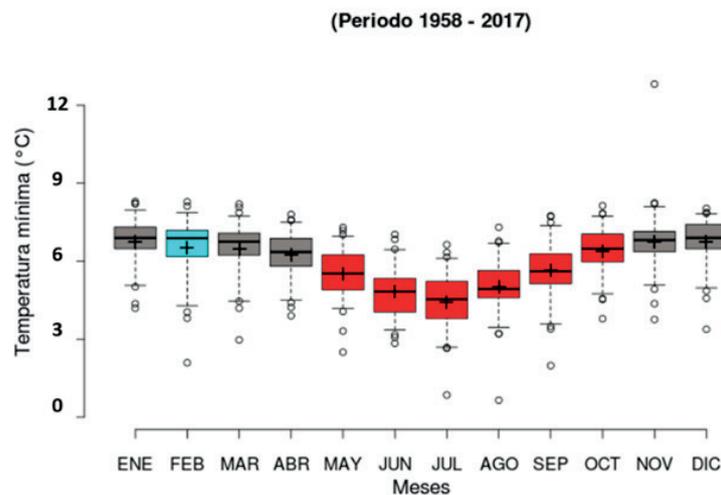
7 Datos de temperatura obtenidos de la estación convencional de Pisac (1958-2017) (SENAMHI, 2020)



**Figura 4.** Temperatura media (1981 – 2017)  
*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.



**Figura 5.** Temperatura máxima mensual (1958 – 2017)  
*Nota.* Leyenda: Rojo = aumento considerable. Plomo = no significativo. Los rectángulos denotan los percentiles 25 y 75 y, los guiones centrales muestran las medianas.



**Figura 6.** Temperatura mínima (1958 – 2017)  
*Nota.* Leyenda: Rojo = aumento considerable. Celeste = baja no considerable. Plomo = no significativo. Los rectángulos denotan los percentiles 25 y 75 y, los guiones centrales las medianas.

Asimismo, mostró un aumento estadísticamente significativo respecto a la temperatura, solamente en los meses de junio y julio (+3.97°C) (P-value < 0.05).

Los caudales extremos máximos para la zona de estudio se actualizaron en función a las fases de vuelta (Tabla 4).

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 las Tablas 5, 6 y 7, 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).

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

los niveles de vulnerabilidad respectivo (ver Figura 7 y Tablas 8, 9 y 10).

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 (ver Figuras 8 y 9).

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 los costos evitados (Tabla 11). Se obtuvo una asociación lineal estadísticamente muy fuerte ( $r = 0.825, p < 0.05$ ).

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

**Tabla 4.** Caudales máximos para diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno (años)	Caudal máximo m³/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. Estudio Hidrológico del Qochoq (Sequeiros Cuba & Farfán Encalada, 2019)

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

**Tabla 5.** 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

**Tabla 6.** 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

**Tabla 7.** 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



**Figura 7.** Viviendas en el Sector El Piste

(a) Puente de madera sobre río Qochoq (b) Exposición de viviendas ante crecida del río Qochoq.

**Tabla 8.** Niveles de vulnerabilidad ante inundaciones

Nivel de vulnerabilidad	Descripción del nivel	Rango
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 por rehabilitar, un nivel de conocimiento básico sobre el riesgo existente.	0,124 – 0,052

**Tabla 9.** Pérdidas estimadas ante inundaciones por costos de viviendas

Tipología	Valores unitarios por partidas por metro cuadrado de área techada							Sub Total En soles
	Estructuras			Acabados		Instalaciones		
	Muros y columnas	Techos	Pisos	Puertas y ventanas	Revestimientos	Baños	Eléctricas y sanitarias	
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.

**Tabla 10.** 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 <sup>2</sup>	225.54	0.00	0.00	77.00	0.00	148.57	77.00
Albañilería	m <sup>2</sup>	751.80	0.00	0.00	256.66	0.00	495.22	256.66	155.56	495.22
Adobe	m <sup>2</sup>	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.

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

**Tabla 11.** 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.

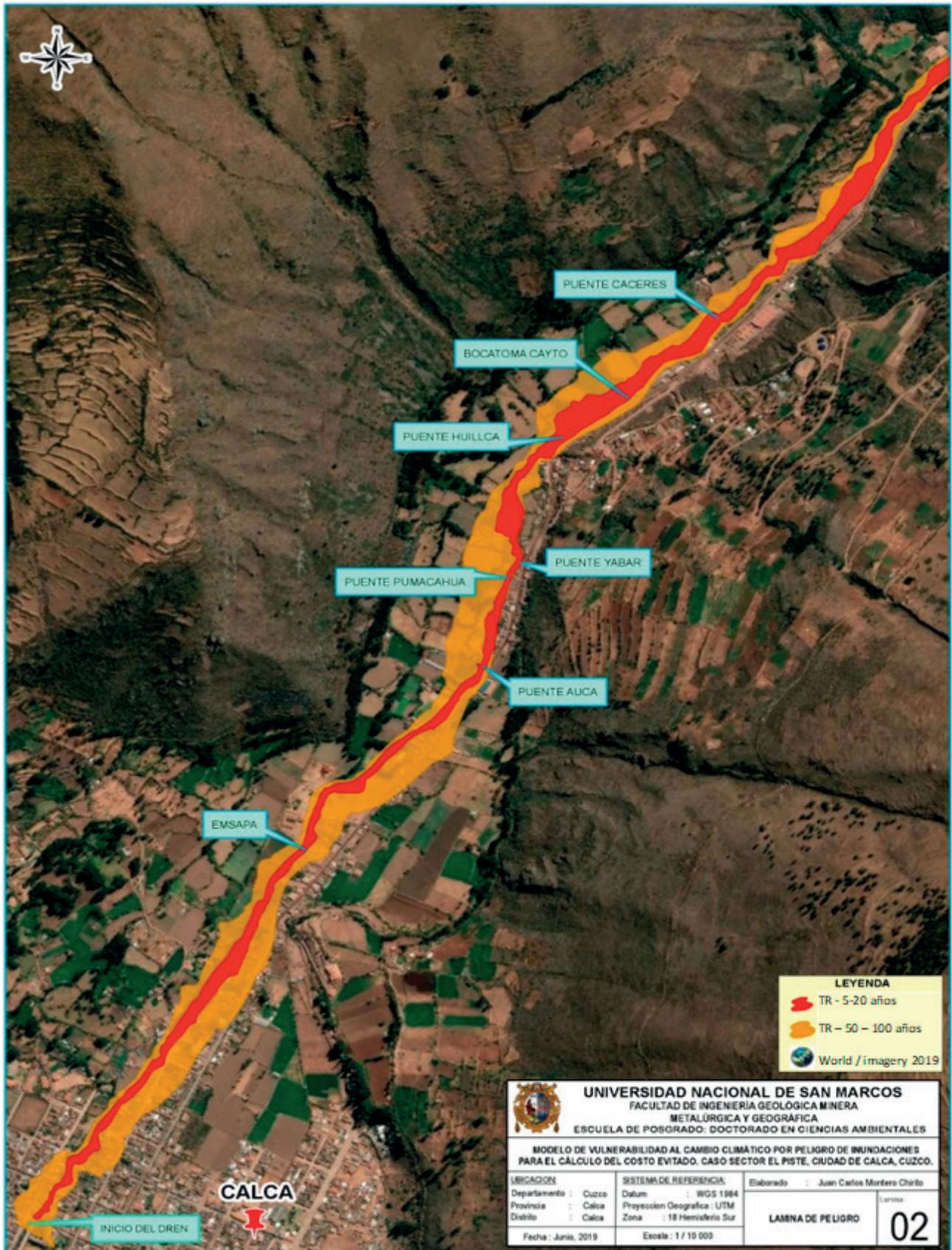


Figura 8. Mapa de Peligros: Periodo de Retorno 5-20 y 50-100 años.  
 Nota. En el gráfico se zonifica el peligro por inundación a diferente periodo de retorno.

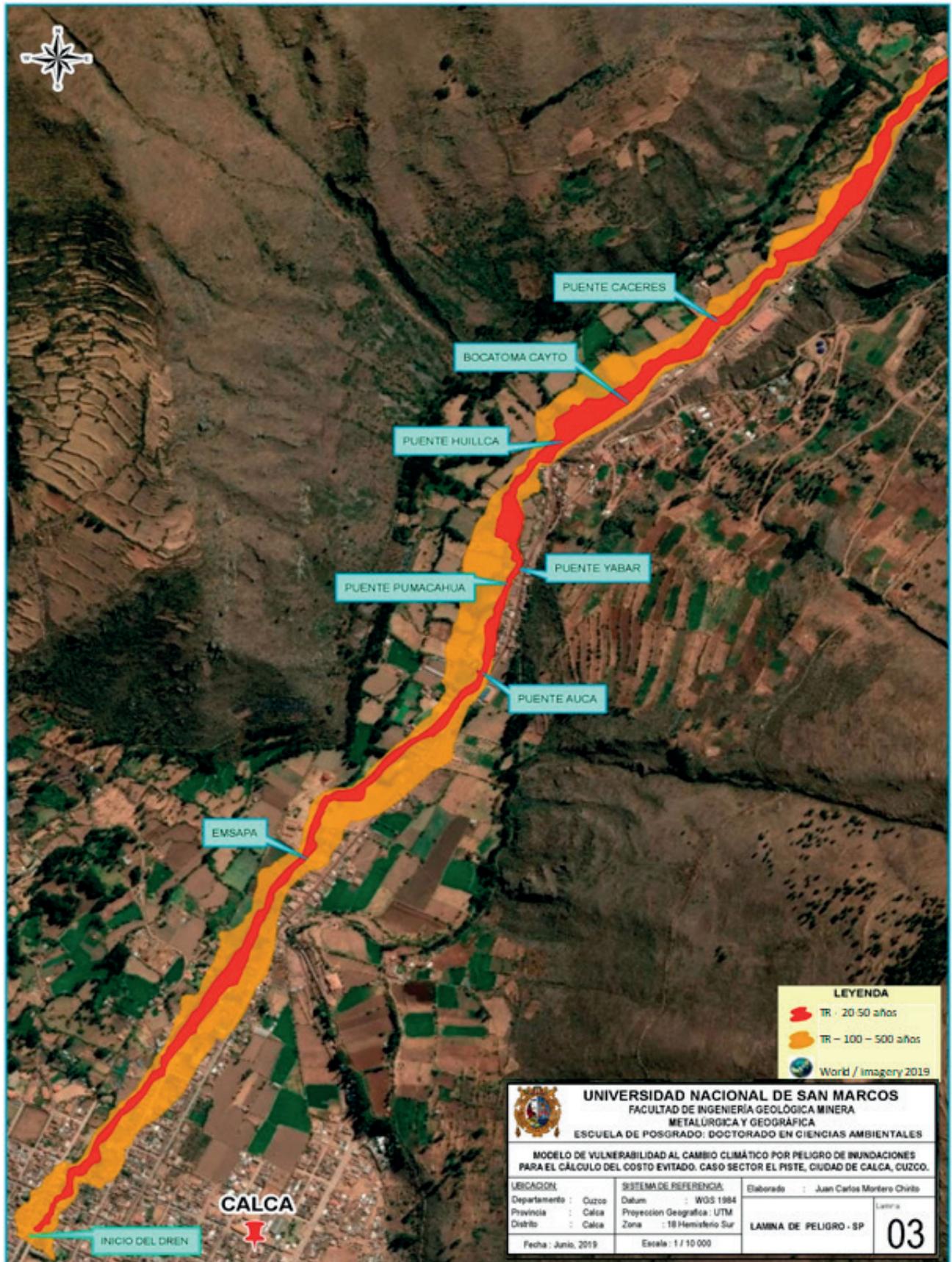


Figura 9. Mapa de Peligros a Periodos de Retorno de 20-50 y 100-500 años  
 Nota. En el gráfico se zonifica el peligro por inundación entre 20 y 500 años como periodo de retorno.

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		

#### IV. CONCLUSIONES

La correcta selección y ponderación de los descriptores en la matriz de Saaty facilitó el cálculo del costo evitado en la investigación; no obstante, 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.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento a la gestión del alcalde Federico Zamalloa por las facilidades brindadas en el recojo de información en el Sector El Piste (Calca, Cusco).

#### VI. REFERENCIAS

ANA. (2019). *Identificación de puntos críticos con riesgo a inundaciones en ríos y quebradas 2019*. Autoridad Nacional Del Agua; Autoridad Nacional del Agua. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4426>

Bazo Zambrano, C. J. (2014). *Proyecciones climáticas sobre Perú y su relación con el fenómeno ENSO* [Tesis Doctoral, Universidad de Vigo]. [https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/04/tesis\\_JuanBazo\\_oct2014.pdf](https://ephyslab.uvigo.es/wp-content/uploads/2019/04/tesis_JuanBazo_oct2014.pdf)

Bradley, R. S., Kelly, P. M., Jones, P. D., Goodess, C. M., & Diaz, H. F. (1985). *Climatic data bank for northern hemisphere land areas, 1851-1980*. <https://doi.org/10.2172/6103803>

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%20PUBLICAR/CENEPRED/Manual-Evaluacion-de-Riesgos\\_v2.pdf](http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CENEPRED/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf)

CENEPRED. (2022, April 8). *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>

Cruz Cuentas, R. (2017). *Gestión del riesgo por inundación en asentamientos populares, distrito de Mariano Melgar, Arequipa* [Tesis para optar el grado de Magister Programa de Maestría en Planeamiento y Gestión Urbana Ambiental, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN]. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Concurso%20de%20Tesis%202006-2007.%20Analisis%20del%20Riesgo%20en%20procesos%20de%20Desarrollo%20e%20Inversion.pdf>

DGPM-MEF. (2010). *Sistema Nacional de Inversión Pública y cambio climático. Una estimación de los costos y los beneficios de implementar medidas de reducción del riesgo* (Dirección General de Programación Multianual del Ministerio de Economía y Finanzas, Ed.; 5th ed.). Programa Desarrollo Rural Sostenible de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (cooperación técnica alemana). [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/estudios\\_documentos/documentos/MEF5-ABCreduccionriesgosVf.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/estudios_documentos/documentos/MEF5-ABCreduccionriesgosVf.pdf)

Diario El Peruano. (2021, October 29). Resolución Ministerial N°270-2020-VIVIENDA. Aprueban los Valores Unitarios Oficiales de Edificación para las localidades de Lima Metropolitana y Callao. *Diario Oficial El Peruano*, 38–51. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-los-valores-unitarios-oficiales-de-edificacion-para-resolucion-ministerial-n-270-2020-vivienda-1898559-1>

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

PCM. (2011). *Decreto Supremo N° 048-2011-PCM que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29664, crea el SINAGERD*. Sistema Nacional de Gestión Del Riesgo de Desastres. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1229857/DS-N\\_048-2011-PCM-Reglamento-Ley-SINAGERD20200812-2906259-9lax9s.pdf?v=1597264933](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1229857/DS-N_048-2011-PCM-Reglamento-Ley-SINAGERD20200812-2906259-9lax9s.pdf?v=1597264933)

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>

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>

SENAMHI-MINAM. (2014). *El Fenómeno El Niño en el Perú*. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)

Sequeiros Cuba, M., & Farfán Encalada, S. (2019). *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

Torres-Degró, A. (2011). Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial. *CIDE Digital*, 2(1), 143–162. <https://revistas.upr.edu/index.php/cidedigital/article/view/11774/9736>

#### **Contribución de autoría**

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, Investigación, metodología, administración del proyecto, software, redacción – revisión y edición: Juan Carlos Montero Chirito.

Adquisición de fondos: esta investigación no recibió financiación externa.

Recursos, supervisión, validación, visualización, redacción – borrador original: Carlos Francisco Cabrera Carranza.