

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN  
FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO  
DE CALIENTES, DISTRITO DE  
PACHIA-TACNA-PERÚ**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Rosmery Laura Arce

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO GEÓLOGO – GEOTÉCNICO**

TACNA – PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

HOJA DE JURADO

TESIS


**“EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA  
DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE  
PACHIA-TACNA-PERÚ”**


Presentada por el bachiller Rosmery Laura Arce  
Para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo-Geotécnico

Tesis sustentada y aprobada el 12 de junio del 2025 (R.F. 290-2025-FIAG/UNJBG) con  
el siguiente jurado:

Presidente :   
Dr. Ing. MARIO DAVID HUAMÁN RODRIGO

Secretario :   
Mgr. Ing. FREDY CLETO CABRERA OLIVERA

Vocal :   
Ing. TONY BRADY CANQUI ANQUISE

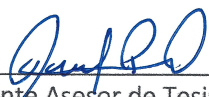
Asesor de Tesis :   
MSc. Ing. CÉSAR ROMERO OSCAMAYTA

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **César Romero Oscamayta** en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 489-2023-FIAG/UNJBG (y ampliación de plazo Resolución de Facultad N° 602-2024- FIAG/UNJBG) del Trabajo de la Tesis, titulado: **“EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA-PERÚ”**, Presentado por el Bachiller **Rosmery Laura Arce** para optar el título profesional en Ingeniería Geológica– Geotecnia.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual TURNITIN**, cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 8.0 %** Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciado líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional Ingeniero Geólogo- Geotécnico, según corresponda para su publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 15 de noviembre del 2024



Docente Asesor de Tesis  
M.Sc. César Romero Oscamayta  
DNI N° 41110855



Firma del autor  
Bach. Rosmery Laura Arce  
DNI N° 71507269



## **DEDICATORIA**

Dedicado a todos quienes me acompañaron durante mi carrera profesional, dándome palabras de aliento, para lograr ser una gran persona y profesional. A todos ellos, muchas gracias, los llevo en mi corazón.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de la realización de la presente tesis.

A la plana docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia, por su enseñanza a lo largo de mi etapa de formación académica.

A los profesionales que, en el transcurso de mi experiencia laboral, aportaron con su guía y conocimientos al desarrollo de la presente tesis.

A mi asesor por la paciencia y la orientación constante durante el desarrollo de la presente tesis.

## CONTENIDO

Resumen	xvii
Abstract	xix
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO I	21
1.1. Planteamiento del problema	21
1.2. Formulación del problema	23
1.2.1. Problema principal	23
1.2.2. Problema específico	24
1.3. Justificación de la investigación	24
1.4. Objetivos	25
1.4.1. Objetivo general	25
1.4.2. Objetivos específicos	25
1.5. Hipótesis	26
1.5.1. Hipótesis general	26
1.5.2. Hipótesis específica	26
1.6. Variables e Indicadores	27
1.6.1. Independiente	27
1.6.2. Dependiente	27
1.7. Ubicación	28

1.8. Accesibilidad	31
1.9. Clima y Vegetación	32
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>33</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>33</b>
2.1. Antecedentes del área de estudio	33
2.1.1. Internacional	33
2.1.2. Nacional	35
2.2. Inundación	38
2.2.1. Según su duración	38
2.2.2. Según su origen	39
2.3. Cuantificación de la Inundación	39
2.3.1. Hidrología	40
2.3.2. Hidráulica	61
2.4. Metodología de la Evaluación de Riesgos de Desastres	63
2.4.1. Clasificación del peligro	64
2.4.2. Método Multicriterio de Saaty	64
2.4.3. Determinación del Riesgo	71
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>75</b>
3.1. Determinación del Riesgo	75
3.1.1. Desarrollo de la zona de estudio	75
3.1.2. Determinación del nivel de Peligro	127

3.1.3. Determinación del nivel de Vulnerabilidad	148
3.1.4. Determinación del nivel de Riesgo	170
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>175</b>
4.1. Resultados	175
4.2. Discusiones	181
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>183</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>186</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>188</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>194</b>
Anexo A. ESTUDIO HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICO (Información prioritaria)	194
a.1. Precipitaciones	195
a.2. Hietogramas para diferentes periodos de retorno	197
a.3 Análisis estadísticos de datos hidrológicos	204
Anexo B. MAPAS TEMÁTICOS	220

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación del área de estudio</i> .....	29
Figura 2 <i>Delimitación del área de estudio</i> .....	30
Figura 3 <i>Delimitación y Ubicación de Unidades Hidrográficas Mayores</i> .....	41
Figura 4 <i>Determinación del riesgo originado por inundación fluvial</i> .....	73
Figura 5 <i>Jerarquización de parámetros para determinación del peligro</i> .....	73
Figura 6 <i>Jerarquización de parámetros para determinación de la vulnerabilidad</i> ....	74
Figura 7 <i>Edades cronológicas respecto a la evolución climática</i> .....	76
Figura 8 <i>Ubicación geográfica de la cuenca</i> .....	86
Figura 9 <i>Hietogramas de Precipitación-Estación Palca</i> .....	92
Figura 10 <i>Mapa de altura de Inundación para un periodo de retorno de 50 años</i> ....	95
Figura 11 <i>Mapa de Geología Local de la zona de estudio</i> .....	104
Figura 12 <i>Mapa de Geomorfología Local del área de estudio</i> .....	112
Figura 13 <i>Falla Inversa Sama-Calientes</i> .....	113
Figura 14 <i>Flexuramiento de un estrato</i> .....	114
Figura 15 <i>Susceptibilidad Regional por Inundación</i> .....	128
Figura 16 <i>Bocatoma Calientes</i> .....	129
Figura 17 <i>Mapa de precipitaciones</i> .....	130
Figura 18 <i>Puntos críticos por Inundación</i> .....	131

Figura 19 <i>Identificación de áreas de inundación</i> .....	132
Figura 20 <i>Jerarquización de los factores para la determinación del peligro</i> .....	132
Figura 21 <i>Jerarquización de factores de vulnerabilidad</i> .....	149
Figura 22 <i>Determinación del riesgo</i> .....	171
Figura 23 <i>Nivel de Peligro en el Balnearío de Calientes</i> .....	176
Figura 24 <i>Nivel de Vulnerabilidad en el Balnearío de Calientes</i> .....	179
Figura 25 <i>Nivel de Riesgo en el Balnearío de Calientes</i> .....	180

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1	<i>Operacionalización de variables independientes</i>	27
Tabla 2	<i>Operacionalización de variable dependiente</i>	28
Tabla 3	<i>Coordenadas de delimitación de la zona de estudio</i>	31
Tabla 4	<i>Clasificación de tamaños de cuencas</i>	42
Tabla 5	<i>Clasificación del Coeficiente de Compacidad de Gravelius</i>	44
Tabla 6	<i>Clasificación de valores del factor de forma</i>	46
Tabla 7	<i>Clasificación de pendiente media del cauce principal</i>	47
Tabla 8	<i>Resumen de datos hidrológicos</i>	48
Tabla 9	<i>Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje</i>	50
Tabla 10	<i>Coeficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora</i>	55
Tabla 11	<i>Índice Aleatorio de una matriz según diferentes valores</i>	70
Tabla 12	<i>Clasificación de suelos según SUCS</i>	85
Tabla 13	<i>Estaciones meteorológicas</i>	89
Tabla 14	<i>Precipitaciones máximas 24 horas para estaciones representativas</i>	89
Tabla 15	<i>Umrales de precipitación para la Estación Palca</i>	90
Tabla 16	<i>Precipitación máxima 24 horas registrada para febrero del 2019</i>	91
Tabla 17	<i>Corrección de las Pp Max 24 horas para diferentes periodos de retorno</i>	93
Tabla 18	<i>Columna estratigráfica del área de estudio</i>	103

Tabla 19 <i>Población total en el Balnearío de Calientes</i> .....	116
Tabla 20 <i>Población según grupo de edades</i> .....	117
Tabla 21 <i>Material predominante de las paredes exteriores</i> .....	117
Tabla 22 <i>Abastecimiento de agua en el balnearío</i> .....	118
Tabla 23 <i>Servicio higiénico en el balnearío</i> .....	118
Tabla 24 <i>Distribución de la población</i> .....	119
Tabla 25 <i>PEA por rama de actividad económica</i> .....	120
Tabla 26 <i>Usos de suelo</i> .....	123
Tabla 27 <i>Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación: Altura de Inundación</i> .....	133
Tabla 28 <i>Matriz de Normalización del Parámetro de Evaluación: Altura de Inundación</i> .....	133
Tabla 29 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	134
Tabla 30 <i>Ponderación del parámetro de evaluación</i> .....	134
Tabla 31 <i>Matriz de comparación de pares de los factores condicionantes</i> .....	135
Tabla 32 <i>Matriz de Normalización de los Factores Condicionantes</i> .....	135
Tabla 33 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	135
Tabla 34 <i>Matriz de comparación de pares del factor condicionante: Pendiente</i> .....	136
Tabla 35 <i>Matriz de Normalización del factor condicionante: Pendiente</i> .....	136

Tabla 36 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	137
Tabla 37 <i>Matriz de comparación de pares del factor condicionante: Geomorfología</i> .....	137
Tabla 38 <i>Matriz de Normalización del factor condicionante: Geomorfología</i> .....	138
Tabla 39 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	138
Tabla 40 <i>Matriz de comparación de pares del factor condicionante: Geología</i> .....	139
Tabla 41 <i>Matriz de Normalización del factor condicionante: Geología</i> .....	140
Tabla 42 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	140
Tabla 43 <i>Matriz de comparación de pares del factor condicionante: Cobertura Vegetal</i> .....	141
Tabla 44 <i>Matriz de Normalización del factor condicionante: Cobertura Vegetal</i> ...	142
Tabla 45 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	142
Tabla 46 <i>Ponderación de los Factores Condicionantes</i> .....	143
Tabla 47 <i>Matriz de comparación de pares del factor desencadenante: Percentiles de precipitación</i> .....	144
Tabla 48 <i>Matriz de Normalización del factor desencadenante: Percentiles de precipitación</i> .....	145
Tabla 49 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	145
Tabla 50 <i>Ponderación del Factor Desencadenante</i> .....	146

Tabla 51 <i>Niveles de Peligro por Inundación Fluvial</i> .....	146
Tabla 52 <i>Estratificación del peligro</i> .....	147
Tabla 53 <i>Ponderación de las dimensiones de vulnerabilidad</i> .....	150
Tabla 54 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de exposición: Número de Habitantes</i> .....	150
Tabla 55 <i>Matriz de Normalización del descriptor de exposición: Número de Habitantes</i> .....	151
Tabla 56 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	151
Tabla 57 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de fragilidad: Grupo Etereo</i> .....	152
Tabla 58 <i>Matriz de Normalización del descriptor de fragilidad: Grupo Etereo</i> .....	153
Tabla 59 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	153
Tabla 60 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de resiliencia: Capacitación en Temas de GRD</i> .....	154
Tabla 61 <i>Matriz de Normalización del descriptor de resiliencia: Capacitación en Temas de GRD</i> .....	154
Tabla 62 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	155
Tabla 63 <i>Parámetros de la dimensión social</i> .....	155

Tabla 64 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de económica: Localización de la Construcción</i> .....	156
Tabla 65 <i>Matriz de Normalización del descriptor de económica: Localización de la Construcción</i> .....	156
Tabla 66 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	157
Tabla 67 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de económica: Material de Construcción</i> .....	157
Tabla 68 <i>Matriz de Normalización del descriptor de económica: Material de Construcción</i> .....	158
Tabla 69 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	158
Tabla 70 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de fragilidad: Estado de Conservación</i> .....	159
Tabla 71 <i>Matriz de Normalización del descriptor de fragilidad: Estado de Conservación</i> .....	159
Tabla 72 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	160
Tabla 73 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de resiliencia: Organización y Capacitación Institucional</i> .....	160
Tabla 74 <i>Matriz de Normalización del descriptor de resiliencia: Organización y Capacitación Institucional</i> .....	161

Tabla 75 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	161
Tabla 76 <i>Parámetros de la Dimensión Económica</i> .....	162
Tabla 77 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de exposición: Cercanía a zonas de botaderos de basura</i> .....	163
Tabla 78 <i>Matriz de Normalización del descriptor de exposición: Cercanía a zona de botaderos</i> .....	163
Tabla 79 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	164
Tabla 80 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de fragilidad: Disposición de RRSS</i> .....	164
Tabla 81 <i>Matriz de Normalización del descriptor de fragilidad: Disposición de RRSS</i> .....	165
Tabla 82 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	165
Tabla 83 <i>Matriz de comparación de pares del descriptor de resiliencia: Conocimientos en temas ambientales</i> .....	166
Tabla 84 <i>Matriz de Normalización del descriptor de resiliencia: Conocimientos en temas ambientales</i> .....	167
Tabla 85 <i>Índice y relación de consistencia</i> .....	167
Tabla 86 <i>Parámetros de la Dimensión Ambiental</i> .....	168
Tabla 87 <i>Niveles de vulnerabilidad</i> .....	169

Tabla 88 <i>Estratificación del nivel de vulnerabilidad</i> .....	169
Tabla 89 <i>Niveles de riesgo</i> .....	171
Tabla 90 <i>Matriz de jerarquización del Riesgo</i> .....	172
Tabla 91 <i>Estratificación del riesgo</i> .....	172

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 <i>Conglomerado Calientes</i> .....	102
Fotografía 2 <i>Toba Pachía</i> .....	103
Fotografía 3 <i>Depósitos aluviales</i> .....	104
Fotografía 4 <i>Depósitos fluvio aluviales</i> .....	105
Fotografía 5 <i>Depósitos fluviales</i> .....	106
Fotografía 6 <i>Terrazas aluviales y fluvio aluviales</i> .....	110
Fotografía 7 <i>Cauce fluvial</i> .....	111
Fotografía 8 <i>Bocatoma Calientes</i> .....	124
Fotografía 9 <i>Canal Challata</i> .....	125
Fotografía 10 <i>Vista desde aguas abajo del puente colgante de Calientes, emplazado sobre el río</i> .....	<i>Caplina</i> 126
Fotografía 11 <i>Balneario Calientes</i> .....	127

## **LISTA DE MAPAS**

1. Mapa de Geología Regional
2. Mapa de Geología Local
3. Mapa de Geomorfología Regional
4. Mapa de Geomorfología Local
5. Plano Topográfico
6. Mapa de Pendiente
7. Mapa de Cobertura Vegetal
8. Mapa de Suelos
9. Mapa de Precipitación
10. Mapa de Altura de Inundación
11. Mapa de Elementos Expuestos
12. Mapa de Peligro
13. Mapa de Vulnerabilidad
14. Mapa de Riesgo

## **RESUMEN**

El presente estudio tuvo como objetivo principal la determinación del nivel de riesgo en el Balneario de Calientes, considerándose eventos de precipitaciones anómalas que pudieran generar desbordamientos del río Caplina, que se encuentra próximo a la zona de estudio.

Para el desarrollo de la evaluación de riesgos, se empleó la metodología de análisis multicriterio jerárquico propuesto por Saaty. En el cual se emplearon datos de campo procesados por nivel de importancia, se consideraron para este caso: topografía, geología, hidrología e hidráulica, para un periodo de retorno de 50 años y tirantes de flujo mayores a 2m en algunas áreas. Así mismo, también se realizó la cuantificación de la vulnerabilidad correspondientes a los distintos descriptores del Balneario de Calientes, así como para la población usuaria de los servicios que brinda este lugar turístico, esta evaluación tuvo como objetivo principal determinar los niveles de riesgo en la zona de estudio. Los resultados obtenidos del análisis de peligro en el área de estudio son un nivel de peligro medio en la zona de piscina y nivel bajo en el resto de la zona de balneario. Asimismo, se identificó un peligro medio por inundación fluvial en la zona de piscina y bajo en el resto del balneario, gracias a la presencia de una defensa ribereña. No obstante, se determinó una vulnerabilidad alta en todo el

Balneario de Calientes. Como resultado, el nivel de riesgo es alto en la zona de piscina y medio en las demás áreas del balneario.

Finalmente, considerando el análisis anterior se requiere implementar medidas estructurales como es el caso de diques transversales aguas arriba y no estructurales, como sistemas de alerta temprana y capacitaciones en Gestión de Riesgo de Desastres.

Palabras clave: Evaluación de riesgos, peligro, vulnerabilidad, medidas estructurales.

## **ABSTRACT**

The main objective of this study was to determine the risk level in the Calientes Spa, considering anomalous rainfall events that could cause flooding of the Caplina River, which is located near the study area.

The hierarchical multicriteria analysis methodology proposed by Saaty was used to develop the risk assessment. Field data were processed by level of importance. In this case, the following were considered: topography, geology, hydrology, and hydraulics, for a 50-year return period and flow depths greater than 2 m in some areas. Likewise, vulnerability quantification was also performed for the different descriptors of the Calientes Spa and for the population that uses the services provided by this tourist site, in order to determine the risk levels in the study area. The results obtained for the hazard level in the study area are medium in the pool area and low in the rest of the resort due to the current riverside defense structure. Likewise, a moderate flood hazard was identified in the pool area, and a low hazard in the rest of the spa, due to the presence of a riverbank protection structure. However, a high level of vulnerability was determined throughout the Balneario de Calientes. As a result, the risk level is high in the pool area and moderate in the remaining areas of the spa.

Finally, considering the above analysis, it is necessary to implement structural measures such as upstream transverse dikes and non-structural measures, such as early warning systems and training in Disaster Risk Management.

Keywords: Risk assessment, hazard, vulnerability, structural measures.

## INTRODUCCIÓN

Según Isla Zevallos (2018), se registran cada año en el Perú diferentes tipos de peligros de origen natural o antrópico, que causan un enorme impacto en la vida; y en los diferentes ámbitos tanto sociales, ambientales y económicos del país. Estadísticamente hablando, los reportes de emergencias y daños cada año van en aumento y más con la presencia del Fenómeno del Niño, la Niña y la pandemia, que representó un riesgo biológico, al que nadie estuvo preparado y que también dejó pérdidas incalculables en todos los ámbitos.

Tacna, al igual que otras regiones del país, ha enfrentado a lo largo de los años diversos eventos desastrosos en gran parte debido a la ausencia de estudio especializados en gestión de riesgos para la prevención de desastres. A ello se suma la falta de difusión de información actualizada referente al cambio climático, lo cual ha contribuido al aumento de eventos extremos, como intensas precipitaciones y procesos de desertificación acelerada. Un claro evento que dejó consecuencias importantes fue en febrero del 2019, donde se tuvieron fuertes precipitaciones anómalas por influencia del Fenómeno del Niño ocasionando pérdidas económicas y cese temporal de actividades para el Balneario de Calientes.

Así mismo, la presente investigación, busca dar como productos el mapa de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación fluvial para la zona del Balneario de Calientes, empleando la metodología propuesta por el CENEPRED y empleando softwares SIG e información como: geología, hidrología, morfología, entre otros.

La evaluación de riesgos a realizar dará como resultado la focalización de áreas de riesgo en el Balneario de Calientes y recomendará medidas que permitan mitigarlo.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Diagnóstico de la problemática**

Una evaluación de riesgos por desastres, es un instrumento que da como resultado un análisis que permite: cuantificar, calcular y controlar los riesgos obtenidos para determinados peligros. Así mismo, todo este proceso se realiza en favor de proteger los elementos a analizar, por ejemplo: viviendas, infraestructura vial e hidráulica, colegios, entre otros; que son considerados como elementos vulnerables. Actualmente, la incorporación de la gestión de riesgos en proyectos de inversión pública como de privados se ha vuelto una necesidad, que a su vez permite tener una reducción en los niveles de riesgos obtenidos para diferentes tipos de fenómenos de origen natural, que se sintetiza en una reducción de gastos en reparación de daños en viviendas, estructuras afectadas y demás.

En referencia a todo lo anterior, se debe considerar la presencia de eventos extraordinarios, como los mega niños en zonas áridas o semiáridas como es el caso de

nuestra región y provincia específicamente, representa una amenaza a nuestra vida y en la actividad diaria; por ejemplo en el distrito de Pachía tenemos sectores que brindan ingresos económicos a la región, como es el caso del Balneario de Calientes, que por su singularidad atrae una gran cantidad de turistas en épocas de inicio de año, así como los feriados largos. Sin embargo, se tienen reportes por parte de instituciones tecnológicas como en el caso de los emitidos por el ANA, INGEMMET e INDECI que muestran en el distrito de Pachía, Calana y Pocollay, se han once puntos críticos por inundación fluvial a lo largo de distintos tramos del cauce del río Caplina. Además, solo en nuestra área de estudio se encuentra ubicado uno de ellos; el cual ya tiene reporte de daños por ingresos anteriores al balneario y, que ha dejado como efectos pérdidas económicas y daños a la salud en algunas personas que trabajaban en el interior o que simplemente estaban en el lugar en el momento del siniestro.

Así mismo, para realizar una evaluación de riesgo por inundación de forma adecuada en la zona del balneario, es necesario contar con un parámetro técnico clave: el tirante de flujo o altura de inundación. Este dato permite estimar el posible nivel que alcanzaría el agua en caso de una crecida, y es fundamental para determinar el grado de afectación. Según lo indicado en la segunda versión del manual de CENEPRED, este parámetro es uno de los principales insumos para un análisis confiable. Adicional a esto, para la determinación del parámetro se trabajará con un modelamiento

hidráulico para un periodo de retorno de 50 años, según se tiene definido en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones que en su capítulo III Hidrología, ítem 3.6 Selección del Periodo de Retorno, Tabla N° 01 y Tabla N° 02, en el cual recomienda utilizar valores máximos de riesgo admisible y vida útil de las estructuras hidráulicas a proyectar, teniendo en consideración el tipo de obra, entre otros. Todo este procesamiento, facilitará obtener los niveles de peligro por inundación, el análisis de las zonas vulnerables en sus tres dimensiones (ambiental, social y económica) permitirá obtener los niveles de vulnerabilidad y en consecuencia la superposición de ambas capas determinará el nivel de riesgo de la zona.

Finalmente, este resultado permitió por consiguiente identificar las zonas de riesgo en sus diferentes niveles. Esta zonificación, permitió definir medidas de control y mitigación de riesgos que deberán ser implementados todo con la finalidad de proteger tanto a la estructura como a la población circundante.

## **1.2. Formulación del problema**

### ***1.2.1. Problema principal***

¿Es posible que exista riesgo por inundación fluvial desencadenado por el Fenómeno del Niño en la zona del Balneario de Calientes del distrito de Pachía?

### ***1.2.2. Problema específico***

- ¿Cuál es el nivel de peligro por inundación fluvial desencadenado por el Fenómeno del Niño en la zona del Balneario de Calientes?
- ¿Cuál es el nivel de vulnerabilidad en la zona del Balneario de Calientes?
- ¿Cuál es el nivel de riesgo por inundación fluvial desencadenado por Fenómeno del Niño en la zona de Balneario de Calientes?

### **1.3. Justificación de la investigación**

El incremento poblacional desmedido que se viene presentando a lo largo de los años a nivel de provincia y región en Tacna, ha dejado como consecuencia la ubicación de familias en zonas peligrosas, como lo son la población y servicios turísticos ubicados en las riberas del río Caplina, cuyo cauce ha sido reducido para ampliar el Balneario de Calientes y que lo ha expuesto a riesgo por inundación fluvial.

Así mismo, observamos en el área de estudio que la evolución morfológica del cauce del río Caplina a lo largo de los años ha dejado como resultado, la colmatación de sedimentos en la parte baja del cauce. Dejando como consecuencia, mayor predisposición a desbordamientos del río en temporadas de máximas avenidas. Actualmente, son escasos los estudios de evaluación de riesgos o planes de

contingencia que brinden medidas para que la población pueda actuar frente a un peligro inminente.

En relación a lo expuesto con anterioridad, se ve necesario la implementación de una evaluación de riesgos que permita especificar medidas que orienten a la prevención. Así mismo, deben recomendarse medidas correctivas para la zona de balneario que presenta antecedentes de desbordamientos con la finalidad de mitigar el riesgo.

Finalmente, se espera que los resultados aquí obtenidos, así como el modelo de estudio, permitan su aplicación en investigaciones con escenarios similares.

## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Realizar la Evaluación de Riesgo por Inundación Fluvial desencadenado por el Fenómeno del Niño, en la zona del Balneario de Calientes, distrito de Pachía – Tacna - Perú.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Determinar los niveles de peligro por inundación fluvial desencadenado por el Fenómeno del Niño en la zona del Balneario de Calientes del distrito de Pachía.

- Determinar los niveles de vulnerabilidad en la zona del Balneario de Calientes.
- Determinar los niveles de riesgo por inundación fluvial desencadenado por Fenómeno del Niño en la zona de Balneario de Calientes

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis general***

Si, es posible que exista riesgo por inundación fluvial desencadenado por el Fenómeno del Niño en la zona de Balneario de Calientes del distrito de Pachía.

### ***1.5.2. Hipótesis específica***

- Es posible que empleando mapas de peligro se pueda identificar el nivel de peligro por inundación fluvial desencadenado por el Fenómeno del Niño en la zona de Balneario de Calientes.
- Es posible que empleando mapas de vulnerabilidad se pueda identificar el nivel de vulnerabilidad por peligro de inundación fluvial desencadenado por el Fenómeno del Niño en la zona de Balneario de Calientes.
- Es posible determinar los niveles de riesgo originado por peligro de inundación fluvial desencadenado por el Fenómeno del Niño en la zona de Balneario de Calientes.

## 1.6. Variables e Indicadores

### 1.6.1. Independiente

- Peligro por inundación fluvial
- Vulnerabilidad del Balneario de Calientes

### 1.6.2. Dependiente

- Riesgo por inundación fluvial

Las variables e indicadores se presentan en la Tabla N°1 y 2.

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables independientes*

Variable Dependiente	Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Riesgo por Inundación Fluvial	Peligro de Inundación Fluvial	Estudio de Geología	Unidades Geológicas	Escala	Mapeo Geológico
			Unidades Geomorfológicas	Escala	
		Periodo de retorno	50 años	HEC-HMS	
		Precipitación máxima 24 horas	mm	Modelo Hidrológico	
	Vulnerabilidad por Inundación Fluvial	Estudio de Hidrología e Hidráulica	Zonas Inundables	m <sup>2</sup>	HEC-RAS
			Alturas de inundación	m	HEC-RAS
			Niveles de Peligro	Bajo, medio, alto y muy alto	Software SIG
			Levantamiento de Encuestas	Porcentaje	Encuestas
			Niveles de Vulnerabilidad	Bajo, medio, alto y muy alto	Software SIG
			Evaluación de las obras existentes		

*Nota.* La tabla muestra la distribución de las diferentes variables independientes empleadas para el desarrollo del estudio, adaptado de CENEPRED (2015).

**Tabla 2***Operacionalización de variable dependiente*

<b>Variable dependiente</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Instrumento</b>
Identificación de zonas de riesgo	Estimación del riesgo	Alturas de inundación (tirante de flujo)	m	Fichas de identificación
		Peligro por inundación fluvial (niveles)	Bajo, medio, alto y muy alto	Mapeo de los parámetros
		Vulnerabilidad (niveles)	Bajo, medio, alto y muy alto	Encuestas (levantamiento de información en campo)

*Nota.* La tabla muestra la distribución de las diferentes variables dependientes empleadas para el desarrollo del estudio, adaptado de CENEPRED (2015).

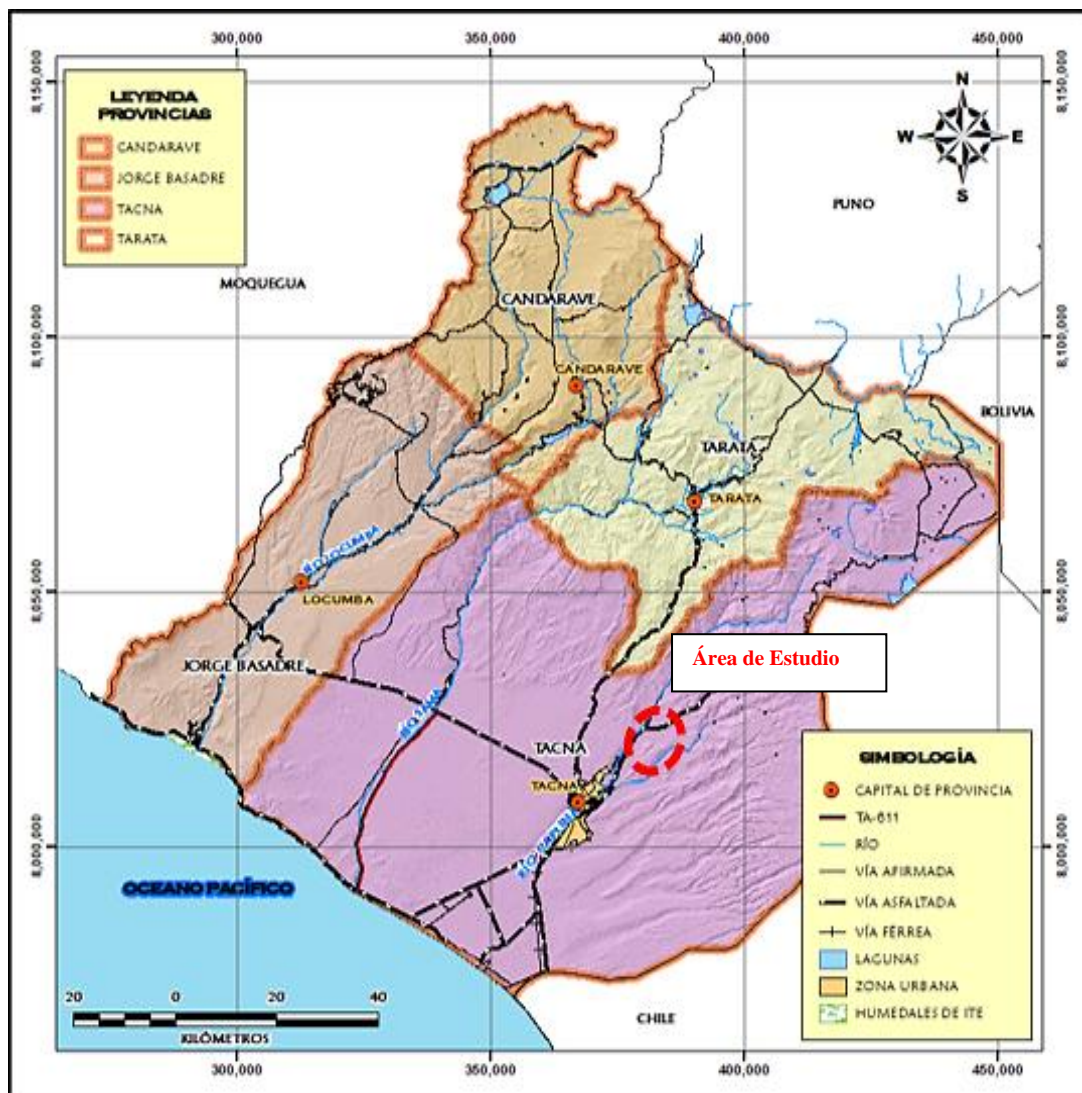
### **1.7. Ubicación**

La zona en estudio se encuentra ubicado en el Balneario de Calientes, en el distrito de Pachía-sector Calientes, geográficamente se ubica en la margen izquierda del cauce del río Caplina en el sistema de proyección UTM Datum WGS84 Zona 19 S, como se observa en la Figura N°1 y 2, y Tabla N°3.

El acceso principal a la zona de estudio se realiza partiendo desde el centro de la ciudad de Tacna (Paseo Cívico) en dirección noreste de la ciudad, rumbo al distrito de Pachía y llegando al Balneario de Calientes.

**Figura 1**

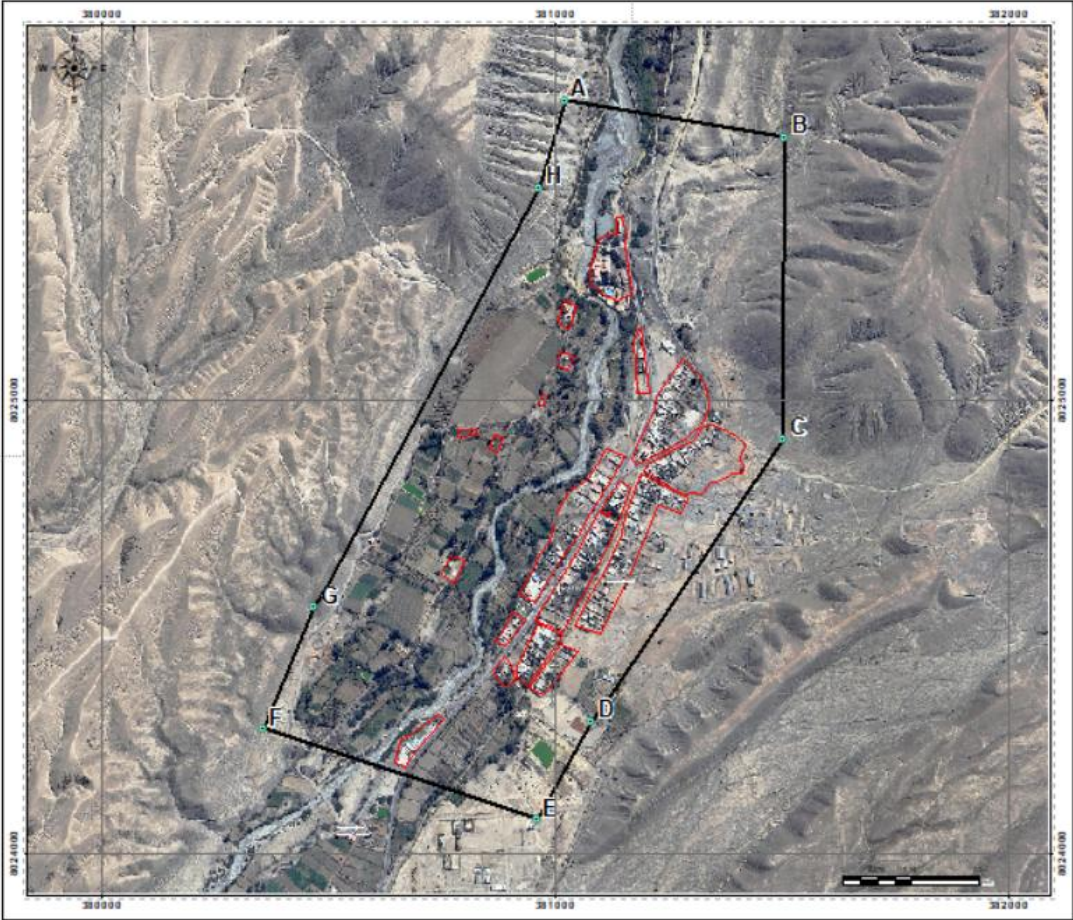
*Ubicación del área de estudio*



*Nota.* La figura muestra el área de estudio ubicado en el distrito Pachía, elaboración propia.

**Figura 2**

*Delimitación del área de estudio*



*Nota.* Se muestra la delimitación del área de estudio ubicado en el distrito Pachía, elaboración propia.

**Tabla 3***Coordenadas de delimitación de la zona de estudio*

PUNTO	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
A	381021,53	8025659,96
B	381507,30	8025579,53
C	381502,87	8024915,42
D	381081,41	8024293,67
E	380959,92	8024075,81
F	380356,67	8024276,89
G	380470,53	8024545,36
H	380965,21	8025468,16

*Nota.* Elaboración propia.

### **1.8. Accesibilidad**

El acceso se realiza a través de bus tomando la ruta 12 desde el centro comercial Tacna Centro y los lleva directamente al Balneario de Calientes, con un tiempo de 45 minutos aproximadamente. También se puede acceder tomando un carro particular o taxi la ruta desde el Paseo Cívico, siguiendo la avenida Bolognesi hasta el óvalo de Pocollay; ingresando luego por la avenida Celestino Vargas, continuando por la vía Tacna-Collpa -La Paz hasta el desvío a Palca, continuando en dirección del Balneario de Calientes, durante 30 minutos.

## **1.9. Clima y Vegetación**

En la cuenca Caplina existen dos tipos de climas bien marcados, el clima cálido-templado de la costa, desértico y con amplitud térmica moderada, y el clima frío-húmedo en la parte alta. (Peña et al., 2009, p.14)

Asimismo, la zona del Balneario de Calientes es más cálido considerando que la zona presenta la mayor parte del tiempo presencia de sol. Siendo más pronunciado durante las estaciones de primavera y verano, donde el calor abrasador confirma nuestra presencia dentro del gran desierto de Atacama

En su informe, la Autoridad Nacional del Agua (2018) especifica la presencia notoria de las precipitaciones anómalas en los meses de enero, febrero y marzo. De igual manera, la precipitación anual promedio máxima es de 85,94 mm y mínima de 13,33 mm, según el registro de la Estación Calientes para el 2017.

Finalmente, se infiere que la variación de la temperatura dentro de la cuenca Caplina, depende estrechamente de la altitud y la morfología de la zona principalmente, considerándose que a mayor altitud el clima tiende a ser significativamente más frío.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del área de estudio

##### 2.1.1. *Internacional*

**Fonseca Arias** (2018) en su tesis titulado “Zonificación de la amenaza y vulnerabilidad por inundación, mediante modelamiento espacial en el Sector Isla La Manga Municipio de Yopal, Casanare” determina que las intensas precipitaciones incrementan la carga hídrica en las cuencas de los ríos, lo cual puede desencadenar desbordamientos propiciando situaciones de amenaza. La delimitación de las zonas de amenaza y el análisis de la vulnerabilidad frente a inundaciones, se consideran procesos claves para la toma de decisiones en la planificación territorial y en los estudios orientados a la mitigación y gestión del riesgo en el país.

Utiliza como principales insumos de estudio a la hidrología y la hidráulica del cual obtiene información como, profundidad y velocidad del flujo, según las características de la pendiente. La clasificación del nivel de amenaza por inundación contempla tres niveles: bajo, medio y alto, el mapa generado a partir de la

superposición de capas mostrará zonas diferenciadas de acuerdo con cada uno de estos niveles de amenaza.

La metodología que presenta el autor se basa en técnicas, procedimientos y herramientas de un SIG (Sistema de Información Geográfica), que facilita una identificación más precisa de las áreas de amenaza y vulnerabilidad mediante un modelamiento espacial en el sector Isla La Manga en el Municipio de Yopal.

**Mora y Gilberto** (2016) en su tesis titulado “Modelamiento de zonas de inundación por medio de las herramientas Hec-Ras, Geo-Ras y ArcGis, para el sector comprendido entre los municipios de Corrales- Paz de río a lo largo del río Chicamocha, en el departamento de Boyacá” se realiza un estudio de modelamiento de zonas de inundación mediante el uso de herramientas de geoprocésamiento como lo son el Hec-Ras, Geo-Ras y ArcGis el cual tiene como factor detonante las altas precipitaciones. Para el modelamiento se empleó periodos de retorno de 5 ,20 ,50 y 100 años respectivamente, para tener un análisis de comportamiento mediante diferentes softwares presentando el Hec-Ras, suficiente altitud para las condiciones locales del estudio. Así mismo, se detectó que para un periodo de retorno de 5 años se prevé que el área a inundarse sea el 80 % de la zona urbana y llegue a inundarse al 100 % para un periodo de retorno de 100 años.

### **2.1.2. Nacional**

**IGP** (2021) en su estudio “Análisis y Evaluación Histórica de lluvias en la Región Tacna” realizó un estudio de Análisis y Evaluación Histórica de lluvias en la Región Tacna efectuada por el Instituto Geofísico del Perú en el cual, se tiene la identificación de algunos sectores de la región como zonas que tuvieron un impacto negativo por lluvias en años de grandes avenidas. Se considera al sector de Calientes como una zona vulnerable puesto que, en épocas de grandes avenidas el agua arrasó con varios caseríos, en algunos casos en su totalidad dejando como efecto pérdidas en cuanto a sembríos e incluso animales. Muchas familias tuvieron que estar a la intemperie durante al menos dos días sin víveres y sufriendo toda clase de angustias hasta recibir el apoyo necesario por parte de las entidades correspondientes.

**Y. Limachi y J. Limachi** (2020) en su tesis titulado “Análisis de vulnerabilidad para reducir los impactos adversos, a la captación del sistema de agua potable ante amenazas naturales en el distrito de Pachía-2020” presenta un análisis de vulnerabilidad para estructuras hidráulicas, como las captaciones de agua potable, tomando como objeto de estudio una muestra de 182 hogares en el distrito de Pachía. Así mismo, se emplea la Guía para la Evaluación del CENEPRED en el análisis de la vulnerabilidad en el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado. Finalmente, la prueba estadística de correlación de Pearson mostró una alta correlación positiva para la zona

de estudio, sugiriendo que realizar un análisis de vulnerabilidad podría ayudar a disminuir los efectos adversos en la captación del sistema de agua potable ante amenazas naturales en el distrito de Pachía.

**ANA** (2018) en su estudio “Identificación de puntos críticos con riesgo a inundación y erosión en el río” muestra la identificación de puntos críticos con riesgo a inundación y erosión en el río Caplina, en su reporte ubica dos puntos críticos ubicados identificados en el distrito de Pachía (San José), dos puntos en Calana y uno en Pocollay (Pago Peschay). Así mismo, el estudio muestra que solo se han considerado implementación de muros de control que no brindan una solución definitiva al riesgo por inundación.

**INGEMMET** (2016) en su estudio “Zonas Críticas por peligros geológicos en la región Tacna” hace mención a la identificación de peligros existentes en la provincia de Tacna, así mismo, según el estudio en el punto 25 del reporte realizado para el sector de Calientes se identifica que el área está sujeta a erosión fluvial en la margen izquierda del río Calientes e inundación en la margen derecha del río Calientes. Se identifica también que puede tener afectación importante los complejos turísticos como es el caso de los Baño Termales de Calientes, terrenos de cultivos, puentes, entre otros. Finalmente, se recomienda la limpieza del cauce, así como la prohibición de la construcción de viviendas dentro de la faja marginal del río.

**INDECI** (2007) según el estudio “Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante desastres de la Ciudad Tacna”, indica que durante el periodo de retorno de los dos últimos eventos de Fenómeno de El Niño (83 y 98) se evalúa a 50 años, tomando en cuenta investigaciones científicas sobre datos históricos y paleo climáticos. Así mismo, existe evidencia de la ocurrencia del Fenómeno El Niño más fuertes que los niños del siglo 20, que han sido catalogados como Mega niños. Estos eventos han venido afectando con los años toda la Costa peruana, provocando modificaciones profundas de valles y a la vez deja como efectos la presencia de inundaciones y huaycos que afectan zonas de cultivos, viviendas, entre otros.

**Ministerio de Agricultura** (2002) según su estudio “Evaluación y Ordenamiento de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Caplina y Uchusuma “se determina que según la Ley de Recursos Hídricos N° 29338 Artículo 74° los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales deben de tener la delimitación de una faja marginal del terreno como protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, los caminos de vigilancia entre otros servicios. Así mismo, se muestra que el secretario técnico de Defensa Civil de Pocollay, quien lanzó la alarma la noche del 15 de febrero del 2012, al asegurar que a partir de las 20:00 horas que el caudal del río Caplina fue el primero de 8m<sup>3</sup>/s y luego 12 y 14 hasta llegar a 35 m<sup>3</sup>/s, despertó la alarma de vecinos de Calana y Pocollay, que vieron como uno a uno de los puentes por

donde pasaba este río, fueron colapsando y dañando la infraestructura de defensas ribereñas que protegían los cultivos ubicados en zonas aledañas al río Caplina mostrándose así que existe un riesgo por inundación a lo largo de cauce del río Caplina.

## **2.2. Inundación**

Según Cruz et al. (2005), las inundaciones se producen cuando lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de retención e infiltración del suelo, dando como resultado que el cauce desborde e inunde terrenos cercanos a los cursos de agua.

Las inundaciones se pueden clasificar según su duración y su origen.

### **2.2.1. Según su duración**

#### **2.2.1.1. Inundaciones rápidas o dinámicas**

Según Cruz et al. (2005), definen que este tipo de inundación suele presentarse en ríos de montaña o en áreas con pendientes pronunciadas, a consecuencia de lluvias intensas. Asimismo, estas inundaciones rápidas son las que causan mayores daños a la población en comparación a otros tipos.

#### **2.2.1.2. Inundaciones lentas o estáticas**

Según Cruz et al. (2005), definen que este tipo de inundación ocurre cuando lluvias prolongadas y generalizadas provocan un aumento en el caudal del río,

superando su capacidad de transporte. Como resultado, el río desborda e inunda áreas adyacentes.

## **2.2.2. *Según su origen***

### **2.2.2.1. Inundaciones pluviales**

Según Cruz et al. (2005), definen que este tipo de inundación resulta de la acumulación de agua de lluvia en un área específica, sin requerir el desbordamiento de un cauce fluvial. Se origina tras lluvias intensas o continuas, es decir, por la acumulación de grandes cantidades de lluvia en un corto periodo o por la caída de lluvias moderadas durante un largo tiempo sobre suelos de baja permeabilidad.

### **2.2.2.2. Inundaciones fluviales**

Según Cruz et al. (2005), definen que este tipo de inundación es producido por el desbordamiento de ríos y arroyos, lo cual es causado por un aumento repentino en el volumen de agua que excede la capacidad del cauce para transportarla sin desbordarse, durante lo que conocemos como crecida provocada por un exceso de lluvias.

## **2.3. Cuantificación de la Inundación**

Para efectos del desarrollo de la presente tesis es necesario conocer los siguientes conceptos:

### **2.3.1. Hidrología**

Villón (2004) sostiene que: “la Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su origen, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y física y su relación con el medio ambiente, incluidos los seres vivos”. (p.21)

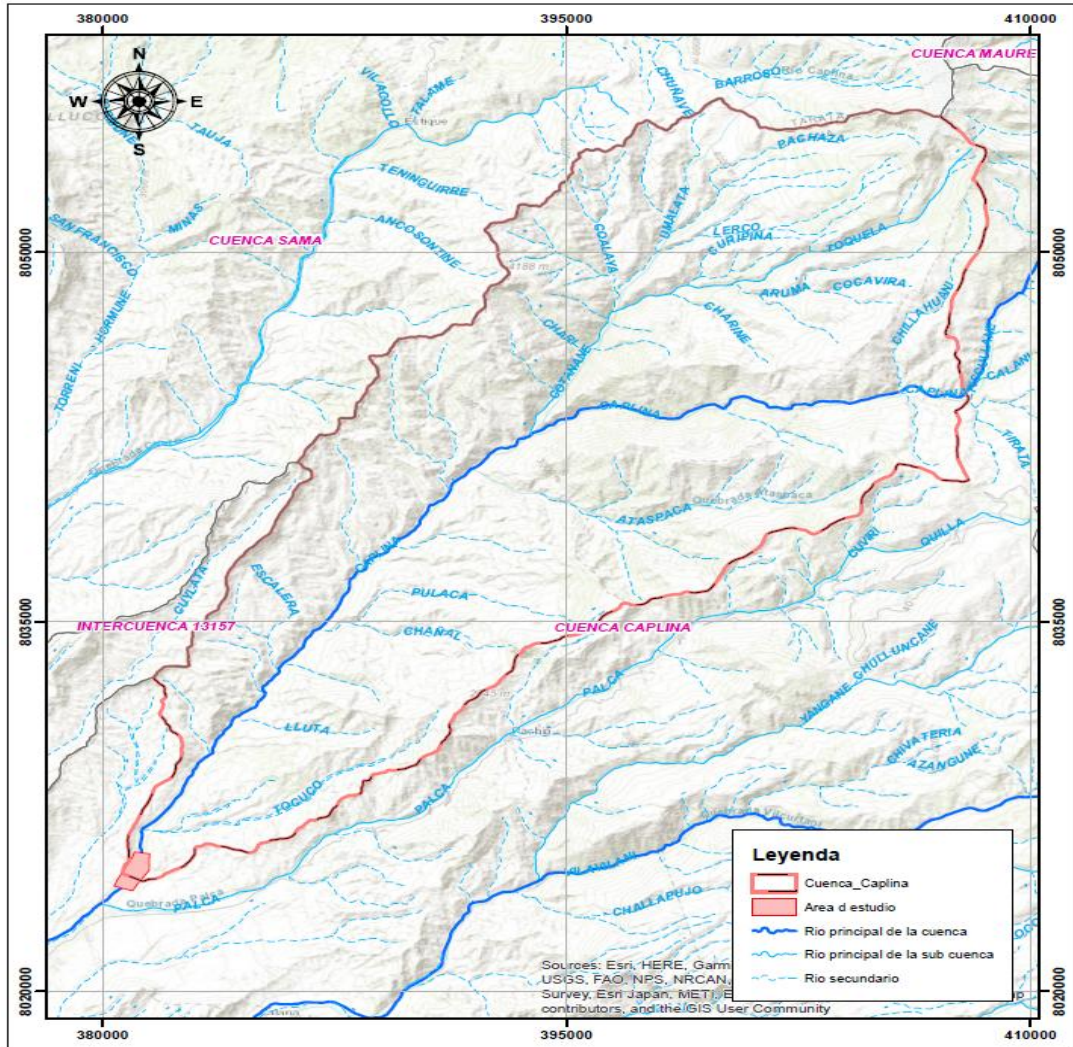
#### **2.3.1.1. Factores Hidrológicos y Geológicos que inciden en el Diseño hidráulico**

De acuerdo al MTC (2011), se consideran los siguientes factores importantes para el diseño hidráulico como son:

- Tamaño de cuenca, que estará determinado por factores como son las condiciones topográficas, climáticas, fisiográficas, la cobertura vegetal, el manejo del suelo y la capacidad de almacenamiento.
- Factores geológicos e hidrogeológicos, así como la presencia de áreas susceptibles a ser afectadas por fenómenos de geodinámica externa de origen hídrico. (p. 20)

**Figura 3**

*Delimitación y Ubicación de Unidades Hidrográficas Mayores*



*Nota.* Se muestra la distribución de la cuenca Caplina que es la que evidencia en nuestra zona de estudio, elaboración propia.

En la Figura 3, se muestra la delimitación de la Cuenca Caplina y sus principales redes de drenaje, estos son aportes para el cauce del río principal.

### ***Área y Perímetro***

Según Villón (2004), la superficie o área proyectada de una cuenca de forma irregular, se obtiene después de realizar la delimitación de una cuenca.(p.23) Asimismo, el área de la cuenca es de gran importancia que permite definir factores como, tiempos de escurrimiento, coeficiente de escorrentía, caudales, entre otros. Siendo este último el más susceptible a cambios, ya que su variación está directamente relacionada con el crecimiento proporcional de ambos. Además, una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en cuenca grande y cuenca pequeña. (p.22)

Sin embargo, según Campos Aranda (1992), la clasificación de cuencas se establece en función del área en km<sup>2</sup>, como se detalla en la Tabla 4:

**Tabla 4**

*Clasificación de tamaños de cuencas*

<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia - pequeña
500 a 2500	Intermedia - grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

*Nota.* Se muestra la clasificación según área en km<sup>2</sup>, Campos Aranda (1992).

Según Villón (2004), el criterio aplicado para el análisis de una cuenca pequeña no guarda similitud para cuencas grandes, es decir por cada tipo se tendrán procedimientos independientes. En las cuencas pequeñas, la forma y el volumen de escurrimiento dependen principalmente de las propiedades físicas del suelo, por lo que el estudio hidrológico deberá centrarse principalmente en la cuenca. Caso contrario para cuencas grandes, el almacenamiento en el cauce significa un factor esencial, por lo que también se debe prestar especial atención a las características del cauce. Asimismo, el autor antes referenciado plantea en su libro que, con el fin de establecer grupos de cuencas hidrológicamente semejantes, se estudian una serie de características físicas en cada cuenca. (p.23)

- Superficie
- Topografía
- Altitudes características
- Geología y suelos
- Cobertura vegetal

En nuestra área de estudio, las áreas y perímetros de las unidades hidrográficas delimitadas en la zona de estudio varían de 0,002 km<sup>2</sup> a 500 km<sup>2</sup>, clasificadas como Microcuencas y cuenca intermedia. Sus perímetros varían 0,266 km a 145,11 km.

***Coefficiente de Compacidad de Gravelius (Kc)***

Según Villón (2004), plantea que el índice de compacidad , trata de la relación que existe entre el perímetro y el área de una cuenca en la escorrentia. Asimismo, se considera la siguiente expresión para la determinación del coeficiente de compacidad de Gravelius.(p.42)

$$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

Kc: Coeficiente de Compacidad de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

**Tabla 5**  
*Clasificación del Coeficiente de Compacidad de Gravelius*

<b>Kc</b>	<b>Clasificación</b>
1,00 a 1,25	Casi redonda a oval-redonda
1,25 a 1,50	Oval redonda a oval-oblonga
1,50 a 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1,75	Rectangular

*Nota.* Se muestra la clasificación del coeficiente de Gravelius para diferentes casos, Gaspari et al. (2012).

El coeficiente de compacidad, varía de 1,39 a 2,31, clasificadas como redonda a oval oblonga a rectangular.

***Factor de Forma (Ff)***

Según Villón (2004), el índice o factor de forma de una cuenca es la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud. Asimismo, una cuenca tiene una forma más alargada si el factor de forma se aproxima a cero, mientras que se vuelve más redondeada conforme este factor se acerca a uno. El factor de forma está definido por la siguiente expresión:

$$F_f = \frac{A}{L_c^2} \dots \dots \dots (2)$$

$F_f$ : Factor de forma

A: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

Lc: Longitud del cauce principal (Km)

**Tabla 6**

*Clasificación de valores del factor de forma*

<b>Ff</b>	<b>Clasificación</b>
<0,22	Muy alargada
0,22 – 0,30	Alargada
0,30 – 0,37	Ligeramente alargada
0,37 – 0,45	Ni alargada ni ensanchada
0,45 – 0,60	Ligeramente ensanchada
0,60 – 0,80	Ensanchada
0,80 – 1,12	Muy ensanchada
> 1,20	Redondeado

*Nota.* Se muestra la clasificación según factor de forma para diferentes casos, Horton (1932).

El factor forma, varía de 0,05 a 56,73; clasificadas como muy alargada a redondeado.

***Pendiente Media del Cauce Principal (Sm)***

Según Villón (2004), la pendiente media del cauce principal es un parámetro muy importante, en el estudio de comportamiento de los recursos hídricos. Es fundamental identificar el cauce principal de la cuenca y calcular su longitud y pendiente, para evaluar su respuesta ante lluvias. La pendiente afecta la velocidad del flujo, el tiempo de recorrido y, por ende, la forma del hidrograma (Ver la clasificación de la pendiente en la Tabla 7).

$$\%Sm = \frac{H_{max}-H_{min}}{L_c} * 100 \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

$S_m$  = Pendiente Media del Cauce Principal (m/m)

$H_{max}$  = Cota Máxima (m)

$H_{min}$  = Cota Mínima (m)

$L_c$  = Longitud del cauce principal (m)

**Tabla 7**

*Clasificación de pendiente media del cauce principal*

<b><math>S_m</math> (%)</b>	<b>Clasificación</b>
>1	Suave
>5	Media
>20	Alta
>50	Pronunciada

*Nota.* Clasificación según porcentaje de pendiente media, MTC (2011).

La pendiente media del cauce principal, varía de 6 % a 86 %, clasificadas como media a pronunciada.

Finalmente, en la Tabla 8, se muestran los principales parámetros morfométricos de las unidades hidrográficas mayores:

**Tabla 8***Resumen de datos hidrológicos*

<b>Unidad Hidrográfica</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro (Km)</b>	<b>Longitud de la Qda. Principal (m)</b>	<b>Pendiente (m/m)</b>	<b>Índice de Compacidad (Kc)</b>	<b>Factor de forma (Ff)</b>
Caplina	500,93	145,11	3 993	0,08	1,83	0,05

*Nota.* Descripción de los datos hidrológicos definidos para la unidad hidrográfica Caplina, GRT (2021).

### **2.3.1.2. Estudios de Campo**

Según la MTC (2011), deben efectuarse con el propósito de identificar, obtener y evaluar información referida a condiciones topográficas e hidrológicas del área de estudio. Así mismo, el estudio de campo permite identificar y evaluar los sectores críticos actuales y potenciales, de origen hídrico como deslizamientos, derrumbes, erosiones, huaycos, áreas inundables, asentamientos, entre otros.

Finalmente, es necesario evaluar las condiciones de las estaciones pluviométricas e hidrométricas, así como la consistencia de los datos registrados.

### **2.3.1.3. Evaluación de la Información Hidrológica**

Según la MTC (2011), debido a la falta de datos hidrométricos y pluviométricos y a la ausencia de instrumentación en la mayoría de las cuencas hidrográficas del país, suelen emplearse métodos indirectos para estimar el caudal de diseño. Dependiendo de la información disponible, se selecciona el método más adecuado para calcular el

caudal, el cual se verifica con observaciones en el punto de interés, como las mediciones de marcas de agua de crecidas significativas.

#### **2.3.1.4. Área del Proyecto-Estudio de las Cuencas Hidrográficas**

Según la MTC (2011), el estudio de cuencas está orientado a determinar sus características hídricas y geomorfológicas respecto a su aporte y el comportamiento hidrológico. Asimismo, es importante determinar las características físicas de las cuencas como son: el área, forma de la cuenca, sistemas de drenaje, características del relieve, suelos, entre otros. Estas características dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, entre otros), los tipos de suelos, la cobertura vegetal, la geología, las prácticas agrícolas, entre otros. Estos elementos físicos proporcionan la más conveniente posibilidad de conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico. (pp.22-23)

#### **2.3.1.5. Selección del Periodo de Retorno**

Según la MTC (2011), se define como Periodo de Retorno “T” el tiempo promedio, en años, en el que el caudal pico de una crecida específica es igualado o superado una vez cada “T” años. Asumiendo independencia entre eventos anuales, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de “n” años. Se debe considerar la conexión entre la probabilidad de que un evento exceda el diseño, la duración de la estructura y el riesgo de falla permitido, que varía según factores

económicos, sociales, técnico y adicionales. El criterio de riesgo se basa en establecer, previamente, el nivel de riesgo aceptable si la estructura fallara durante su vida útil, evitando así que ocurra un evento de mayor magnitud al estimado en cada uno de los años de la obra. (pp.23-24) Asimismo, el riesgo de falla admisible en función del periodo de retorno y vida útil de la obra dado por la siguiente expresión:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \dots\dots\dots (4)$$

**Tabla 9**

*Valores máximos recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje*

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (**)
Puentes (*)	25
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Sub drenes	40
Defensas Ribereñas	25

*Nota.* (\*) Para este caso se recomienda usar un periodo de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación. (\*\*) Esta columna muestra la Vida Útil considerado (n) MTC (2011).

Según el ANA (2016), en el artículo 9, sobre Modelamiento Hidráulico, establece las siguientes recomendaciones para la determinación de caudales máximos:

- En el caso de cauces naturales próximos a zonas de terrenos agrícolas: se considera un periodo de retorno de 50 años.
- En el caso de cauces naturales próximos a zonas de asentamientos poblacionales se adopta un periodo de retorno de 100 años.”

#### **2.3.1.6. Análisis estadístico de datos hidrológicos**

##### ***Modelos de distribución***

Según la MTC (2011), se emplean diferentes modelos probabilísticos los cuales se describen a continuación:

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal 2 parámetros
- Distribución Log Normal 3 parámetros
- Distribución Gamma 2 parámetros
- Distribución Gamma 3 parámetros
- Distribución Log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Gumbel

### ***Pruebas de bondad de ajuste***

Según la MTC (2011), las pruebas de bondad de ajuste son técnicas estadísticas que sirven para comprobar si un conjunto de datos proviene de una distribución específica, evaluando si la muestra es independiente de esa distribución seleccionada. (p.30)

En la teoría estadística, las pruebas de bondad de ajuste más conocidas son:

- Prueba  $X^2$
- Kolmogórov-Smirnov

#### **2.3.1.7. Determinación de la Tormenta de Diseño**

Según la MTC (2011), uno de los primeros pasos en muchos proyectos de diseño es la determinación del evento de lluvia a usar. Considerando, que las tormentas de diseño pueden fundamentarse en datos históricos de una determinada área o construirse a partir de las características generales de la precipitación en zonas cercanas. Su aplicación abarca desde el uso de datos puntuales de precipitación mediante el método racional para calcular caudales máximos en sistemas de alcantarillado y drenaje vial, hasta la utilización de hietogramas de tormenta como parámetros para el análisis de lluvia - escorrentía en embalses destinados a la retención de aguas urbanas.

### ***Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia***

Según la MTC (2011), “las curvas intensidad – duración – frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno”. (p.34)

Asimismo, Villon (2004) sostiene que:

- La intensidad, es la cantidad de precipitación acumulada en un periodo de tiempo determinado. En cada tormenta, lo más importante es la intensidad máxima alcanzada, que corresponde a la mayor cantidad de agua caída por unidad de tiempo. De acuerdo a esto la intensidad se expresa así:

$$i_{max} = \frac{P}{t} \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

$i_{max}$ : intensidad

p: precipitación

t: tiempo

- La duración, se refiere al periodo de tiempo que transcurre desde el inicio hasta el final de la tormenta.

- La frecuencia, se refiere a la cantidad de veces que ocurre una tormenta con características específicas de intensidad y duración dentro de un periodo de tiempo determinado, generalmente expresado en años.
- Periodo de retorno, corresponde al intervalo promedio en el que un evento de magnitud x tiene la posibilidad de igualarse o ser superado al menos una vez. Este valor es el inverso de la frecuencia. (pp.87-88)

$$T = \frac{1}{f} \dots \dots \dots (6)$$

En nuestro país, debido a la limitada disponibilidad de datos pluviográfica, elaborar estas curvas resulta complicado. Por lo general, solo se disponen datos de lluvias máximas durante 24 horas, por lo que, la intensidad máxima de la precipitación pluvial se calcula a partir de la precipitación máxima en 24 horas, multiplicada por un coeficiente de duración. La siguiente tabla presenta los coeficientes de duración que pueden utilizarse, con precaución y criterio, para calcular la intensidad cuando no se cuenta con información más detallada.

**Tabla 10***Coefficientes de duración de lluvias entre 48 horas y una hora*

<b>DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN HORAS</b>	<b>COEFICIENTE</b>
1	0,25
2	0,31
3	0,38
4	0,44
5	0,50
6	0,56
8	0,64
10	0,73
12	0,79
14	0,83
16	0,87
18	0,90
20	0,93
22	0,97
24	1,00
48	1,32

*Nota.* La tabla muestra el coeficiente obtenido para diferentes horas de precipitación. MTC (2011).

### **2.3.1.8. Tiempo de Concentración**

Según Villón (2004), el tiempo de concentración es el periodo que pasa desde que una gota de agua cae en el punto más distante de la cuenca hasta llegar a la estación de aforo en su salida. Este tiempo depende de diversas características geográficas y topográficas de la cuenca. Asimismo, se sugiere que el cálculo debe incluir los escurrimientos en el terreno, canales, cunetas y los recorridos dentro de la misma

estructura diseñada. Factores como las dimensiones, pendientes, vegetación y otras características de la cuenca tributaria influyen en la variación de este tiempo. (pp.251-252)

Según la MTC, el tiempo de concentración en un sistema de drenaje pluvial se define por la siguiente fórmula. (pp.38-39)

$$T_c = t_o + t_f \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

$T_o$ : tiempo de entrada

$T_f$ : tiempo de flujo hasta el punto de interés =  $\sum L_i/V_i$

Existen varios métodos para calcular el tiempo de concentración:

- Kirpich
- California Culverts Practice
- Izzard
- Federal Aviation Administration
- Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley
- Ecuación de retardo SCS

### **2.3.1.9. Hietograma de Diseño.**

#### ***Método del Bloque Alterno***

Según la MTC (2011), el método del bloque alternativo es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva – duración - frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en “n” intervalos de tiempo sucesivos de duración  $\Delta t$ , sobre una duración total de  $T_d = n \cdot \Delta t$ . (p.41)

### **2.3.1.10. Precipitación total y efectiva.**

Según la MTC (2011), la precipitación efectiva o exceso de precipitación ( $P_e$ ) es la cantidad de lluvia que no se retiene en la superficie ni se infiltra en el suelo. Tras recorrer la superficie de la cuenca, este exceso se convierte en escorrentía directa que fluye hacia la salida de la cuenca, este exceso se convierte en escorrentía directa que fluye hacia la salida de la cuenca, bajo la suposición de un flujo superficial hortoniano. Los hietogramas que relacionan el exceso de precipitación con el tiempo son fundamentales para analizar la relación lluvia-escorrentía. La diferencia entre el hietograma de precipitación total y el hietograma de exceso de precipitación se denomina abstracciones o pérdidas, los cuales corresponden principalmente al agua absorbida por filtración, con una menor contribución de la intercepción y el almacenamiento superficial. Asimismo, el hietograma de exceso de precipitación

puede calcularse a partir del hietograma de precipitación en una o dos formas, dependiendo de si existe o no información de caudales disponibles para la tormenta. (p.42)

#### **2.3.1.11. Estimación de Caudales.**

Según la MTC (2011), cuando se dispone de suficientes datos de aforo, se lleva a cabo un análisis estadístico de los caudales máximos instantáneos anuales en la estación más cercana al punto de interés. Los caudales se determinan para los periodos de retorno de interés (comúnmente 2, 5, 10, 20, 50, 100 y 500 años) mediante el uso de distribuciones como la log-normal, los-Pearson III y Valor Extremo Tipo I (Gumbel). En ausencia de datos de aforo, se utilizan los datos de precipitación como entrada para la cuenca. El proceso comienza con la humedad progresiva del terreno, donde parte del agua se infiltra en el subsuelo, y después de un tiempo, este flujo se convierte en escorrentía superficial. (p.48)

A continuación, se presentan algunas metodologías:

- Método IILA
- Método Racional
- Hidrograma Unitario
- Sistema de Modelamiento Hidrológico (HMS-Hydrologic Modeling System)

- Otras Metodologías

En este ítem explicaremos a detalle la metodología empleada para el presente estudio:

***Sistema de Modelamiento Hidrológico (HMS-Hydrologic Modeling System)***

Según la MTC (2011), el Sistema de Modelado Hidrológico es una aplicación desarrollada por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. Además, empleando el modelo HEC-HMS, se puede simular la respuesta que tendrá la cuenca de un río en su escurrimiento superficial, considerando como efecto de las precipitaciones. Cada uno de los componentes que conforman el software antes nombrado, modela un aspecto del proceso de escurrimiento de precipitaciones lo que denominamos subcuenca. Asimismo, la representación de un componente requiere un conjunto de parámetros que especifiquen las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen el proceso físico.

El manual plantea que el resultado del modelamiento es el cálculo de los hidrógrafos del flujo

Por último, para emplear este programa, es necesario contar con la siguiente información:

- Características de la precipitación, la intensidad se obtiene de las curvas I-D-F, o puede ajustarse utilizando los métodos mencionados previamente. Es importante que las precipitaciones parciales se introduzcan en intervalos regulares.
- Características de la cuenca (Área, forma, longitud del cauce principal, centro de gravedad, pendiente media del terreno, cobertura vegetal, tipo de precipitación, entre otros).

Finalmente, la MTC (2011), sugiere que al emplear el HEC-HMS, se deben integrar todos los elementos que forman parte del sistema. (p.59)

#### **2.3.1.12. Avenida de Diseño.**

Según la MTC (2011), la avenida de diseño es el caudal que se escoge, mediante diversas consideraciones, para dimensionar un proyecto (o una parte de él). Para su determinación se usa la información básica proporcionada por el estudio hidrológico y se incorporan los conceptos correspondientes a riesgo, vulnerabilidad, importancia y costo de obra y muchos otros más, como por ejemplo el tipo de río y de puente. Asimismo, la avenida de diseño debe escogerse de modo de garantizar la estabilidad del río y del puente y teniendo en cuenta la evaluación de los daños potenciales involucrados en una potencial falla. Además, se debe tener en cuenta además que los dos últimos mega niños (1983 y 1998), tuvo como característica, desde el punto de

vista hidrológico y en relación con la estabilidad de las estructuras, es la aparición de avenidas de larga duración, de varios días. (pp.65-66)

### 2.3.2. *Hidráulica*

Según la MTC (2011), el objetivo principal en el diseño hidráulica es determinar la sección hidráulica más adecuada que permita el paso libre del flujo líquido y flujo solido que eventualmente transportan los cursos naturales y conducirlos adecuadamente. (p.68) Asimismo, para el modelo HEC-RAS se realizan cálculos de niveles de agua utilizando la ecuación de la energía. Según, como se muestra en la ecuación 8.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H \dots \dots \dots (8)$$

Donde:

$Z_n + \frac{P_n}{\gamma}$	m	Nivel de la superficie libre de agua en los extremos del tramo.
$V_n$	m	Velocidad media en la sección mojada en los extremos del tramo.
$\alpha_1, \alpha_2$	m	Coficiente de la no-uniformidad de distribución de las velocidades en la sección mojada.
$g=9,81$	m/s <sup>2</sup>	Aceleración por gravedad.
$\Delta H$	m	Total, de pérdidas de energía en el tramo del curso de agua considerado en el cálculo, de una longitud L.

Para la aplicación del modelo matemático el manual de la MTC, ha empleado el Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos HEC-RAS. Este software realiza cálculos hidráulicos para cursos de agua naturales o artificiales en una sola dirección (unidimensional) y también incluye métodos para simular los efectos de las estructuras hidráulicas. Puede gestionar una red completa de canales, analizar ubicaciones individuales en un río y modelar perfiles en condiciones subcríticas, supercríticas o mixtas.

#### **2.3.2.1. Premisas para el estudio.**

##### ***Estudio de cuencas hidrográficas***

Según la MTC (2011), se consideran las cuencas hidrográficas que intersecan en el área de estudio para determinar los caudales de diseño y los efectos de crecidas. Se deberá especificar la superficie, pendiente y longitud del cauce principal, forma, relieve, tipo de cobertura vegetal, calidad y uso de suelos, además de los cambios realizados por el ser humano, tales como embalses u otras obras de cruce que pueden alterar significativamente las características del flujo. (p.69)

##### ***Características del cauce***

Según la MTC (2011), se consideran las características del lecho, tales como forma, tipo de suelo, tipo de cobertura vegetal, tipo de material de arrastre, solidos

flotantes, fenómenos de geodinámica externa y otros factores que inciden en el tamaño y la durabilidad de la obra de cruce. (p.69)

#### ***Datos de crecidas***

Según la MTC (2011), el proceso de determinación se realizará conforme a las metodologías detalladas en el ítem anterior, complementándose con el análisis de las marcas dejadas por crecidas o eventos pasados. Además, se recopilará la información de la población cercana para obtener datos adicionales de campo. (p.69)

#### ***Evaluación de obras de drenajes existentes***

Según la MTC (2011), la evaluación del comportamiento desde el punto de vista hidráulico estructural de estructuras ubicadas aguas arriba o aguas abajo de la estructura proyectada es de mucha utilidad, porque permite contar con información relevante para lograr diseños adecuados, tomando en cuenta su funcionamiento ante la presencia de procesos geomorfológicos como erosión, sedimentación u otros fenómenos, a los que han estado sometidas. (p.70)

### **2.4. Metodología de la Evaluación de Riesgos de Desastres**

Según CENEPRED (2015), la evaluación del riesgo de desastres es uno de los instrumentos de la Gestión de Riesgo del Desastre que nos permite cuantificar y cualificar elementos: deslizamientos, sismos, inundaciones, erupciones volcánicas, entre otros. Empleando diferentes metodologías, siendo la más utilizada la del método

multicriterio de Saaty, que permite determinar en niveles la vulnerabilidad, peligrosidad y el riesgo.

#### **2.4.1. Clasificación del peligro**

Se realizará la clasificación del peligro según el manual de la versión 2 del

CENEPRED:

- a. Peligros generados por fenómenos de origen natural
  - Originados por Fenómenos de Geodinámica Interna
  - Originados por Fenómenos de Geodinámica Externa
  - Originados por Fenómenos Hidrometeorológicos y Oceanográficos
- b. Peligros generados por acción humana
  - Peligros Físicos
  - Peligros Químicos
  - Peligros Biológicos

#### **2.4.2. Método Multicriterio de Saaty**

Según CENEPRED (2015), para implementar la metodología, es necesario incorporar criterios cuantitativos (infraestructura expuesta, pérdidas humanas, económicas, entre otros) y cualitativos (programas de capacitación, creación o aplicación de la normatividad, entre otros) para posteriormente realizar una ponderación por nivel de importancia.

La matriz que se forma es una matriz cuadrada es decir el mismo número de filas y columnas.

La notación matemática sería:  $A=A_{ij}$

Para el cálculo de los pesos ponderados:

Primero: Se construye la matriz de comparaciones pareadas, el que denotaría la comparación entre criterios, sub criterios o descriptores según sea el caso. Para la ponderación de criterios esta matriz nos permite determinar la importancia de un criterio respecto a otro.

La matriz mantiene la siguiente forma que es equivalente a A.

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Sumamos verticalmente los elementos de cada columna según se muestra en la ecuación 9.

$$v_1, v_2, \dots, v_n = \sum_{i=1}^n a_i \dots \dots \dots (9)$$

Segundo: Construimos la matriz de comparaciones normalizada. El cual se obtiene de dividir cada elemento de matriz entre la suma obtenida.

La matriz mantiene la siguiente forma que es equivalente a  $A_{NORMALIZADA}$

$$\begin{pmatrix} 1/v_1 & a_{12}/v_2 & \dots & a_{1n}/v_n \\ a_{21}/v_1 & 1/v_2 & \dots & a_{2n}/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1}/v_1 & a_{n2}/v_2 & \dots & 1/v_n \end{pmatrix}$$

Tercero: El siguiente paso consiste en obtener el vector prioridad el cual nos mostrará los pesos ponderados de cada criterio a partir de la matriz normalizada:

Para ello se calcula el vector columna p:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{1j} \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{2j} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{nj} \end{pmatrix}$$

Y se obtiene el vector de prioridades de los criterios p:

$$\begin{pmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ p_{c1n} \end{pmatrix}$$

Se debe indicar que la suma de los elementos del vector prioridad debe ser igual a 1 como se muestra en la ecuación 10.

$$\sum_{i=1}^n p_{c1i} = p_{c11} + p_{c12} + \dots + p_{c1n} = 1 \dots\dots\dots (10)$$

**Para el cálculo de la Relación de Consistencia (RC):**

Se pasa a la verificación de la posible existencia de consistencia entre los juicios expresados.

Primero: Multiplicar cada valor de la primera columna de la matriz de comparación pareada por la prioridad relativa del primer elemento que se considera y así repetir el proceso. Se deben sumar los valores sobre las filas para obtener un vector de valores, el valor obtenido será denominado Vector Suma Ponderada (VSP).

$$\begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} p_{c11} \\ p_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ p_{c1n} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} VSP_{11} \\ VSP_{12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ VSP_{1n} \end{pmatrix}$$

Segundo: Dividir los elementos del vector de suma ponderada entre el correspondiente valor de prioridad para cada uno de los criterios:

$$\begin{pmatrix} VSP_{11}/p_{c11} \\ VSP_{12}/p_{c12} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \frac{VSP_{1n}}{p_{c1n}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \lambda_n \end{pmatrix}$$

Tercero: Posteriormente se determina la  $\lambda_{max}$  empleando la ecuación 11.

$$\lambda_{max} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)/n \dots\dots\dots (11)$$

Esto nos permite hallar el índice de consistencia

Cuarto: Calcular el índice de consistencia (IC):

$$IC = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \dots\dots\dots (12)$$

Esto permite hallar la relación de consistencia de la matriz y poder verificar si es correcta la ponderación.

Quinto: Determinar la relación de consistencia (C):

$$RC = IC/IA \dots\dots\dots (13)$$

Donde IA es el Índice Aleatorio de una Matriz de Comparaciones Pareadas, generada como su nombre sugiere de forma aleatoria.

Los valores del Índice Aleatorio para los diferentes “n”, obtenidos mediante la simulación de 100 000 matrices (Aguaron y Moreno, 2001) son:

**Tabla 11**

*Índice Aleatorio de una matriz según diferentes valores*

N	3	4	5	6	7	8	9
IA	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452
N	10	11	12	13	14	15	16
IA	1,484	1,513	1,535	1,555	1,570	1,583	1,595

*Nota.* Esta tabla muestra que para n matrices se obtiene diferentes valores de índice aleatorio, CENEPRED (2015).

### **Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ):**

Este método fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty (1980) diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples, que les permite a los especialistas del área estructurar el problema de manera visual.

El punto central del PAJ es la ponderación de los parámetros y descriptores relacionados con una decisión y la calificación final de las diferentes alternativas respecto de los criterios seleccionados.

Para la estimación del valor de la importancia relativa de cada uno de los indicadores se recurre a una metodología de comparación de pares, en este caso se empleó el PAJ (Saaty, 1990) por sus ventajas, flexibilidad y por la facilidad de involucrar a todos los actores en el proceso de decisión. (Garfi et al.,2011)

Así mismo, la implementación de este análisis en un SIG como es el caso de programas como el ArcGIS permitirá acelerar el proceso de resultados.

#### **2.4.3. *Determinación del Riesgo***

Según Carreño et al. (2005), el riesgo se define como el resultado de combinar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, lo cual permite identificar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociados a uno o varios fenómenos peligrosos. Cualquier cambio en estos parámetros afecta directamente el riesgo, es decir, el total de pérdidas esperadas y las consecuencias en un área determinada.

El expresar los conceptos de peligro (amenaza), vulnerabilidad y riesgo, ampliamente aceptada en el campo técnico científico Cardona (1985), Fournier d'Albe

(1985), Milutinovic y Petrovsky (1985b) y Coburn y Spence (1992), está fundamentada en la ecuación adaptada a la Ley N°29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mediante la cual expresa que el riesgo es una función  $f()$  del peligro y la vulnerabilidad.

$$R_{ie} = f(P_i, V_e) \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

R: Riesgo

F: En función

P<sub>i</sub>: Peligro con la intensidad mayor o igual a  $i$  durante un periodo de exposición  $t$

V<sub>e</sub>: Vulnerabilidad de un elemento expuesto

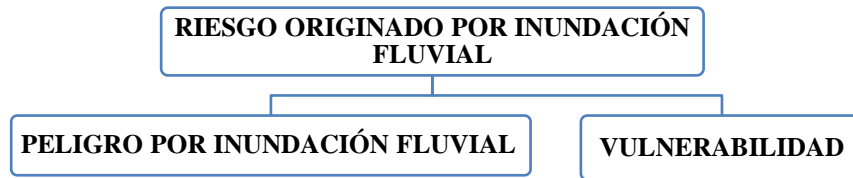
Para llevar a cabo el análisis de peligro, se debe identificar y caracterizar los fenómenos de origen natural mediante la evaluación de su intensidad, magnitud, frecuencia o recurrencia, y susceptibilidad. Además, se debe analizar los componentes que influyen en la vulnerabilidad, desglosándose en exposición, fragilidad y resiliencia, además de identificar los elementos potencialmente vulnerables, el tipo y nivel de daños posibles.

Para estratificar el nivel del riesgo se hará uso de una matriz de doble entrada: matriz del grado de peligro y matriz del grado de vulnerabilidad. Para tal efecto, se requiere que previamente se haya determinado los niveles de intensidad y posibilidad

de ocurrencia de un determinado peligro y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente.

**Figura 4**

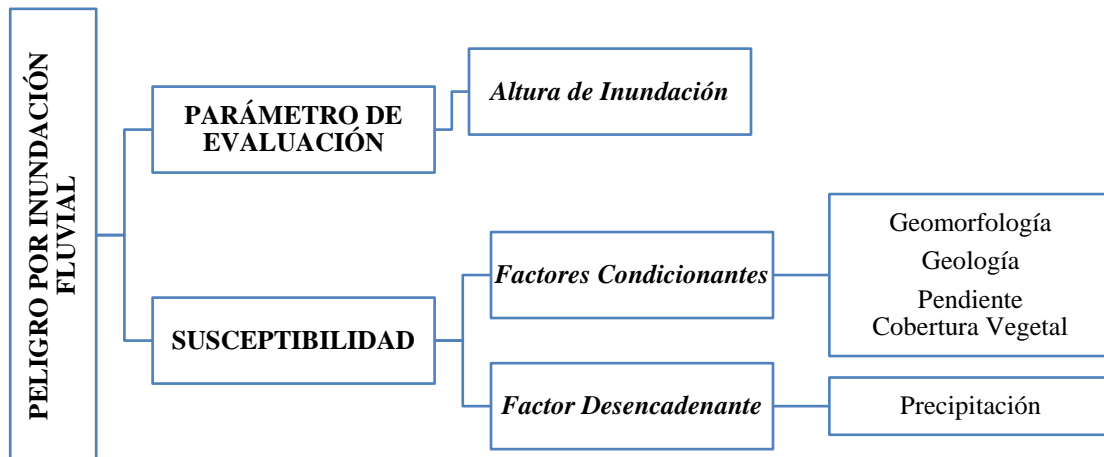
*Determinación del riesgo originado por inundación fluvial*



*Nota.* La figura muestra que para la determinación del riesgo se emplea el peligro y la vulnerabilidad. Elaboración propia, adaptado de CENEPRED (2015).

**Figura 5**

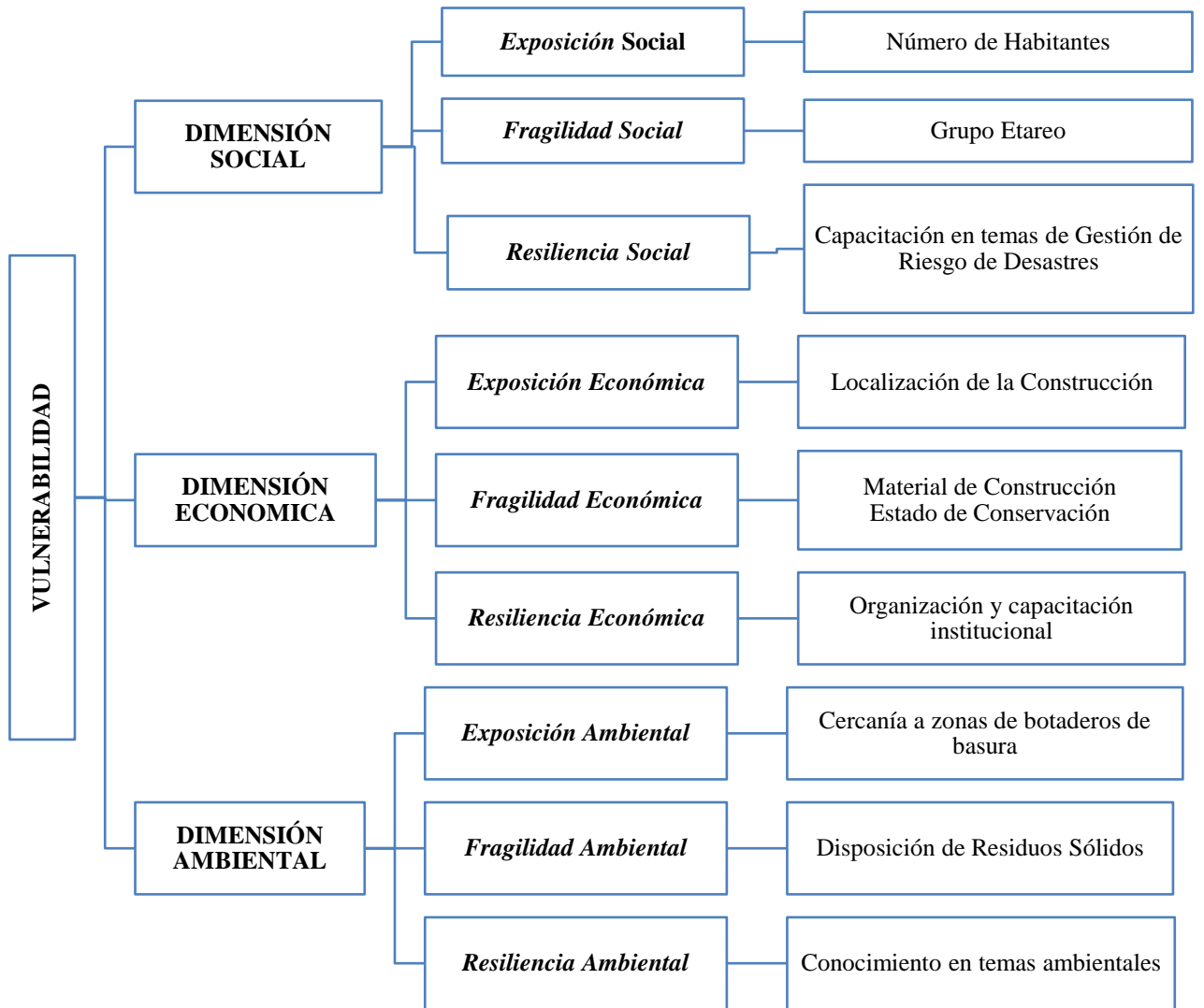
*Jerarquización de parámetros para determinación del peligro*



*Nota.* La figura muestra los parámetros utilizados para la determinación del peligro. Elaboración propia, adaptado de CENEPRED (2015).

**Figura 6**

*Jerarquización de parámetros para determinación de la vulnerabilidad*



*Nota.* La figura muestra los parámetros utilizados para la determinación de la vulnerabilidad.

Elaboración propia, adaptado de CENEPRED (2015).

## **CAPÍTULO III**

### **3.1. Determinación del Riesgo**

#### **3.1.1. *Desarrollo de la zona de estudio***

##### **3.1.1.1. Contexto Climático**

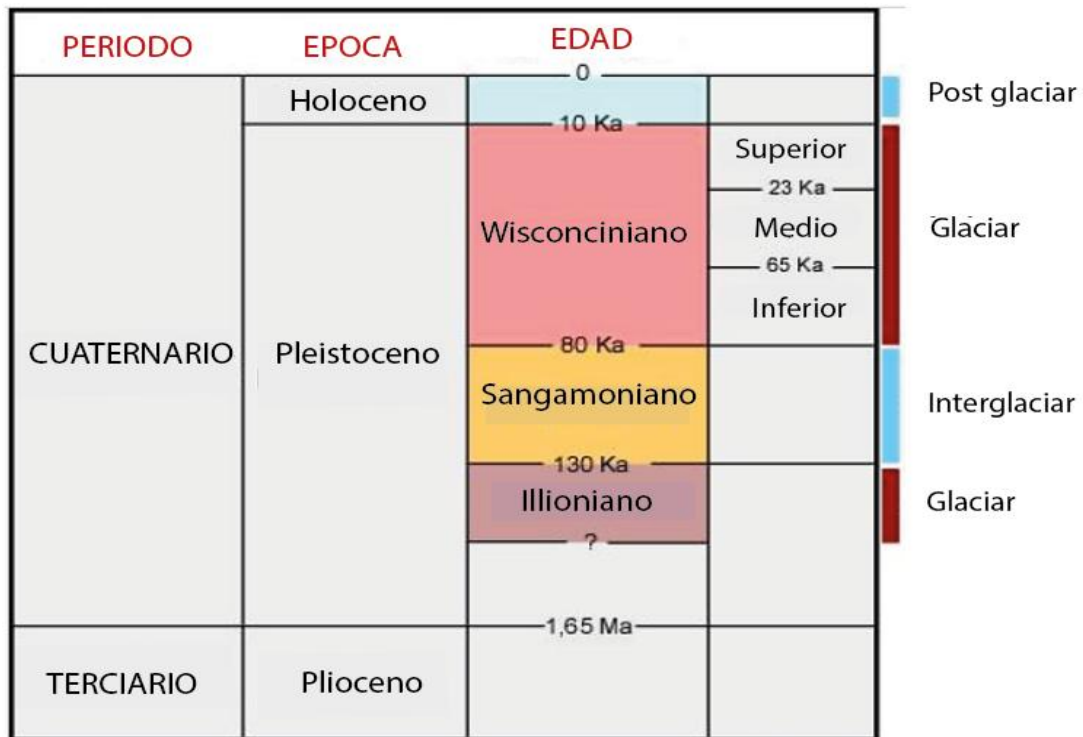
Según Science, Nature, NOAA, NASA, GIEC y otras administraciones científicas encargadas que hablan de los aspectos climáticos, describen sobre los grandes periodos de Glaciación de la Tierra incluyendo el actual. Para entender estos aspectos hay que basarse en primer lugar en los parámetros orbitales, el aspecto radiactivo del sol hacia la tierra, el parámetro albedo y también sobre los gases de efecto invernadero. En resumen, se puede citar que en el periodo Pre Cámbrico se tuvo la presencia de dos grandes glaciaciones, que convirtieron a la Tierra en una bola de hielo, durante el huroniano y el criogénico; en el Paleozoico se tuvo igualmente por lo menos tres periodos de glaciación relativamente cortos de los cuales los estudios tienen mayor precisión.

Finalmente, durante el Cenozoico los estudios revelaron, con más conocimiento de información, que en el pasado se tuvieron periodos en el cual las glaciaciones fueron muy pronunciadas y esos eventos se repiten en la actualidad, pero con menor

intensidad. Asimismo, los estudios denominan a este cambio climático como migración climática, que es un tema que conlleva a discusión por su gran nivel de importancia. Siendo esta migración la que deja efectos graves, como los que ocurrieron en el pasado, la desaparición de culturas enteras alrededor del mundo. Si hablamos a nivel de los Andes, se denotan la desaparición de la Cultura Caral, Chavín, Tiahuanaco y muchas otras que fueron representativas en el Perú.

**Figura 7**

*Edades cronológicas respecto a la evolución climática*



Nota. Edades Geológicas con años aproximados para el inicio y final de los mismos. Asimismo, se determinan en que edades se tuvieron estadios glaciares, post glaciares, interglaciares, entre otros.; adaptado de Huamán Díaz (1985)

## *Climas del pasado histórico*

### **A. Nivel Regional**

A nivel regional, se ha experimentado variaciones significativas a lo largo del pasado histórico. Si explicamos el periodo de 1910 al 2015, nos estaríamos refiriendo a los cambios climáticos recientes. A lo largo de este periodo, las tendencias climáticas han sido fuertemente influenciadas por la actividad humana, especialmente a partir del siglo XX con el aumento de la emisión de gases de efecto invernadero.

#### **Periodo de 1910 a 1940 (Primer calentamiento del siglo XX)**

Durante estas tres primeras décadas, las temperaturas globales aumentaron a un ritmo moderado, en parte debido a la variabilidad natural del clima. En este periodo no hubo un aumento tan pronunciado de gases de efecto invernadero como en décadas posteriores.

Este aumento puede estar relacionado con fenómenos naturales, como la vulcanicidad (que afecta el enfriamiento global) y la variabilidad solar.

#### **Periodo de 1940 a 1970 (Enfriamiento relativo)**

En este intervalo, la temperatura global mostró una ligera tendencia a enfriarse debido a varios factores, incluyendo la contaminación industrial (como aerosoles y

partículas en suspensión que pueden reflejar la luz solar) y una disminución de la actividad solar.

Sin embargo, no se debe olvidar que estos enfriamientos fueron más locales o regionales y no reflejaron una tendencia global coherente.

### **Periodo de 1970 a 1998 (Aceleración del Calentamiento Global)**

Desde finales de la década de 1970 hasta 1998, las temperaturas globales comenzaron a aumentar rápidamente. Este es el periodo donde se observa un cambio dramático asociado con la revolución industrial y el aumento masivo de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y otros gases de efecto invernadero.

En términos de temperatura, se estima que el aumento fue de aproximadamente 0,5°C a nivel global durante este tiempo.

### **Periodo de 1998 a 2015 (Continuación del Calentamiento Acelerado)**

Entre 1998 y 2015, las temperaturas globales siguieron aumentando, con algunos años alcanzando los picos más altos de temperatura en la historia registrada.

Este aumento está asociado con el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, debido a la quema de combustibles fósiles, deforestación y otras actividades humanas.

En este periodo, se observó un incremento de aproximadamente 0,8°C a nivel global desde 1950, con picos de calor en 2014 y 2015.

En resumen, el clima regional desde 1910 hasta 2015 ha mostrado una tendencia de calentamiento acelerado, especialmente después de 1970, impulsado principalmente por las actividades humanas. Mientras que algunas regiones han experimentado un calentamiento más fuerte, otras han sufrido desastres climáticos y eventos extremos que reflejan la complejidad y la variabilidad del cambio climático en diferentes partes del mundo.

## **B. Nivel Local**

Según (IGP, 2021), se tiene para la region de Tacna el siguiente análisis de algunos reportes históricos de precipitaciones anómalas en la región de Tacna:

### **Evento de lluvias 1911**

En Tacna, específicamente en la provincia del mismo nombre, se tuvieron reportes de inundación por activación de quebradas o aumento de caudal de sus ríos. Según (IGP, 2021), la causa no fue el Fenómeno El Niño Extremo sino la variabilidad climática. Asimismo, a pesar de tener lluvias intensas no se reportaron áreas afectadas debido a que la cantidad de ocupación de tierras respecto al territorio se concentraba

en el casco urbano de la ciudad, lo que hoy denominamos distrito de Tacna, los cauces de los ríos estaban libres y los conos aluviales de igual forma.

### **Evento de lluvias 1927**

Según el Diario El Comercio, el 23 de febrero de 1927 se tuvo registrado un aumento del caudal del río Caplina en Tacna. Asimismo, un día antes el río Caplina hizo su ingreso a la ciudad de Tacna por la Av. Baquedano, hoy conocida como Av. Bolognesi, convirtiéndola de lado a lado en un caudaloso río que llegó a tener hasta una altura de medio metro.

Asimismo, aguas arriba muy cerca de la ciudad, el río inundó los poblados de Pachía, Calana y Pocollay; sin embargo, la más afectada fue la zona norte de la ciudad de Tacna, comprendida entre la calle Dos de Mayo y Cuartel Lanceros, quedando muchas viviendas y edificios inhabitables.

En la Avenida Baquedano, conocida también como Alameda o Bolognesi, sus parques Aníbal Pinto, el Parque Infantil y el Mercado principal de la ciudad, quedaron completamente cubiertos de agua y lodo. El cuartel Zapadores, situado a la entrada de la avenida Baquedano se inundó quedando inhabitable, sus tropas se refugiaron en el Regimiento Rancagua y en el Batallón Tren. En dicha avenida el agua alcanzó una altura de 80 centímetros afectando a varias viviendas donde algunas familias tuvieron que evacuar a casas vecinas dejando sus muebles y enseres. En esa época realizaron la

canalización del río Caplina, que por el desborde sufrió graves deterioros y la Alameda quedó convertida en un pedregoso lecho de río.

En Calientes, los baños de aguas termales quedaron como una isla y sus piscinas y edificios averiados. El camino a Calientes, desde Zapadores hasta Pocollay, quedó intransitable porque fue averiado en varios puntos, además de la caída de enormes cantidades de piedras de gran tamaño y la formación de grandes zanjas.

### **Evento de lluvias por el Fenómeno El Niño 1998**

Las lluvias ocurridas en Perú en el año 1998 correspondían a Mega Niño y por ello sus impactos fueron a nivel regional. Países como Bolivia, Ecuador y Perú fueron afectados en forma significativa por las abundantes precipitaciones que ocasionaron significativas inundaciones; mientras que, Colombia y Venezuela soportaron ausencia de lluvias. Específicamente, en el territorio peruano el Fenómeno El Niño llegó con abundantes precipitaciones en la costa norte y ausencia de lluvias en el sur, y es por este motivo que la población de Tacna no tomó mayores precauciones ante la alerta de la comunidad científica.

Asimismo, los continuos desbordes y caídas de rocas en diversas zonas, dejaban incomunicados a poblados en la cuenca media y alta de los ríos Locumba, Sama y el Caplina, por lo que, los transportistas tacneños decidieron suspender el servicio de transporte por el riesgo de perder sus vehículos y desgracias personales.

### **Evento de lluvias 2015/2016**

Desde inicio del año 2015 hasta junio del 2016, el Comité Multisectorial encargado del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), observó el acoplamiento propio de las componentes atmosféricas y oceánicas que permiten deducir la fase cálida del episodio ENOS “Niño 2015/2016”. Asimismo, a nivel internacional la Organización Meteorológica Mundial (OMM) declaró al evento “El Niño 2015-2016”, como uno de los tres más fuertes registrados desde 1950, junto con los de 1982-83 y 1997-98.

Las lluvias por el fenómeno El Niño 2015-2016 afectó a la población y campos agrícolas de las tres cuencas del departamento de Tacna (Locumba, Sama y Caplina), siendo el más afectado el valle del río Locumba, llevándose la peor parte el poblado de Mirave.

### **Evento de lluvias 2019**

El régimen pluviométrico del territorio peruano es estacional; es decir el mayor acumulado de precipitaciones se dan en la estación de verano o estación lluviosa. Por esta razón, los problemas de aluviones, huaycos o inundaciones se dan en los meses de verano, aumentando en intensidad por el fenómeno El Niño u otros eventos propios de la variabilidad climática peruana. Es por esto, que las lluvias estacionales llegan algunas veces a sorprender de forma intensa en las cuencas medias y altas de la costa

peruana, ocasionando daños a las zonas urbanas y rurales. Tacna, un departamento donde las precipitaciones son escasas, el agua de lluvia es fundamental para la irrigación de los campos de cultivo; sin embargo, cuando las lluvias caen abundantemente llega a causar daños en viviendas y sembríos.

### **Evento de lluvias 2020 y 2021**

Durante este periodo, se observaron anomalías significativas en las precipitaciones en varias regiones del Perú, incluida la sierra sur. Se reportaron déficits de lluvias en áreas como Puno, en contraste con excesos puntuales en otras zonas. El informe técnico del SENAMHI destaca cómo las condiciones atmosféricas, como la presencia del fenómeno La Niña, modulaban estos eventos climáticos. Según el Análisis del Periodo Lluvioso 2019/2020, a nivel nacional, en los meses de verano, entre enero y marzo del 2020, la costa norte presentó lluvias frecuentes y acumulados diarios dentro de lo esperado. Sin embargo, para la costa sur (Arequipa y Tacna) se reportó por los días del 22 al 24 de enero acumulados diarios calificados como “extremadamente lluvioso”: 32,4 mm en Camaná (Arequipa); 16,4 mm en Jorge Basadre (Tacna). Estos días extremadamente lluviosos se volvieron a registrar el 12, 21 y 22 de febrero y el 13, 15 y 20 de marzo, en algunas estaciones meteorológicas ubicadas en Camaná, La Yarada, Ite, Sama Grande, Jorge Basadre y Calana.

### **Sequías y lluvias anómalas recientes (2021)**

Durante octubre y noviembre de 2021, la sierra sur occidental experimentó periodos de sequía prolongadas, con registros superiores a lo esperado en días secos consecutivos, particularmente en regiones como Puno. Estos eventos también se vinculan con patrones atmosféricos específicos que generan condiciones más secas de lo habitual.

### **Eventos extremos y sequías históricas**

Análisis del SENAMHI para los años 1990 y posteriores identificaron sequías severas asociadas a fenómenos climáticos como El Niño y La Niña. Estos estudios incluyen evaluaciones detalladas de las precipitaciones anómalas y sus impactos en la región sureña.

#### **3.1.1.2. Características Físico Geográficas**

##### ***Topografía***

Para la elaboración del levantamiento topográfico se tomó en consideración la Resolución Jefatural N° 139-2015-IGN/UCCN, que aprueba la Norma Técnica para posicionamiento geodésico estático relativo con receptores del sistema de navegación global del Instituto Nacional Geográfico. Así mismo, se ha dado cumplimiento a las especificaciones técnicas de fases de trabajo recomendadas por dicha norma técnica.

Por lo que, se consideró para el levantamiento la colocación de 08 puntos geodésicos de orden “C”, para hacer el levantamiento topográfico y así obtener mayor precisión del terreno.

Finalmente, los productos fueron curvas de nivel a detalle de 1 metro y un modelo digital del terreno (MDT) que dio como producto una superficie del terreno, ver en Anexos plano topográfico.

### ***Suelos***

Se ha tomado información de calicatas realizadas en toda el área de estudio para realizar la zonificación de suelos.

**Tabla 12**

*Clasificación de suelos según SUCS*

Calicata	Ubicación UTM			SUCS	Profundidad
	Zona	Este (m)	Norte (m)		m
C-01	19 K	381134	8025541	GP	1,8
C-02	19 K	381104	8025527	GM	1,5
C-03	19 K	381131	8025123	GP	3
C-04	19 K	380850	8024690	GP	3
C-05	19 K	380671	8024304	GM	1,5

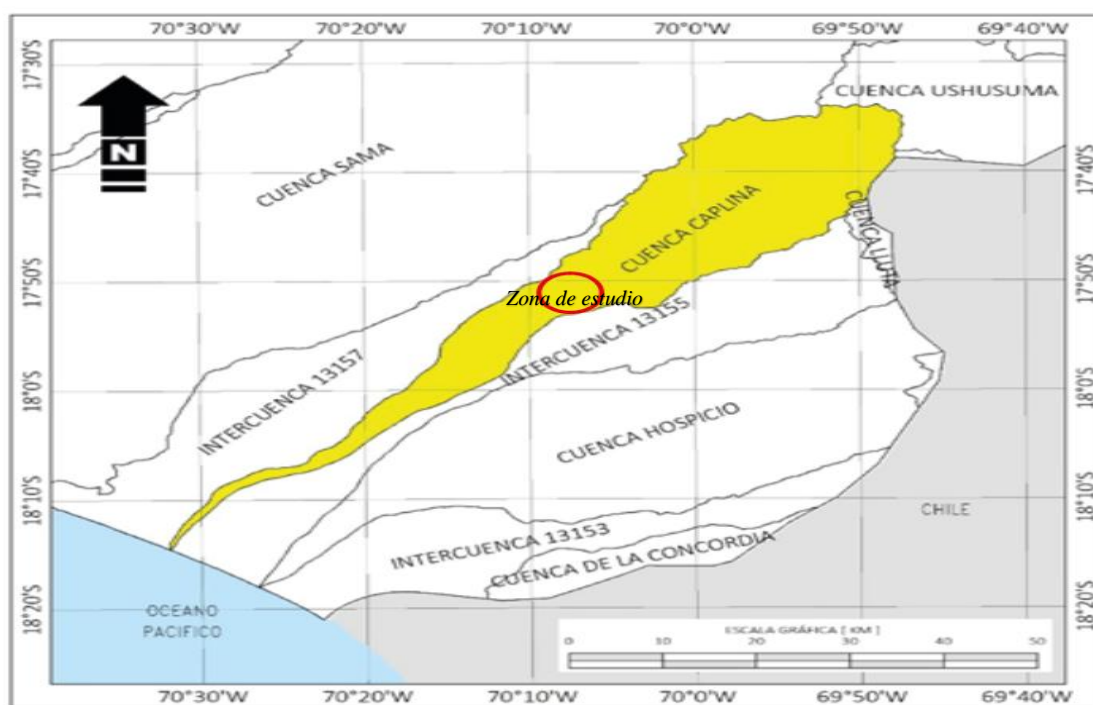
*Nota.* Esta tabla muestra la ubicación de las calicatas y el tipo de suelo identificado según SUCS, GRT (2021).

## ***Hidrología***

De acuerdo con Peña et al. (2009), las características hidrológicas de la cuenca del río Caplina dependen en gran medida de su configuración fisiográfica. La altitud promedio sobre el nivel del mar, la orientación predominante de la cuenca noreste suroeste, y la presencia de cordilleras y quebradas son factores clave que influyen en el clima y en la precipitación.

**Figura 8**

*Ubicación geográfica de la cuenca*



*Nota.* Esta figura muestra la ubicación de la cuenca Caplina que es la cuenca principal que se tomó para el estudio. Asimismo, se delimito en rojo el área donde está ubicado la zona de Balneario de Calientes que es en la parte media de la cuenca, GRT (2021).

### **Precipitación**

Según el ICH (2009), se define a la caída de agua proveniente de las nubes, en forma de gotas o partículas sólidas. Las pequeñas gotas contenidas en las nubes (de 10 a 30 micras de diámetro) se agrupan y forman gotas mucho más grandes (de 2000 micras de diámetro), sobrepasando la resistencia del aire y caen.

Según su origen existen diferentes tipos de precipitación:

- Precipitaciones frontales
- Precipitaciones convectivas
- Precipitaciones orográficas
- Precipitaciones advectivas

Según (CENEPRED, 2014), en el Perú las lluvias generalmente en la Costa, a excepción del norte, son escasas durante todo el año, en algunos veranos la humedad atmosférica proveniente del Océano Atlántico, sobrepasa la Cordillera de los Andes generando las lluvias veraniegas que alcanzan el litoral. En la zona andina, las lluvias suelen ser abundantes durante el verano y escasas en los periodos de invierno y otoño, en tanto que, en la selva llueve durante todo el año; siendo estas mayores en verano.

Asimismo, las lluvias habitualmente en nuestro país suelen presentarse por la actividad convectiva, con movimiento ascendente del aire provocado principalmente

por el efecto de calentamiento que ocasiona la radiación solar en la superficie terrestre. Este fenómeno origina la formación de nubes de tipo cúmulos, las que se pueden convertir en cumulonimbos si la convección es muy fuerte y ocasiona lluvias muy intensas.

En nuestra área de estudio se identificó que el tipo de precipitación que se tiene es del tipo convectiva, debido a que la zona del Balneario Calientes en el distrito de Pachía es una zona cálida y húmeda, y presenta precipitaciones que son intensas pero corto tiempo. Este tipo de precipitaciones son habituales en zonas de costa norte.

Según Peña et al. (2009), las precipitaciones se producen en verano, entre los meses de diciembre a marzo. Según la Tabla 14, se puede observar la información de precipitación de las estaciones meteorológicas de la cuenca de interés, que es la cabecera o parte alta de la cuenca Caplina. Asimismo, se muestra los registros que comprenden los datos de precipitación diaria, la cual ha sido medida a las 7:00 y 19:00 horas.

**Tabla 13***Estaciones meteorológicas*

N°	Estación	Este	Norte	Altitud	Periodo de registro	Años de registro	Fuente
1	Talabaya	395273	8059045	3 409	1966-2021	56	Senamhi - Tacna
2	Palca	398386	8034122	3 023	1965-2021	50	Senamhi - Tacna
3	Calientes	378968	8022275	1 200	1965-2021	57	Senamhi - Tacna

*Nota.* Esta tabla muestra las estaciones utilizadas para el desarrollo del estudio de hidrología, GRT (2021).

**Tabla 14***Precipitaciones máximas 24 horas para estaciones representativas*

Estación	Altitud	Pptmáx24horas (mm)
Talabaya	3409	46,9
Palca	3023	25,5
Calientes	1200	15,6

*Nota.* Esta tabla muestra las estaciones representativas respecto a las precipitaciones máximas del 2019-2020, adaptada del estudio de hidrología, GRT (2021).

Las precipitaciones mostradas en la tabla 14, son producto de lluvias origen convectivos que se dan habitualmente en meses de diciembre a marzo y suelen extremarse a consecuencia del Fenómeno de El Niño.

Asimismo, la estación representativa empleada para el modelo hidrológico es la Estación Palca que presenta los siguientes umbrales de precipitación estimados según la tabla 15, además se muestra en los anexos *información prioritaria del estudio hidrológico e hidráulico realizado por GRT (2021)*.

**Tabla 15**

*Umbrales de precipitación para la Estación Palca*

Umbrales de precipitación	Caracterización de lluvias extremas
25,5 mm > 25,25 mm	Extremadamente lluvioso
24,23 mm < PP. ≤ 25,25 mm	Muy lluvioso
23 mm < PP. ≤ 24,23 mm	Lluvioso
19,13 mm < PP. ≤ 23 mm	Moderadamente lluvioso
Menor a 19,13 mm	Escasamente lluvioso

*Nota.* Se muestran los umbrales de precipitación, adaptado de SENAMHI (2014).

Asimismo, según los valores identificados específicamente para la zona de estudio se consideran escasamente lluvioso. Sin embargo, solo con esa cantidad mínima de lluvia se pueden generar desbordamientos debido a que las condiciones del área lo favorecen.

### **Modelo Hidrológico**

Para calibrar el modelo hidrológico se consideró para la simulación un evento extremo de precipitación de febrero del 2019. Asimismo, se utilizaron estaciones pluviométricas en el ámbito de la región Tacna distribuidas dentro y aledaño al territorio, los registros comprenden datos de precipitación diaria la cual fueron medidas a las 7:00 y 19:00 horas, toda la información de este tipo ha sido proporcionada por el SENAMHI.

Generando los hietogramas respectivos a partir de datos registrados en cada estación seleccionada y analizada para el presente estudio.

### **Tabla 16**

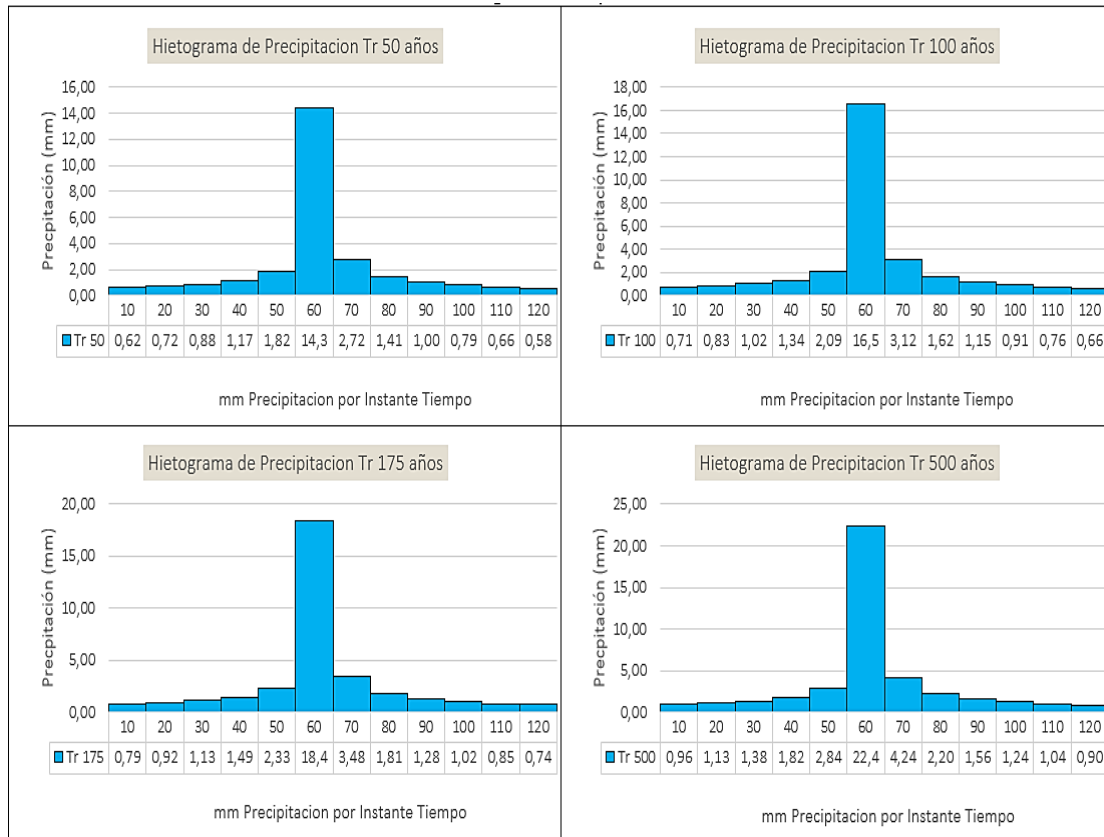
*Precipitación máxima 24 horas registrada para febrero del 2019*

<b>Estación Meteorológica</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Observación</b>
Talabaya	17,7	Registro
Palca	20,4	Completada
Calientes	3,8	Registro

*Nota.* Esta tabla muestra las precipitaciones realizadas para el 08 de febrero del 2019 en cada estación. Página de acceso libre del SENAMHI.

**Figura 9**

*Hietogramas de Precipitación-Estación Palca*



*Nota.* La figura muestra los hietogramas de precipitación para la Estación Palca en diferentes periodos de retorno, según GRT (2021).

De acuerdo a la Resolución Jefatural N°332-2016-ANA con fecha 28 de diciembre del 2016, siguiendo la directiva para Fajas Marginales, en el Título III, Capítulo I, Artículo 9 Modelamiento Hidráulico, ítem 9,2 indica que, para cauces colindantes a terrenos agrícolas, se deben emplear un periodo de retorno de 50 años y

para cauces naturales de agua colindantes a asentamiento poblacionales urbanos corresponde un periodo de retorno de 100 años.

Considerando el punto antes explicado, presentamos la tabla de precipitación máxima 24 horas corregida, para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 17**

*Corrección de las Pp Max 24 horas para diferentes periodos de retorno*

Estación Meteorológica	Precipitación Máxima 24 horas (mm)					
	Periodo de Retorno (años)					
	10	30	35	50	70	100
TALABAYA	32,44	39,34	40,26	42,35	44,28	46,30
PALCA	18,76	24,05	24,85	26,75	28,63	30,72
CALIENTES	9,63	13,85	14,53	16,17	17,83	19,74

*Nota.* Se muestran las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, por cada estación meteorología seleccionada, GRT (2021).

***Hidráulica.***

Para el modelo HEC-RAS se realizan cálculos de niveles de agua utilizando la ecuación de la energía.

Para la aplicación del modelo matemático se ha empleado el Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos HEC-RAS.

Este software realiza cálculos hidráulicos de cursos naturales o artificiales en una dirección (unidimensional) y cuenta además con los procedimientos de cálculo para simular los efectos debidos a estructuras hidráulicas. Puede manejar una red completa de canales, una localización singular en un río y es capaz de modelar perfiles en régimen subcrítico, supercrítico o mixto.

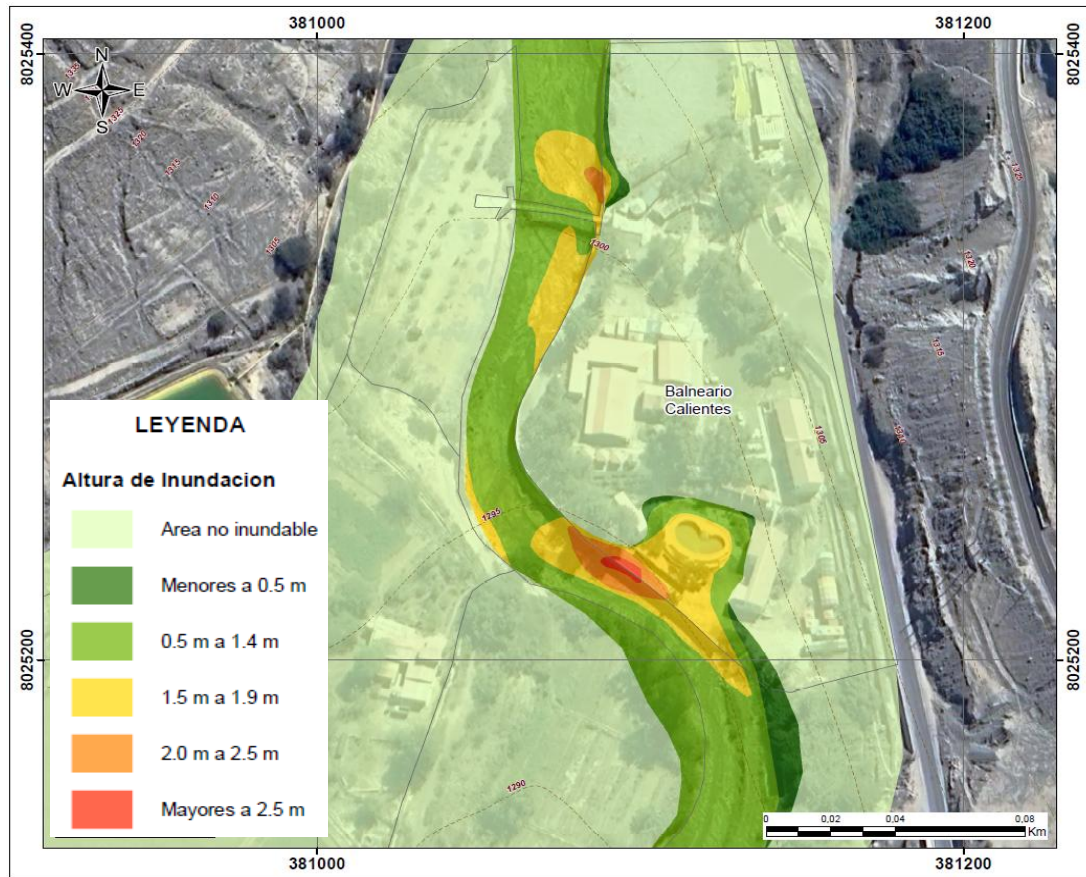
Como producto final del procesamiento se muestra el plano a continuación para un periodo de retorno de 50 años, según lo recomienda la resolución de fajas marginales.

Asimismo, en la Figura 10 (mapa MIN-01), se observa que la zona de estudio presentó alturas de inundación que varían de 0,5 m a 2,5 m en general, para un periodo de retorno de 50 años. Sin embargo, para la parte superior del Balneario Calientes el tirante de agua alcanzó en general 0,5 m de altura, donde se ubican los restaurantes y el hotel.

Por otro lado, al Sur del balneario y parte baja se ubica la piscina, mostraron tirantes de 0,5 m a 2,0 m de altura aproximadamente, esto debido a que en épocas de avenidas en la curva del balneario se acumulan materiales de acarreo, que sirven como rampa para ingresos de caudal.

**Figura 10**

*Mapa de altura de Inundación para un periodo de retorno de 50 años*



*Nota.* Esta figura muestra las alturas de inundación determinadas para un periodo de retorno de 50 años en la zona de Balneario de Calientes, adaptado de GRT (2021).

## ***Geología***

### **A. Geología Regional**

Según Teves Rivas (1973), el desierto Costero Peruano, en la que se emplaza nuestra región, presenta un clima templado a pesar de su baja latitud, la escasez de

lluvias y un relativo bajo caudal de sus ríos que causan una notable aridez, que si bien la humedad cerca de la línea de costa es elevada debido a fenómenos climáticos. Las anomalías climáticas esporádicas se relacionan al fenómeno “El Niño” produciéndose lluvias fuertes, aunque de corta duración, que permiten el desarrollo de grandes conos aluviales piedemontinos, que se observan a lo largo de la región de Tacna.

Se considera para la descripción de las unidades geológicas a nivel regional, el boletín del INGEMMET que, debido a la escala regional, tiene un detalle no muy preciso.

#### **Formación Socosani (Jm-so)**

Según Acosta et al. (2011), describe a la formación con presencia de conglomerados con clastos de calizas y calcarenitas. Los afloramientos se observan los cerros de San Francisco, Tocuco y Pelado. Además, se describe que la relación del estrato basal de la Formación Socosani se muestra como un contacto erosivo apreciándose conglomerados con clastos de calizas y calcarenitas. Los conglomerados denotan el inicio de la depositación de la formación Socosani, en cuanto a la parte superior es notable el paso progresivo a detrítico apreciable en los cerros San Francisco y Tocuco.

### **Formación Labra (Js-la)**

Según Acosta et al. (2011), se describen areniscas pardas, lutitas oscuras y calizas grisáceas interestratificadas en capas delgadas. Asimismo, se muestran afloramientos en el valle Caplina entre Challatita y Calientes. La Formación Labra yace en concordancia sobre la Formación Cachios y subyace igualmente en concordancia con la Formación Gramadal en las quebradas Quilla y Chulluncane.

### **Formación Gramadal (Js-gr)**

Según Acosta et al. (2011), describen que la formación se encuentra constituida de areniscas arcillosas de estratificación delgada intercalado con limolitas gris oscura en paquetes medianos, limolitas negras característicamente laminar ínter estratificado con pequeñas láminas de óxido de fierro. Se observa también calizas micríticas orgánicas oscuras en capas medianas a delgadas. Los afloramientos se presentan en la quebradas Quilla y Chachacumane, también aflora en el sector Norte en el cerro Paquercara.

### **Formación Hualhuani (Ki-hu)**

Según Acosta et al. (2011), esta litológicamente consiste de cuarzo arenitas con un 90 % de granos detríticos de cuarzo redondeado a sub redondeado y algunos granos de zircón, de gran madurez textural y buena selección, los granos están cementado entre

sí por crecimiento de cuarzo secundario. Asimismo, se encuentra mejor expuesta en los flancos Occidentales de los cerros Paquercara y Yaurimojo (continua hacia la hoja de Maure en contacto de falla inversa con los volcánicos del grupo Tacaza).

### **Formación Moquegua (PN-mo\_s)**

Según Acosta et al. (2011), está conformada principalmente por materiales detríticos, en particular conglomerados que disminuyen en tamaño de grano hacia el suroeste. Se observan afloramientos principalmente en los cerros Pulaca, Parapuna y los flancos occidentales de los cerros Murunuyo, Curusune, Jancocal y las Quebradas Cobani, Viñani y Tembladera. Además, se denota que la sucesión del tope de la Formación Moquegua superior está conformada por areniscas cuarzo feldespáticas de grano medio, intercalados con delgados canales conglomeráticos y estratos delgados de tobas de color blanco con cristales de biotita ligeramente alterados y fragmentados. La parte superior de esta columna está conformada por areniscas cuarzo feldespáticas con canales conglomeráticos íntegramente conformado por clastos de rocas volcánicas en una matriz arenosa de color verde. (pp.33-34)

### **Formación Huaylillas (Nm-hu)**

Según Acosta et al. (2011), esta formación se conforma de dos miembros superior e inferior, que presentan afloramientos en las cimas de los cerros Pulune, Titine, Palca, Huanuni y la Chulpa (quebrada de Palca).

Según Pino et al. (2003), tratan de un potente paquete de ignimbritas riolíticas soldadas, de color rosado a blanquecino, compuestas principalmente por cristales bien desarrollados de cuarzo, biotita, plagioclasa y además por fragmentos pequeños de pómez, envueltos en una matriz tobácea. En la región tacneña, todas las edades disponibles sobre la Formación Huaylillas se obtuvieron por el método K-Ar. Todas estas edades están comprendidas entre ~ 24 y ~ 18 Ma, e indican que el volcanismo explosivo correspondiente estuvo activo durante un intervalo de tiempo relativamente corto (~6 Ma). Los centros de erupción que generaron esta potente unidad piroclástica se ubicaban probablemente en la actual Cordillera Occidental. (p.34)

### **Conglomerado Calientes (Np-ca)**

Esta unidad conforma el conjunto inferior del relleno del valle de Tacna, que se ha formado durante procesos de depositación en eventos fluviotorrenciales antiguos. El valle del río Caplina, cuenta con conglomerados compuestos por cantos y guijarros subredondeados y mal sorteados, de tamaño centimétrico a métrico en matriz de arena;

donde se observa que predomina la arena por sobre el material gravoso lo que indicaría que su conformación se dio en eventos flujo torrenciales de baja velocidad. Asimismo, la presencia de los cantos y guijarros sub redondeados indicarían que el nivel de transporte es medio a corto; esto puede significar que nos encontramos a mitad del curso flujo torrencial antiguo. Los conglomerados Calientes suprayacen en discordancia erosional al Grupo Moquegua e infrayacen a depósitos de cenizas.

#### **Depósitos Toba Pachía (Np-tp)**

Según ANA (2023), en los cerros la Yarada en la Cordillera de Costa, en la quebrada Caramolle, cerro Calientes y la quebrada Cobani se han observado depósitos piroclásticos que corresponden a tobas no soldadas de tipo ignimbrítica, acumulados en los valles. Se distingue una toba rosácea con pómez, cuarzos y biotitas, se encuentran infrayaciendo con el depósito aluvial Pliocénico en el cerro Calientes, en consecuencia, se puede estimar este afloramiento es algo favorable para la infiltración y flujo subsuperficial (p.22).

Según Acosta et al. (2011), esta formación presenta una coloración típicamente color rosado, presenta fragmentos de pómez, líticos, cristales de cuarzo y biotita en matriz de ceniza. Sus depósitos son deleznable, presentándose con espesores menores a 40 m, disminuyendo hacia el suroeste.

### **Depósito Aluvial (Qh-al)**

Según ANA (2023), estos depósitos se extienden en la parte media de la cuenca Caplina en forma de terrazas escalonadas. Litológicamente se encuentran compuestas por cantos rodados, gravas con matriz de arena limosa mediamente compactadas. Los depósitos aflorados en nuestra zona de estudio son principalmente de composición de conglomerados de bloques rodados polimícticos en una matriz escasa de arena lodo y arcillas y geomorfológicamente conforman terrazas.

### **B. Geología Local**

De las unidades geológicas identificadas en nuestra zona de estudio se observó que corresponden a dos periodos de depositación de material Fluviotorrencial. Siendo que, para los depósitos más recientes, se tiene la conformación de terrazas escalonadas de menor dimensión y volumetría en contraste a las depositaciones más antiguas que corresponden a terrazas de gran extensión.

A continuación, se describen las unidades geológicas de la zona de estudio, según el mapeo geológico realizado en campo.

### **Conglomerados Calientes (Np-ca)**

Esta unidad conforma el conjunto inferior del relleno del valle de Tacna, esta unidad se ha formado durante procesos de depositación en eventos fluviotorrenciales

antiguos. En la zona de estudio, consiste de conglomerados compuestos por cantos y guijarros subredondeados y mal sorteados, de tamaño centimétrico a métrico en matriz de arena; donde se observa que predomina la arena por sobre el material gravoso lo que indicaría que su conformación se dio en eventos flujo torrenciales de baja velocidad. Asimismo, la presencia de los cantos y guijarros sub redondeados indicarían que el nivel de transporte es medio a corto; esto puede significar que nos encontramos a mitad del curso flujo torrencial antiguo. Los conglomerados Calientes afloran en ambos flancos de las lomadas, cercanas al cauce del río Caplina.

### **Fotografía 1**

*Conglomerado Calientes*



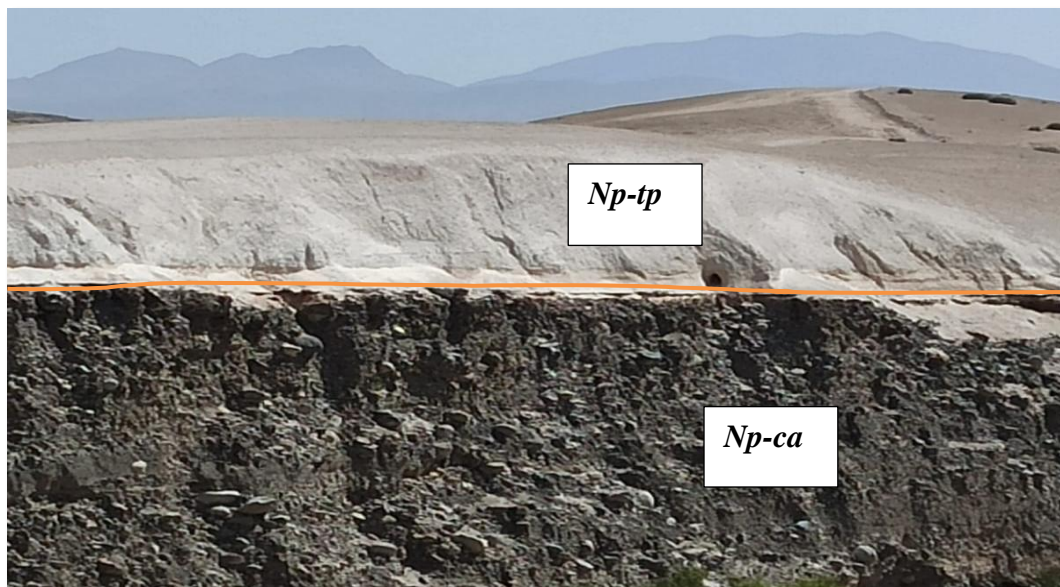
*Nota.* Afloramiento de Conglomerado Calientes adyacente al cauce del río Caplina, en el cual se observa que las gravas, guijarros y bloques se encuentran flotando sobre una matriz de arena, dando a entender que la velocidad de flujo era más lenta en épocas anteriores. Elaboración propia.

### **Toba Pachía (Np-tp)**

Son depósitos de pendiente de origen ignimbrítico guardando similitudes con la Formación Huaylillas; se emplazan en los valles de la región de Tacna. Esta unidad suprayace en estratos de Conglomerados Calientes. La coloración del depósito de ceniza volcánica es de tonalidades rosáceas, presentando fragmentos de pómez, líticos, cristales de cuarzo y biotita en matriz de ceniza. Sus depósitos son deleznales, denotando que no han tenido mucho tiempo para consolidarse, presentándose con espesores menores a 40 metros.

### **Fotografía 2**

*Toba Pachía*



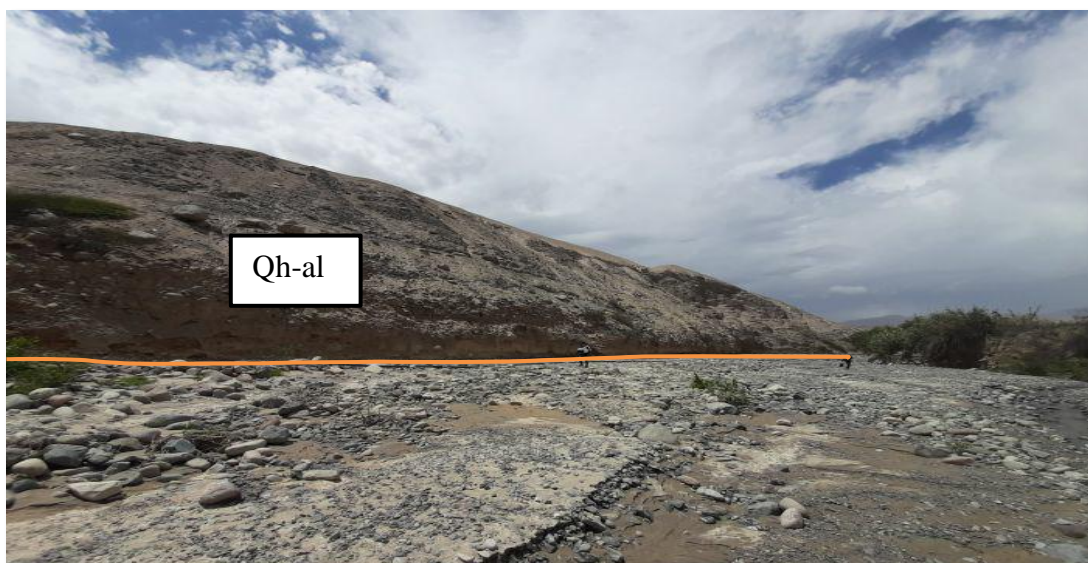
*Nota.* Afloramientos de la Toba Pachía, que afloran cerca al cauce del río Caplina y suprayace al Conglomerado Calientes. Elaboración propia.

### **Depósito Aluvial (Qh-al)**

Forman terrazas escalonadas, resultado de procesos de depositación fluvio torrencial recientes, presentan composición de conglomerados de bloques rodados polimicticos en una matriz escasa de arena, lodo y arcillas. Se distingue de la formación Moquegua por su drenaje dendrítico de este último y otra característica que presenta es la presencia de barrancos verticales de hasta 15 m. Sus afloramientos se observan cerca al cauce del río Caplina debido a que los mismos han rellenado los cauces antiguos del valle.

### **Fotografía 3**

*Depósitos aluviales*



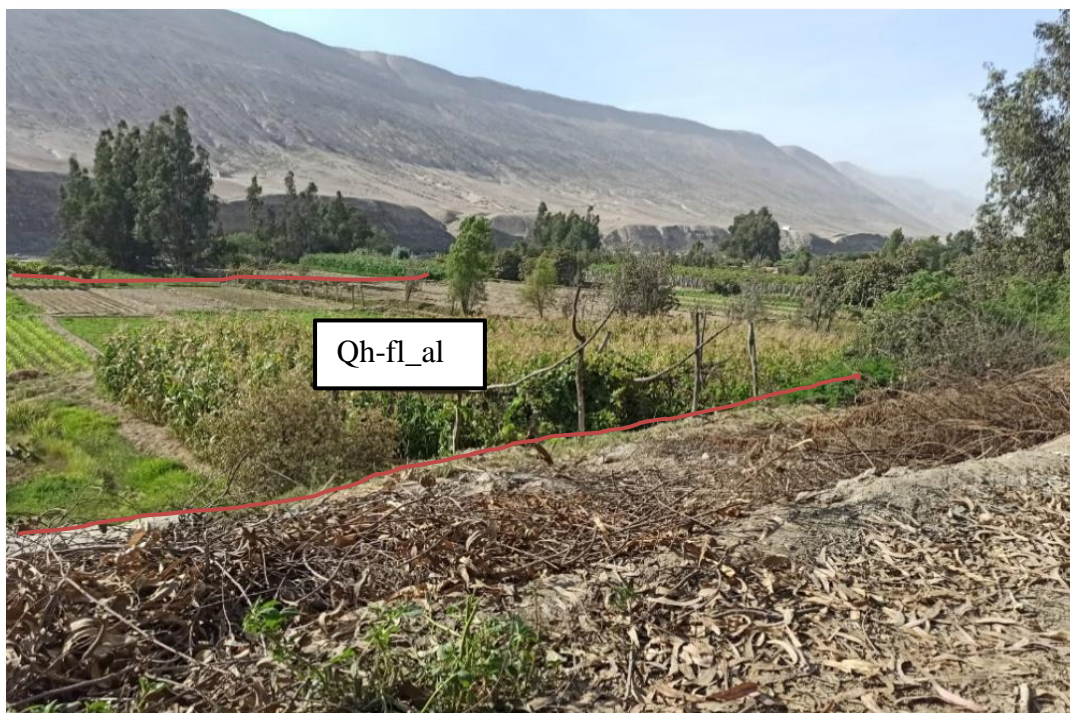
*Nota.* Depósitos aluviales antiguos clasificados como Qh-al1, en el cual se observa la predominancia de material gravoso por sobre la matriz de arena denotando periodos de flujos intermedios a rápidos. Elaboración propia.

### **Depósito Fluvio aluvial (Qh-fl\_al)**

Estos depósitos están constituidos por bloques, cantos rodados, arenas y arcillas consolidados que se intercalan irregularmente. El Balneario de Calientes se encuentra ubicado en este depósito.

#### **Fotografía 4**

*Depósitos fluvio aluviales*



*Nota.* Afloramiento de depósitos fluvio aluviales según en zonas de ocupación agrícola que presentan ingresos antiguos del río. Elaboración propia.

Para visualizar mejor las unidades geológicas a nivel regional y local, se sugiere ver en los mapas anexados en el presente documento.

### **Depósito Fluvial (Qh-fl)**

Se observan bloques, cantos rodados en una matriz de arenas y arcillas finas, estos depósitos son propios de la zona de cauce del río Caplina. Tiene una acumulación reciente, por lo que no se encuentran consolidados.

#### **Fotografía 5**

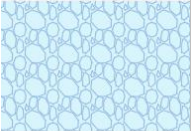





*Depósitos fluviales*



*Nota.* Depósitos fluviales en el cauce del río Caplina según lo detalla la fotografía de campo. Elaboración propia.

**Tabla 18**

*Columna estratigráfica del área de estudio*

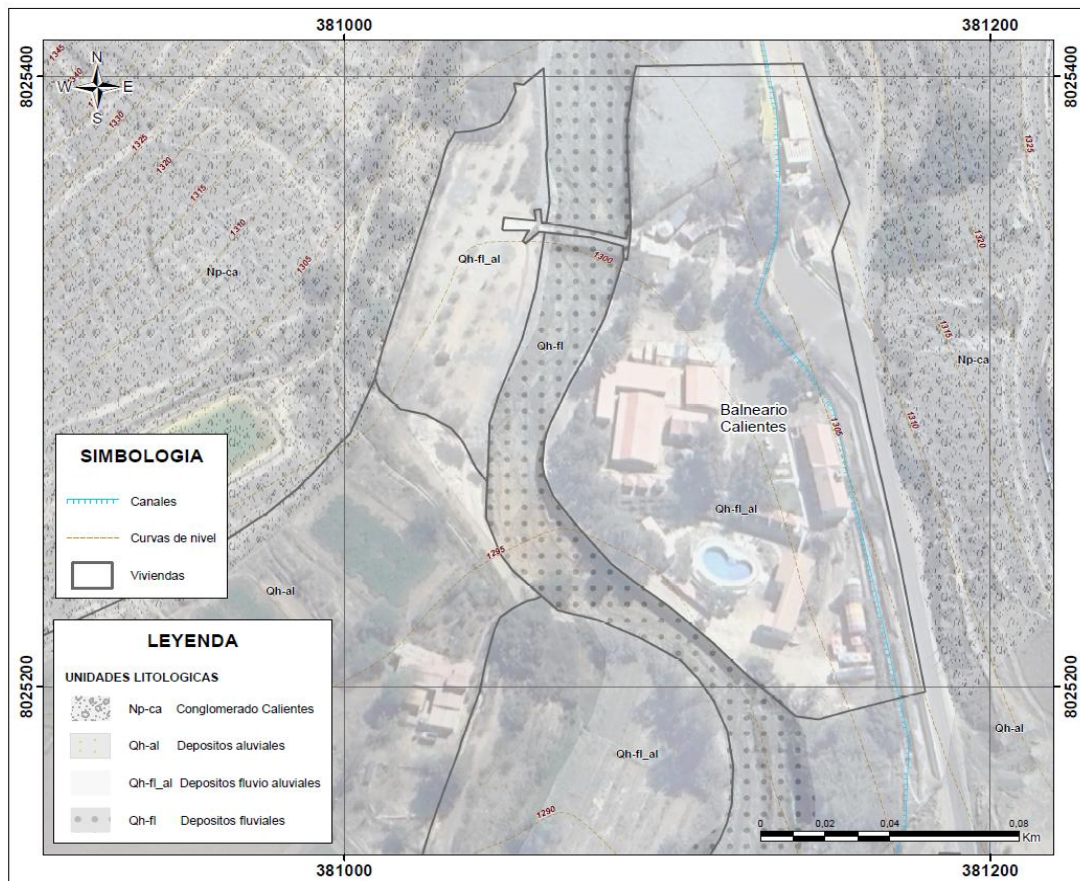
ERA	PERIODO	ÉPOCA	UNIDAD LITOESTRATIGRÁFICA	ETIQUETA	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICA	CUATERNARÍO	Holoceno	Depósito fluvial	Qh-fl		Depósitos recientes de cauce de río, con gravas redondeadas no consolidadas, arenas y material residual.
			Depósito fluvio aluvial	Qh-fl_al		Depósitos en forma de fajas alargadas a inmediaciones del cauce del río, compuesto de gravas redondeadas a sub redondeadas, con arenas, entre otros.
	NEOGENO	Plioceno	Depósitos volcánicos (Toba Pachia)	Np-tp		Flujo ignimbrítico presente en el valle de Tacna y erosionado por el río Caplina. Aflora en la zona de estudio con coloraciones rosadas a pardas.
			Conglomerados Calientes	Np-ca		La unidad se encuentra compuesta de conglomerados dentro de una matriz arenosa, con cantos, gujarros sub redondeados y mal sorteados.
		Mioceno	Formación Huaylillas	Nm-hu		Depósitos de ignimbritas y cenizas de color blanquecino a beige, productos de eventos volcánicos.
	PALEÓGENO	Oligoceno	Formación Moquegua	Po-mo		Conformada principalmente por material detrítico, mayormente de origen volcánico (conglomerados).

*Nota.* Elaboración propia.

El Balneario de Calientes se encuentra emplazado en un depósito fluvio aluvial perteneciente a los eventos antiguos de flujos fluvio torrencial del Cuaternario. Asimismo, estas unidades suelen ser muy características en zona de valles, como es el caso del valle de Caplina.

**Figura 11**

*Mapa de Geología Local de la zona de estudio*



*Nota.* Elaboración propia.

## *Geomorfología*

### **A. Geomorfología Regional**

#### **Relieve de Montañas y Colinas en Roca Volcánica (RMC-rv)**

Según Luque et al. (2021), esta unidad tiene una pendiente de 15° a 25°, conformado por afloramientos de roca volcánica. Los relieves de montañas y colinas representan unidades generalizadas con fines de clasificación y mejor manejo según la escala en la que se trabaje.

#### **Relieve de Montañas y Colinas en Rocas Sedimentarias (RMC-rs)**

Según Luque et al. (2021), esta unidad puede evidenciar pendiente que van de 25° a 55, conformada por afloramientos de roca sedimentaria, reducidos por procesos denudativos. Tienen una altura mayor a 120 m con respecto al nivel de base local (fondo del valle del río Caplina). Esta geomorfología está modelada en rocas sedimentarias como areniscas del Grupo Cabanillas, o secuencias arcillosas o calcáreas de las formaciones Moquegua Superior, Socosani, entre otros.

#### **Relieve de Colina en Roca Sedimentaria (RC-rs)**

Según Luque et al. (2021), esta unidad evidencia pendientes de 15° a 25° conformada por conglomerados de Formaciones como Moquegua, Socosani y Sotillo. Asimismo, en la región están distribuidos espacialmente a lo largo de la Cordillera

Occidental. Se tiene ejemplos en los cerros Azul, Gangolar, Calientes, Aciruni, entre otros, en el distrito de Ciudad Nueva. (p.72)

### **Relieve de Colina y Lomada en Rocas Intrusivas (RCL-ri)**

Según Luque et al. (2021), Son afloramientos de rocas ígneas intrusivas con desniveles de hasta 300 m. Presentan formas redondeadas, pendientes moderadas, donde se desarrollan procesos de erosión en laderas. Se disponen de manera discontinua y reducida al lado noroeste de la región. (pp.72-73)

### **Relieve de Colinas y Lomadas en Rocas Sedimentarias (RCL-rs)**

Según Luque et al. (2021), esta unidad denota pendientes entre 15° a 25°, representan las colinas y lomadas con diferentes grados de disección. Está subunidad está distribuida principalmente en la Cordillera Occidental y restringida a la Cordillera de la Costa y la Llanura Preandina. Se muestran ejemplos en los sectores superiores de las quebradas Cimarrona, Palomo, Caballo Muerto y Toquepala, cerro Turulaca, entre otros, en el distrito de Ilabaya. (p.73)

### **Relieve de Colinas y Lomada Disectada en Roca Sedimentaria (RCLD-rs)**

Según Luque et al. (2021), son Terrenos de superficie ligeramente abrupta, laderas de moderada pendiente (5° a 15°), fuertemente disectadas con cumbres

subredondeadas, y constituidas por conglomerados y areniscas de la formación Moquegua Superior e Inferior, Formación Millo, entre otros. (p.75)

### **Superficie de Flujo Piroclástico (Sfp)**

Según Luque et al. (2021), son superficies conformadas por depósitos de flujos piroclásticos, originados por el colapso de columnas Plinianas (Lugo, 1989). Suelen presentar áreas algo extensas con cárcavas, como resultado de la erosión por la arrollada y evidentemente están asociadas a volcanes explosivos. Se conforman por material del tipo piroclástico de la Formación Huaylillas de composición dacítica y riolítica, depósitos piroclásticos de la Formación Sencca, entre otros. (p. 79)

En nuestra zona de estudio, esta unidad evidencia pendientes menores a 15°, es un área relativamente plana y extensa.

### **Superficie de Flujo Piroclástico Disectado (Sfp-d)**

Según Luque et al. (2021), a diferencia de la subunidad anterior presenta una expresión de múltiples cárcavas desarrollados sobre los depósitos de flujos piroclásticos. (p.79) Esta unidad evidencia pendientes suaves entre 7° a 10°, está compuesta por tobas de la formación Huaylillas. La superficie se presenta en forma de mesetas que coronan las montañas más altas de la región, separadas por los principales ríos y quebradas. Estas superficies pueden observarse al norte del río Caplina.

### **Vertiente o Piedemonte Aluvio Torrencial (V-al)**

Según Luque et al. (2021), esta unidad está constituido por sucesiones de abanicos aluviales y aluvio-diluviales, se encuentran en su mayoría en las zonas de Pachía, Calana y Pocollay, formando planicies aluviales extensas al margen del río Caplina. Este material es de constitución detrítica de edad cuaternaria. Suelen presentarse tanto en los flancos de quebradas o valles y terrenos inclinados como rampas. (p.83)

### **B. Geomorfología Local**

#### **Relieves de Montañas y Colinas de Rocas Sedimentarias (RMC-rs)**

Según Luque et al. (2021), esta unidad evidencia montañas abruptas desarrolladas entre los 1200 y 1400 msnm, con pendientes moderadas a fuertes, cortadas por profundos valles en forma de «V» producto de la acción erosiva de las escasas precipitaciones pluviales en este sector.

#### **Relieve de Colinas y Lomadas en Rocas Sedimentarias (RCL-rs)**

Según Luque et al. (2021), esta unidad evidencia pendientes de 15° a 25°, representada por colinas y lomadas de rocas sedimentarias.

### **Superficie de Flujo Piroclástico (S-fp)**

Según Luque et al. (2021), esta unidad evidencia pendientes menores a 15°, es relativamente plana y extensa, se ubica hacia el norte de anexo Calientes y limita al norte con lomada y colinas de rocas sedimentarias.

### **Terrazas Fluvio Aluviales (Ta-fl\_al)**

Se encuentran ubicada en el curso de los ríos, sobre todo tienen su mayor extensión en los ríos estacionarios. Litológicamente está compuesto por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos, gravas, arenas, entre otros), que son transportados por la corriente del río Caplina a grandes distancias y se depositan conformando la llanura de inundación o el lecho de los ríos. El balneario de Calientes se encuentra asentada sobre esta unidad geomorfológica como se ve en el mapa MGL-02.

## Fotografía 6

### *Terrazas fluvio aluviales*



*Nota.* El balneario de Calientes está construido sobre una terraza fluvio aluvial antigua. Así mismo, se observan terrazas aluviales en la parte superior de la terraza aluvial. Elaboración propia.

Para visualizar mejor las unidades geomorfológicas a nivel regional y local, se sugiere ver los mapas anexados en el presente documento.

### **Terrazas Altas Fluvio Aluviales (Tb-fl\_al)**

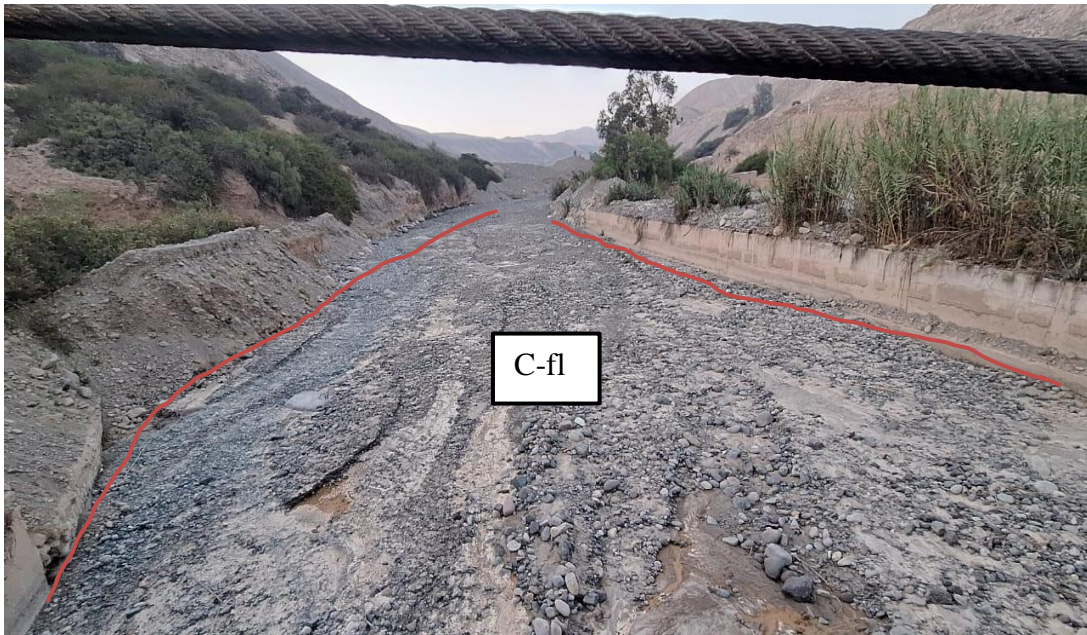
Son porciones de terreno que se encuentran ubicadas al margen del río Caplina, sobre esta subunidad se encuentran asentadas las viviendas del distrito de Pachía.

## Cauce Fluvial (C-fl)

En esta unidad se desarrolla el cauce del río Caplina, se muestra lechos planos y flancos escarpados propios de valles en “U”.

### Fotografía 7

*Cauce fluvial*

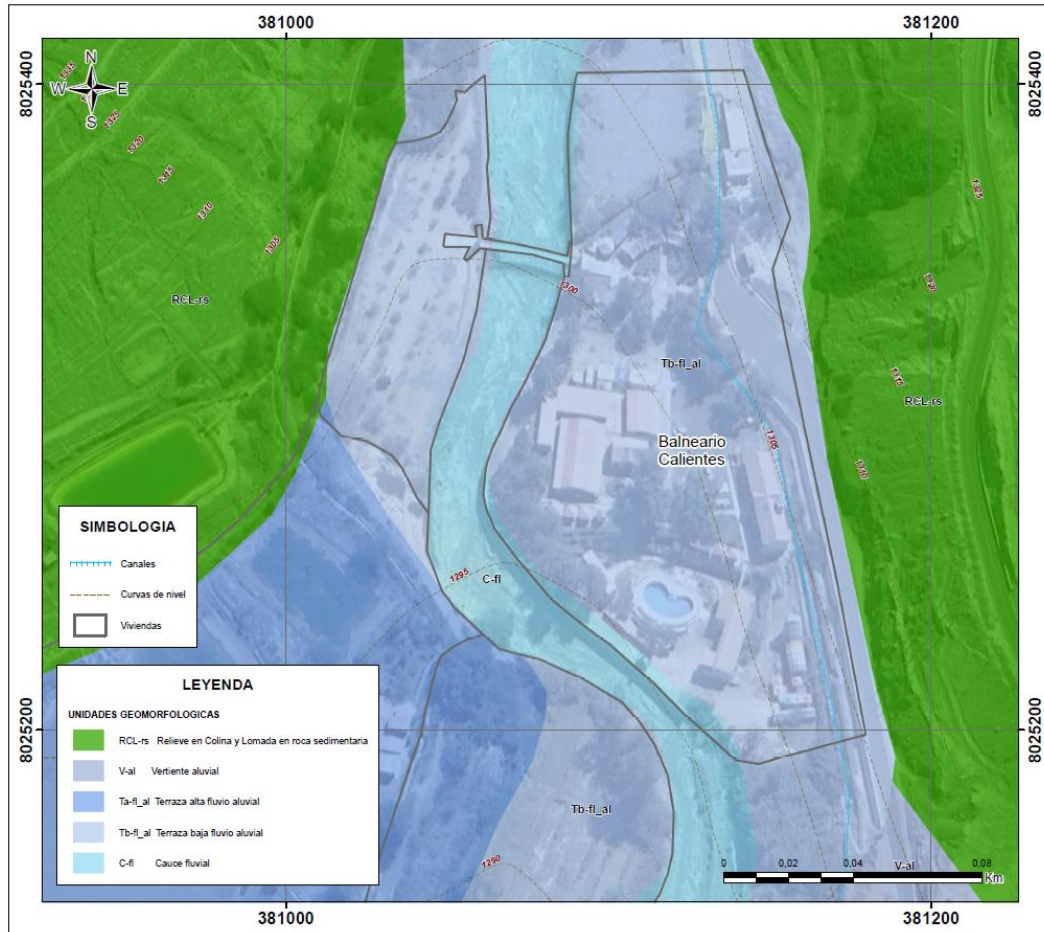


*Nota.* Cauce fluvial propio del río Caplina donde se observa que presente un cauce de ancho Variable. Elaboración propia.

El Balneario de Calientes se encuentra emplazado en una terraza fluvio aluvial producto de la depositación en micro terrazas de los eventos antiguos de flujos fluvio torrencial del Cuaternario. Asimismo, estas unidades suelen ser muy características en zona de valles, como es el caso del valle del Caplina.

**Figura 12**

*Mapa de Geomorfología Local del área de estudio*



*Nota.* Elaboración propia.

### ***Marco Estructural***

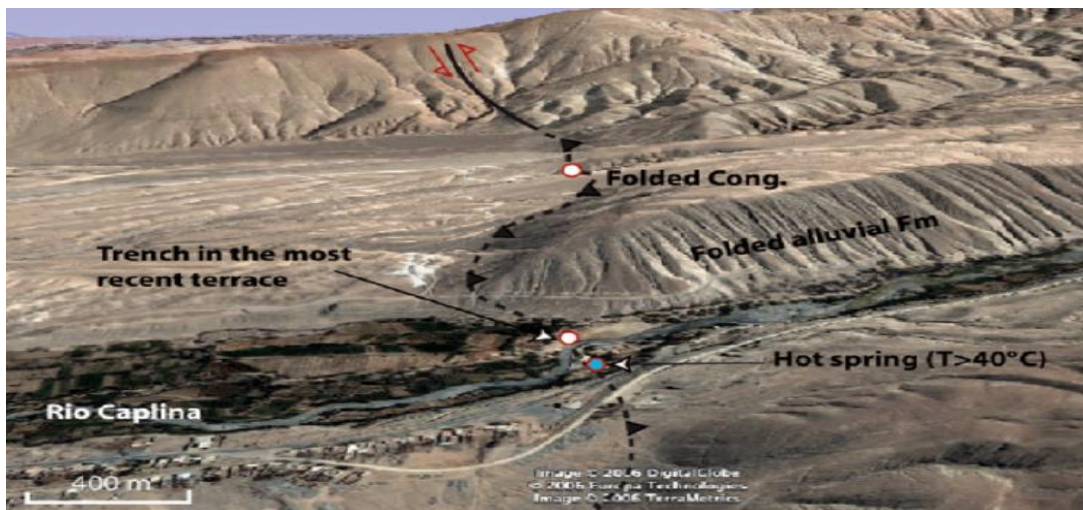
Los rasgos estructurales en la zona de estudio son consecuencia de las últimas fases de deformación andina durante el Turoniano - Coniaciano (Cretácico Superior) hasta la actualidad.

## Sistema de Fallas Sama Calientes

Nuestra zona de estudio se ubica a una altura media de 1 300 msnm, y se extiende al río Locumba y la frontera Perú-Chile. La traza de la falla a traviesa la ciudad de Tacna, por esta razón presenta un tipo de riesgo que debe considerarse. El sistema de fallas Sama-Calientes afecta depósitos aluviales, fluviales y lacustres pertenecientes a las terrazas aluviales del Plioceno, Pleistoceno y Holoceno (Benavente et al., 2008). En el río Caplina se ubica junto a la traza de falla una fuente de aguas calientes de más de 40 °C, en la misma dirección se observa un afloramiento en la margen izquierda del río Caplina (señalado con punto blanco), el que evidencia una falla inversa en la terraza más reciente.

### Figura 13

#### *Falla Inversa Sama-Calientes*



*Nota.* En la figura se observa en líneas punteadas la presencia de la Falla Inversa Sama-Calientes, Audin, L (2007).

## Figura 14

### *Flexuramiento de un estrato*



*Nota.* En las líneas punteadas puede observarse el flexuramiento del estrato, formando un arco. Elaboración propia.

## ***Geodinámica***

### **A. Geodinámica Interna**

Los peligros identificados por fenómenos de geodinámica interna en nuestra área de estudio son:

- **Sismos:** La ocurrencia de sismos en el interior de la tierra es común, las cuales son causadas por la fricción de las placas tectónicas o fallas geológicas. En la zona de estudio se tiene la presencia de la falla Sama Calientes, asimismo la

alta actividad sísmica en nuestra región a consecuencia de nuestra ubicación en el cinturón del fuego no mantiene en una zona sísmica 4.

## **B. Geodinámica Externa**

Los peligros identificados por fenómenos de geodinámica externa en nuestra área de estudio son los siguientes:

- **Flujos:** En el distrito de Pachía se encuentra presentes quebradas que en épocas de avenidas suelen saturarse y desplazarse hacia el cauce del río Caplina pasando por viviendas, áreas de cultivo, estructuras expuestas (iglesias, colegios, entre otros.). Nuestra área no tiene afectación directa de la manifestación de este peligro.
- **Inundaciones fluviales:** En nuestra área de estudio se encuentra en paralelo el río Caplina, que en épocas de lluvias supera su caudal máximo generándose inundaciones que afectan de manera directa a la zona de Balneario Calientes.

### **3.1.1.3. Características Sociales**

Los datos a continuación son de la información recopilada durante el levantamiento de información de campo a través de encuestas.

### ***Población Total***

Según la encuesta realizada en la zona de estudio se estimó una población de 140 habitantes, de los cuales 120 son turistas y 20 son trabajadores permanentes del Balneario.

**Tabla 19**

*Población total en el Balneario de Calientes*

<b>Población</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Turistas (Población variable)	120	85,71
Trabajadores del Balneario (Población permanente)	20	14,29
<b>TOTAL</b>	<b>140</b>	<b>100,00</b>

*Nota.* La tabla muestra la población total encuestada. Elaboración propia.

### ***Población según grupo de edades***

La población estimada por grupo de edades en el Balneario de Calientes, se distribuye en su mayoría en el grupo etario de 13 a 15 años. Siendo está conformada por los turistas de los colegios, que vienen debido a su malla curricular, de manera habitual cada año.

**Tabla 20***Población según grupo de edades*

<b>Grupo Etareo</b>	<b>cantidad</b>	<b>centaje (%)</b>
De 0 a 5 años y mayor a 65 años	14	10,00
De 6 a 12 años y 60 a 65 años	7	5,00
De 13 a 15 años y 50 a 59 años	62	44,29
De 16 a 30 años	45	32,14
De 31 a 49 años	12	8,57
<b>TOTAL</b>	<b>140</b>	<b>100,00</b>

*Nota.* Distribución según grupo Etareo. Elaboración propia.

### ***Material predominante de las paredes exteriores***

Se observó que el Balneario de Calientes está compuesto, en su mayoría por ladrillo o bloque de concreto, en su mayoría de un solo nivel de altura, a excepción del alojamiento para turistas que son dos pisos.

**Tabla 21***Material predominante de las paredes exteriores*

<b>Material Predominante</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Ladrillo o bloque de cemento	75,00
Madera / Triplay	25,00
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>

*Nota.* Se muestra la predominancia de material en las paredes exteriores del balneario. Elaboración propia.

### *Servicios de Agua Potable*

El Balneario de Calientes cuenta con servicio de agua potable, asimismo tiene a disposición tanques elevados de gran dimensión que le permite abastecerse todo el año.

**Tabla 22**

*Abastecimiento de agua en el balneario*

<b>Abastecimiento de Agua</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Red pública dentro de la vivienda	1	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>100,00</b>

*Nota.* Se muestra el tipo de abastecimiento que tiene el balneario según encuesta. Elaboración propia.

### *Servicio Higiénico*

El Balneario de Calientes cuenta con Servicios Higiénicos habilitados para el uso del personal trabajador del recinto, así como de los turistas que vienen cada año.

**Tabla 23**

*Servicio higiénico en el balneario*

<b>Servicio Higiénico</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Red pública de desagüe dentro de la vivienda	1	100,00
<b>TOTAL</b>	<b>1</b>	<b>100,00</b>

*Nota.* Se muestra el tipo de servicio higiénico del balneario. Elaboración propia.

### *Energía Eléctrica*

El Balneario de Calientes, cuenta con conexión eléctrica que les permite mantener la iluminación de sus diferentes ambientes a lo largo del día.

#### **3.1.1.4. Características Económicas**

##### *Población económicamente activa*

Considerando a nivel de distrito, solo 668 habitantes se encuentran económicamente activas según encuesta del INEI que consiste en el 32,40 % de su población total. La población masculina es económicamente activa más que la femenina, según se tiene en las encuestas del INEI. La principal actividad económica práctica en el distrito es la agricultura. En contraste, en el balneario de calientes la principal actividad económica es el turismo.

##### *Población económicamente no activa*

La PENA del distrito de Pachía según INEI se constituye de 1 394 habitantes.

**Tabla 24**

*Distribución de la población*

<b>Población económicamente activa y no activa</b>			
<b>Pachía</b>	<b>Población total</b>	<b>Población masculina</b>	<b>Población femenina</b>
PEA	668	540	128
PENA	1 394	581	813
TOTAL	2 062	1 121	941

*Nota.* La tabla muestra la distribución de la población activa y no activa, Costa Aponte (2018).

### ***PEA por rama de actividad económica***

La siguiente descripción se realizó en un marco distrital, mostrando las diferentes actividades económicas y su enfoque en cada una.

- Extractivas  
Se considera a la agricultura, ganadería y explotación de minas.
- Transformación  
Consideran las industrias manufactureras, suministros eléctricos, gas, agua y construcción.
- Servicios

Consideran al ámbito comercial y de servicios públicos o privados que brinden a los diferentes consumidores.

**Tabla 25**  
*PEA por rama de actividad económica*

<b>Condición de actividad</b>		<b>Porcentaje</b>
<b>PEA</b>		<b>%</b>
Extractivo	405	60,63
Transformación	40	5,99
Servicios	144	21,56
No especificado	60	8,98
Buscando trabajo por primera vez	19	2,84
<b>TOTAL</b>	<b>668</b>	<b>100</b>

*Nota.* La tabla muestra la distribución de la población económicamente activa por tipo de actividad económica, Costa Aponte, (2018).

### **3.1.1.5. Características Ambientales**

#### ***Cobertura Vegetal***

Según Luque et al. (2021) describe que en la región de Tacna la cobertura de suelo no necesariamente es vegetal, por ende, se describen los siguientes tipos de cobertura vegetal natural:

#### **Actividad Agrícola (Aa)**

Cobertura antrópica, ubicada en todos los valles que atraviesan el desierto costero, las zonas cultivables principales se encuentran en los valles de Caplina, Sama y Locumba; ocupan parte de los abanicos y terrazas aluviales.

La vegetación predominante en el distrito son los cultivos: maíz, maíz forrajero, zapallos, papa, alfalfa, uvas, peras, paltas, entre otros. Así mismo, también se cultivan árboles como son las cañas, el molle, entre otros. Que tienen como principal función servir para la delimitación de áreas de cultivo y viviendas. Muchas viviendas que colindan con el cauce del río Caplina usan cañas y carrizos como barreras de protección durante las épocas de grandes avenidas que propician al desborde del río Caplina.

### **Desierto Semicálido (De-sc)**

La vegetación es muy escasa se distribuye con una densidad decreciente de norte a sur y de oeste a este. Aparentemente la escasa precipitación pluvial representa un factor limitante para realizar plantación de vegetación.

### **Desierto Costero (De-co)**

La vegetación aparece de manera esporádica y en baja densidad. El clima de esta zona se caracteriza por ser árido y cálido en verano (diciembre – marzo) y con neblinas en el invierno (mayo-septiembre) provenientes del mar.

Para visualizar mejor las unidades de cobertura vegetal se sugiere ver los anexos en el presente documento.

### ***Usos de Suelo***

La distribución del Suelo a nivel distrital, es fundamentalmente residencial, educacional, recreacional, entre otros. Según se puede ver en la siguiente tabla.

**Tabla 26***Usos de suelo*

USOS DE SUELO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	PORCENTAJE (%)
Uso Residencial	121 440	18,82
Uso Mixto	10 560	1,64
Uso Educacional	7 665	1,19
Uso para la Salud	2 225	0,34
Uso Recreacional	26 050	4,04
Uso pre-Urbano	13 440	20,82
Otros Usos	189 760	29,40
Uso y Espacios Públicos	153 300	23,75
TOTAL	524 440	100,00

*Nota.* Se muestra la distribución de usos de suelos por hectáreas en el distrito de Pachía, Y. Limachi y J. Limachi Cori (2020).

– Uso Residencial

Su extensión de área es de 121,440 m<sup>2</sup> y representa el 18,82 % del área urbana.

– Equipamiento de Educación

Se consideran los tres niveles educativos: inicial, primaria y secundaria.

– Equipamiento de Salud

Se considera a la posta de salud que brindan atención a la población de la jurisdicción.

– Uso Recreativo

Se consideran en esta extensión de áreas a los Baños termales de Calientes, Complejo infantil, Estadios, parques y lozas deportivas.

### **3.1.1.6. Análisis de los elementos expuestos**

#### ***Bocatoma Calientes***

En el área de estudio, se tiene la Bocatoma Calientes que en años anteriores ha reportado ingresos de caudales que sobrepasan la cantidad soportada por la estructura misma, actualmente se encuentra en estado de abandono.

#### **Fotografía 8**

##### ***Bocatoma Calientes***



*Nota.* La imagen muestra la vista aguas arriba de la Bocatoma Calientes.  
Elaboración propia.

#### ***Canales aledaños***

En el área de estudio existe un canal de concreto denominado “Challata” que conduce el agua captada por la bocatoma del mismo nombre. En grandes avenidas este

canal suele sobrepasar su capacidad máxima, provocando ingresos en las zonas aledañas al mismo.

### **Fotografía 9**

*Canal Challata*



*Nota.* La imagen muestra el estado situacional del Canal Challata. Elaboración propia.

### ***Puente Calientes***

En el distrito de Pachía existen pocos pases que conecten ambos flancos del cauce del río, específicamente en nuestra área de estudio se tiene la presencia del puente colgante Calientes.

### **Fotografía 10**

*Vista desde aguas abajo del puente colgante de Calientes, emplazado sobre el río Caplina*



*Nota.* Elaboración propia.

### ***Balneario de Calientes***

El Balneario Calientes es un complejo turístico ubicado en el distrito de Pachía, con un aforo máximo de 120 personas (visitantes), 20 personas que trabajan en el interior que en total da la suma de 140 personas. En este lugar se ofrecen servicios como: piscina, pozas termales, áreas de juegos, patio de comidas, entre otros. Se tienen reportes inundación fluvial que han dejado sin funcionamiento al complejo por periodos prolongados.

## **Fotografía 11**

### *Balneario Calientes*



*Nota.* La imagen muestra una vista lateral del Balneario Calientes. Elaboración propia.

Para visualizar mejor los elementos expuestos que se encuentran en el área de estudio, se sugiere ver los mapas anexados en el presente documento.

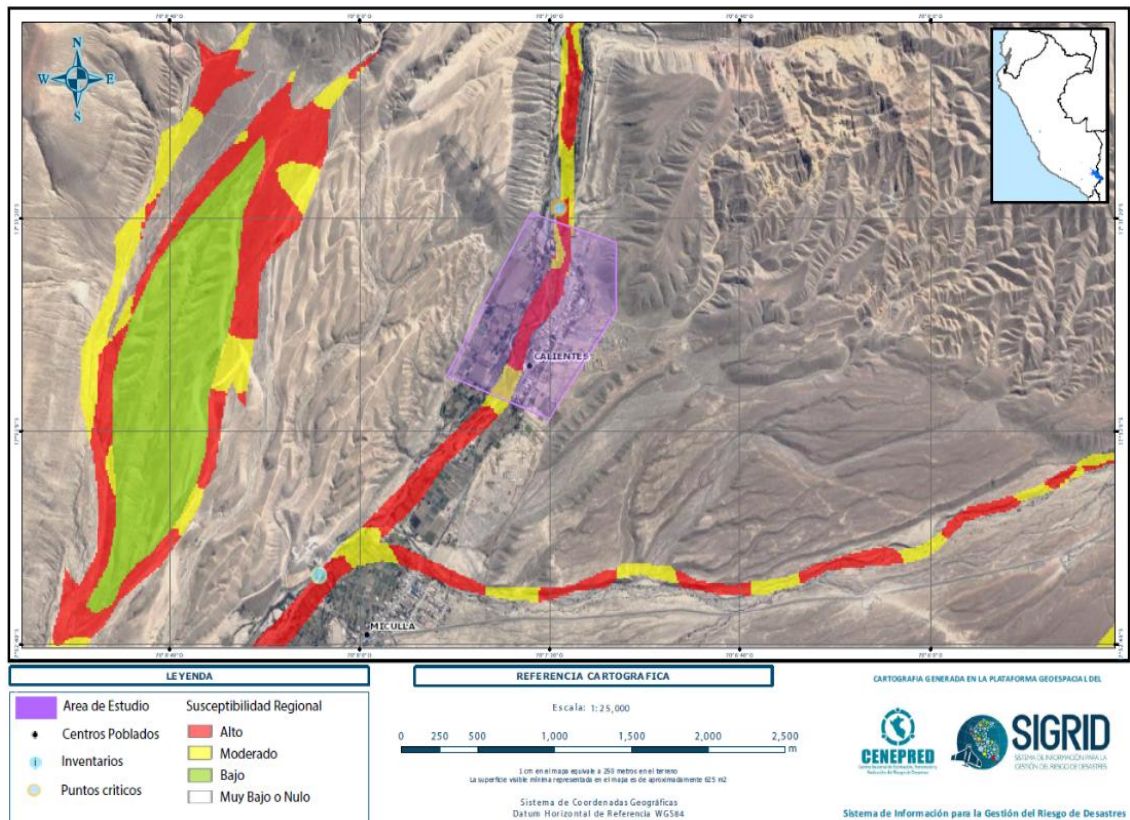
### **3.1.2. Determinación del nivel de Peligro**

#### **3.1.2.1. Identificación del Peligro**

Para la identificación de la zona de peligro, se consultó plataformas digitales de acceso libre como es el caso del SIGRID, INGEMMET, SENAMHI, ANA, para la sustentación del peligro identificado.

**Figura 15**

*Susceptibilidad Regional por Inundación*



*Nota.* La imagen muestra la susceptibilidad regional por peligro por Inundación. Elaboración propia adaptada por la plataforma de SIGRID.

Así mismo, también se consideró los reportes del INDECI y los estudios del ANA donde se identifican más de 11 puntos críticos para la cuenca de Caplina, teniendo la mayor cantidad de puntos críticos en el distrito de Pachía.

## **Figura 16**

### *Bocatoma Calientes*



*Nota.* La figura muestra el estado situacional de la bocatoma Calientes con fecha 25/01/2019 el cual evidencia un aumento de caudal significativo, Diario El Correo (2019). Actualmente la bocatoma se encuentra no operativa.

### ***Evento Anómalo de Precipitación***

El 8 de febrero de 2019 se registraron lluvias de moderada a fuerte intensidad en la región de Tacna, específicamente se vieron afectados fuertemente las provincias de Tacna y Jorge Basadre. La estación meteorológica Palca, es la estación que fue considerada para este estudio. Se consideraron los umbrales de precipitación de la Estación Palca como descriptores, debido a la representatividad de la cuenca para la zona de estudio.

Para visualizar mejor los rangos de precipitación del área de estudio, se sugiere ver el siguiente mapa que también está anexado en el presente documento.

**Figura 17**

*Mapa de precipitaciones*



*Nota.* Elaboración propia.

### 3.1.2.2. Recopilación y análisis de la información

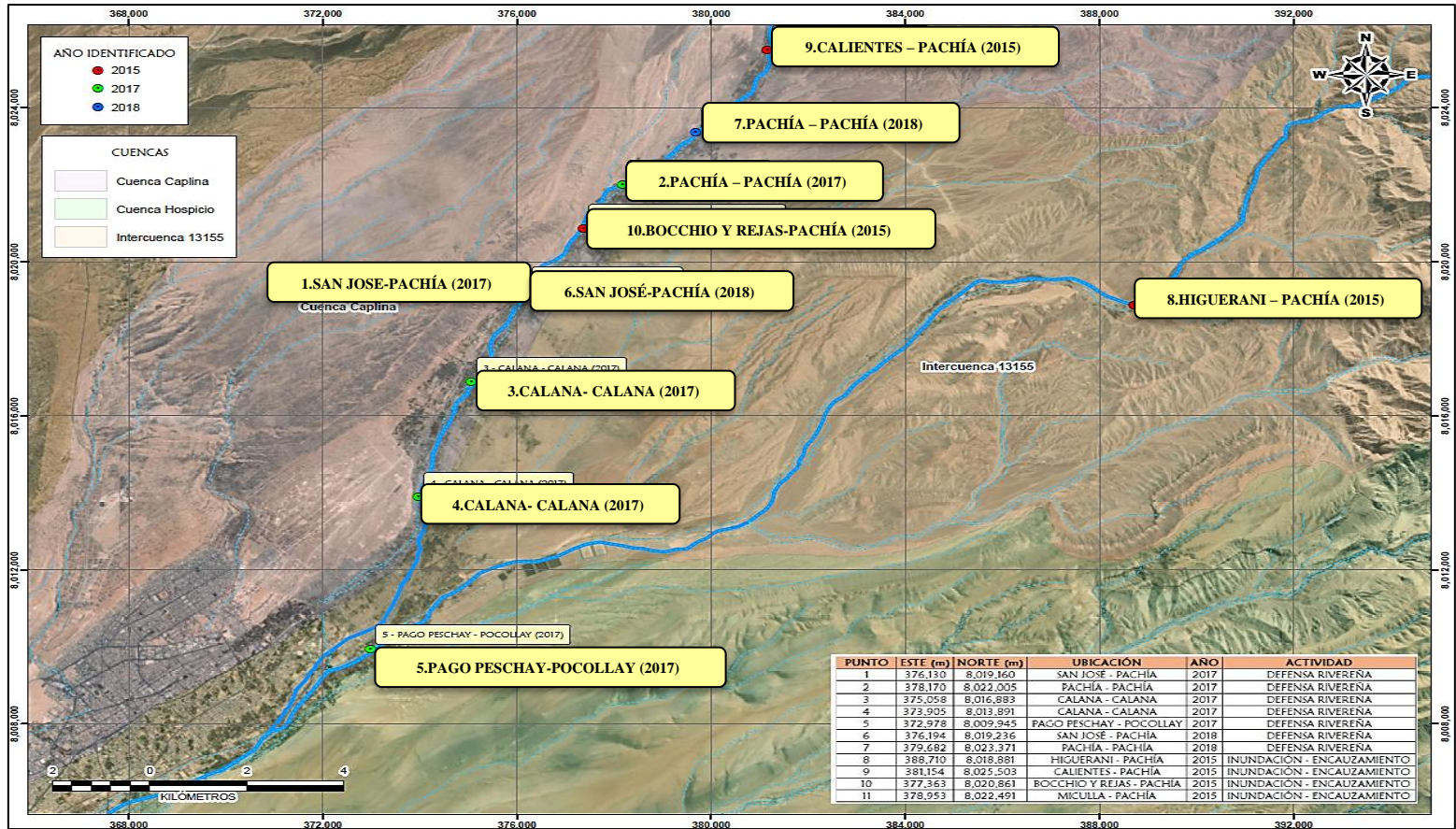
Según informes realizados por la Autoridad Nacional del Agua se realizó la identificación de 11 puntos críticos para la zona del río Caplina, teniéndose que cerca

a nuestra área de estudio se encuentra ubicado un punto crítico según se observa en el siguiente mapa.

Así mismo, según Luque et al. (2021) se tienen identificados zonas críticas por peligros geológicos e hidrometeorológicos en la provincia de Tacna. Se identificó que en el margen derecho del río Caplina en el sector de Calientes, está sujeta a inundación y el margen izquierdo está sujeta a erosión fluvial. Se describe que se encuentra un muro de contención colocado para proteger específicamente las instalaciones de los Baños Termales en el margen izquierdo para protegerlo de desbordamientos.

**Figura 18**

*Puntos críticos por Inundación*



Nota. Esta figura muestra la identificación de 11 puntos críticos para todo el río Caplina realizado por el ANA.

Elaboración propia, adaptada del SIGRID.

**Figura 19**

*Identificación de áreas de inundación*

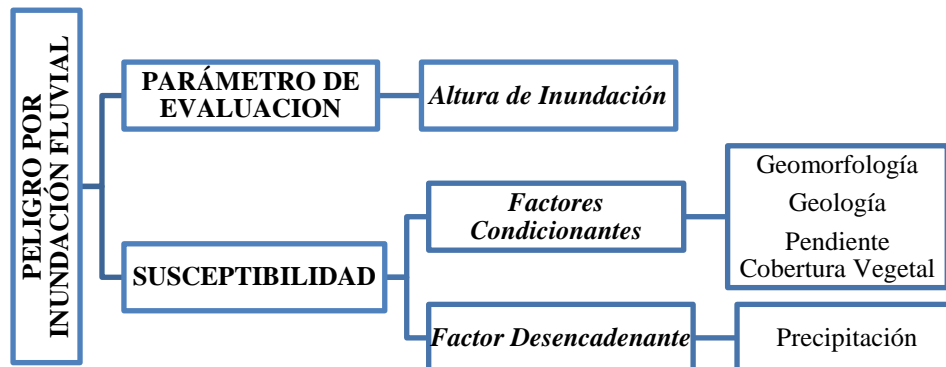


*Nota.* Esta figura muestra (a) la identificación de las áreas sujetas a inundación y erosión fluvial, (b) la vista del muro de contención existente en el Balneario de Calientes. Luque et al. (2021).

### 3.1.2.3. Ponderación de los parámetros del peligro

**Figura 20**

*Jerarquización de los factores para la determinación del peligro*



*Nota.* La figura muestra los factores y el parámetro utilizado para la determinación del Peligro. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

## *Parámetro de Evaluación*

### **Altura de Inundación**

**Tabla 27**

*Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación: Altura de Inundación*

<b>ALTURA DE INUNDACION (m)</b>	<b>Mayores a 2,5 m</b>	<b>De 2,5 m a 2,0 m</b>	<b>De 1,9 m a 1,5 m</b>	<b>De 1,4 m a 0,5 m</b>	<b>Menores a 0,5 m</b>
<b>Mayores a 2,5</b>	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
<b>De 2,5 m a 2,0</b>	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
<b>De 1,9 m a 1,5</b>	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
<b>De 1,4 m a 0,5</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Menores a 0,5</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>Suma</b>	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
<b>1/suma</b>	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 28**

*Matriz de Normalización del Parámetro de Evaluación: Altura de Inundación*

<b>ALTURA DE INUNDACION (m)</b>	<b>Mayores a 2,5 m</b>	<b>De 2,5 m a 2,0 m</b>	<b>De 1,9 m a 1,5 m</b>	<b>De 1,4 m a 0,5 m</b>	<b>Menores a 0,5 m</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Mayores a 2,5</b>	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
<b>De 2,5 m a 2,0</b>	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
<b>De 1,9 m a 1,5</b>	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
<b>De 1,4 m a 0,5</b>	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
<b>Menores a 0,5</b>	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 29***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,061
<b>RC</b>	0,054

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 30***Ponderación del parámetro de evaluación*

<b>Altura de Inundación</b>			<b>Valor</b>	<b>Peso</b>
<b>Descriptor</b>	<b>Ppar</b>	<b>Pdesc</b>		
Mayores a 2,5 m		0,503	0,503	
De 2,5 m a 2,0 m		0,260	0,260	
De 1,9 m a 1,5 m	1,00	0,134	0,134	0,50
De 1,4 m a 0,5 m		0,068	0,068	
Menor a 0,5 m		0,035	0,035	

*Nota.* La tabla muestra el parámetro de evaluación y el valor por descriptores.  
Elaboración propia adaptada del CENEPRED.

Para visualizar mejor las alturas de inundación para un periodo de retorno de 50 años en el área de estudio, se sugiere ver los mapas anexados en el presente documento.

### ***Factores Condicionantes***

**Tabla 31**

*Matriz de comparación de pares de los factores condicionantes*

<b>FACTORES CONDICIONANTES</b>	<b>Geomorfología</b>	<b>Geología</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Cobertura vegetal</b>
<b>Geomorfología</b>	1,00	2,00	5,00	7,00
<b>Geología</b>	0,50	1,00	3,00	5,00
<b>Pendiente</b>	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Cobertura vegetal</b>	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>SUMA</b>	1,84	3,53	9,33	16,00
<b>1/SUMA</b>	0,54	0,28	0,11	0,06

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 32**

*Matriz de Normalización de los Factores Condicionantes*

<b>FACTORES CONDICIONANTES</b>	<b>Geomorfología</b>	<b>Geología</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Geomorfología</b>	0,543	0,566	0,536	0,438	0,520
<b>Geología</b>	0,271	0,283	0,321	0,313	0,297
<b>Pendiente</b>	0,109	0,094	0,107	0,188	0,124
<b>Cobertura vegetal</b>	0,078	0,057	0,036	0,063	0,058

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 33**

*Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,017
<b>RC</b>	0,016

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Pendiente**

**Tabla 34**

*Matriz de comparación de pares del factor condicionante: Pendiente*

<b>PENDIENTE</b>	<b>Mayor a 35°</b>	<b>De 20° a 35°</b>	<b>De 10° a 20°</b>	<b>De 5° a 10°</b>	<b>Menor a 5°</b>
<b>Mayor a 35°</b>	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
<b>De 20° a 35°</b>	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
<b>De 10° a 20°</b>	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
<b>De 5° a 10°</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Menor a 5°</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>SUMA</b>	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
<b>1/SUMA</b>	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 35**

*Matriz de Normalización del factor condicionante: Pendiente*

<b>PENDIENTE</b>	<b>Mayor a 35°</b>	<b>De 20° a 35°</b>	<b>De 10° a 20°</b>	<b>De 5° a 10°</b>	<b>Menor a 5°</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Mayor a 35°</b>	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
<b>De 20° a 35°</b>	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
<b>De 10° a 20°</b>	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
<b>De 5° a 10°</b>	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
<b>Menor a 5°</b>	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 36***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,061
<b>RC</b>	0,054

Nota. Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Geomorfología****Tabla 37***Matriz de comparación de pares del factor condicionante: Geomorfología*

<b>GEOMORFOLOGIA</b>	<b>Cauce Fluvial (C-fl)</b>	<b>Terraza baja fluvio aluvial (Tb-fl_al)</b>	<b>Terraza alta fluvio aluvial (Ta-fl_al)</b>	<b>Relieve en Colina y Lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)</b>	<b>Relieve de Montaña y Colina en roca sedimentaria (RMC-rs)</b>
<b>Cauce Fluvial (C-fl)</b>	1,00	3,00	4,00	7,00	9,00
<b>Terraza baja fluvio aluvial (Tb-fl_al)</b>	0,33	1,00	2,00	5,00	7,00
<b>Terraza alta fluvio aluvial (Ta-fl_al)</b>	0,25	0,50	1,00	3,00	5,00
<b>Relieve en Colina y Lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	2,00
<b>Relieve de Montaña y Colina en roca sedimentaria (RMC-rs)</b>	0,11	0,14	0,20	0,50	1,00
<b>Suma</b>	1,84	4,84	7,53	16,50	24,00
<b>1/suma</b>	0,54	0,21	0,13	0,06	0,04

Nota. Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 38***Matriz de Normalización del factor condicionante: Geomorfología*

<b>GEOMORFOLOGÍA</b>	<b>Cauce Fluvial (C-fl)</b>	<b>Terraza baja fluvio aluvial (Tb-fl_al)</b>	<b>Terraza alta fluvio aluvial (Ta-fl_al)</b>	<b>Relieve en Colina y Lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)</b>	<b>Relieve de Montaña y Colina en roca sedimentaria (RMC-rs)</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Cauce Fluvial (C-fl)</b>	0,544	0,619	0,531	0,424	0,375	0,499
<b>Terraza baja fluvio aluvial (Tb-fl_al)</b>	0,181	0,206	0,265	0,303	0,292	0,250
<b>Terraza alta fluvio aluvial (Ta-fl_al)</b>	0,136	0,103	0,133	0,182	0,208	0,152
<b>Relieve en Colina y Lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)</b>	0,078	0,041	0,044	0,061	0,083	0,061
<b>Relieve de Montaña y Colina en roca sedimentaria (RMC-rs)</b>	0,060	0,029	0,027	0,030	0,042	0,038

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.**Tabla 39***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,030
<b>RC</b>	0,026

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

## Geología

**Tabla 40**

*Matriz de comparación de pares del factor condicionante: Geología*

<b>UNIDADES GEOLÓGICAS</b>	<b>Depósito fluvial (Qh-fl)</b>	<b>Depósito fluvio aluvial (Qh-fl_al)</b>	<b>Depósitos aluviales (Qh-al)</b>	<b>Conglomerado Calientes (Np-ca)</b>	<b>Toba Pachía (Np-tp)</b>
<b>Depósito fluvial (Qh-fl)</b>	1,00	2,00	4,00	7,00	9,00
<b>Depósito fluvio aluvial (Qh-fl_al)</b>	0,50	1,00	2,00	5,00	7,00
<b>Depósitos aluviales (Qh-al)</b>	0,25	0,50	1,00	3,00	5,00
<b>Conglomerado Calientes (Np-ca)</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Toba Pachía (Np- tp)</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>SUMA</b>	2,00	3,84	7,53	16,33	25,00
<b>1/SUMA</b>	0,50	0,26	0,13	0,06	0,04

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

**Tabla 41***Matriz de Normalización del factor condicionante: Geología*

<b>UNIDADES GEOLÓGICAS</b>	<b>Depósito fluvial (Qh-fl)</b>	<b>Depósito fluvio aluvial (Qh-fl_al)</b>	<b>Depósitos aluviales (Qh-al)</b>	<b>Conglomerad o Calientes (Np-ca)</b>	<b>Toba Pachía (Np-tp)</b>	<b>Vector Prioriza ción</b>
<b>Depósito fluvial (Qh-fl)</b>	0,499	0,520	0,531	0,429	0,360	0,468
<b>Depósito fluvio aluvial (Qh-fl_al)</b>	0,250	0,260	0,265	0,306	0,280	0,272
<b>Depósitos aluviales (Qh-al)</b>	0,125	0,130	0,133	0,184	0,200	0,154
<b>Conglomerado Calientes (Np-ca)</b>	0,071	0,052	0,044	0,061	0,120	0,070
<b>Toba Pachía (Np-tp)</b>	0,055	0,037	0,027	0,020	0,040	0,036

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.**Tabla 42***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,032
<b>RC</b>	0,028

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

## Cobertura Vegetal

**Tabla 43**

*Matriz de comparación de pares del factor condicionante: Cobertura Vegetal*

<b>COBERTURA VEGETAL</b>	<b>La (Río, lagos, cuerpos de agua)</b>	<b>De-co (Desierto costero)</b>	<b>De-sc (Desierto semi cálido)</b>	<b>Aa (Área agrícola)</b>	<b>Va (Vegetación abundante y permanente todo el año)</b>
<b>La (Río, lagos, cuerpos de agua)</b>	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
<b>De-co (Desierto costero)</b>	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
<b>De-sc (Desierto semi cálido)</b>	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
<b>Aa (Área agrícola)</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Va (Vegetación abundante y permanente todo el año)</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>SUMA</b>	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
<b>1/SUMA</b>	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

Nota. Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 44***Matriz de Normalización del factor condicionante: Cobertura Vegetal*

<b>COBERTURA VEGETAL</b>	<b>La (Río, lagos, cuerpos de agua)</b>	<b>De-co (Desierto costero)</b>	<b>De-sc (Desierto semi cálido)</b>	<b>Aa (Área agrícola)</b>	<b>Va (Vegetación abundante y permanente todo el año)</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>La (Río, lagos, cuerpos de agua)</b>	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
<b>De-co (Desierto costero)</b>	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
<b>De-sc (Desierto semi cálido)</b>	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
<b>Aa (Área agrícola)</b>	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
<b>Va (Vegetación abundante y permanente todo el año)</b>	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Tabla 45***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,061
<b>RC</b>	0,054

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 46***Ponderación de los Factores Condicionantes*

Geomorfología			Pendiente			Geología			Cobertura vegetal			Valor	Peso
Descriptor	Ppar	Pdesc	Descriptor	Ppar	Pdesc	Descriptor	Ppar	Pdesc	Descriptor	Ppar	Pdesc		
Cauce Fluvial (C-fl)		0,499	Mayor a 35°		0,503	Depósito fluvial (Qh-fl)		0,511	La (Río, lagos, cuerpos de agua)		0,503	0,508	
Terraza baja fluvio aluvial (Tb-fl_al)		0,250	De 20° a 35°		0,260	Depósito fluvio aluvial (Qh-fl_al)		0,257	De-co (Desierto costero)		0,260	0,259	
Terraza alta fluvio aluvial (Ta-fl_al)	0,520	0,152	De 10° a 20°	0,124	0,134	Depósitos aluviales (Qh-al)	0,297	0,139	De-sc (Desierto semi cálido)	0,058	0,134	0,130	0,50
Relieve en Colina y Lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)		0,061	De 5° a 10°		0,068	Conglomerado Calientes (Np-ca)		0,057	Aa (Área agrícola)		0,068	0,068	
Relieve de Montaña y Colina en roca sedimentaria (RMC-rs)		0,038	Menor a 5°		0,035	Toba Pachía (Np-tp)		0,036	Va (Vegetación abundante y permanente todo el año)		0,035	0,034	

*Nota.* La tabla muestra los factores condicionantes y su valor por cada descriptor. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

## *Factor Desencadenante*

### Umbrales de Precipitación

**Tabla 47**

*Matriz de comparación de pares del factor desencadenante: Percentiles de precipitación*

<b>PERCENTILES</b>	<b>Extremadamente Lluvioso: Mayor a 25,25 mm</b>	<b>Muy Lluvioso: 24,23 mm a 25,25 mm</b>	<b>Lluvioso: 23,00 mm a 24,23 mm</b>	<b>Moderadamente Lluvioso: 19,13 mm a 23,00 mm</b>	<b>Poco lluvioso: Menor a 19,13 mm</b>
<b>Extremadamente Lluvioso: Mayor a 25,25 mm</b>	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
<b>Muy Lluvioso: 24,23 mm a 25,25 mm</b>	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
<b>Lluvioso: 23,00 mm a 24,23 mm</b>	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
<b>Moderadamente Lluvioso: 19,13 mm a 23,00 mm</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Poco lluvioso: Menor a 19,13 mm</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>SUMA</b>	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
<b>1/SUMA</b>	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 48***Matriz de Normalización del factor desencadenante: Percentiles de precipitación*

<b>PERCENTILES</b>	<b>Extremadamente Lluvioso: Mayor a 25,25 mm</b>	<b>Muy Lluvioso: 24,23 mm a 25,25 mm</b>	<b>Lluvioso: 23,00 mm a 24,23 mm</b>	<b>Moderadamente Lluvioso: 19,13 mm a 23,00 mm</b>	<b>Poco lluvioso: Menor a 19,13 mm</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Extremadamente Lluvioso: Mayor a 25,25 mm</b>	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
<b>Muy Lluvioso: 24,23 mm a 25,25 mm</b>	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
<b>Lluvioso: 23,00 mm a 24,23 mm</b>	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
<b>Moderadamente Lluvioso: 19,13 mm a 23,00 mm</b>	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
<b>Poco lluvioso: Menor a 19,13 mm</b>	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Tabla 49***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,061
<b>RC</b>	0,054

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 50***Ponderación del Factor Desencadenante*

Umbral de Precipitación		
Descriptor	VALOR	PESO
Extremadamente Lluvioso: Mayor a 25,25 mm	0,503	
Muy Lluvioso: 25,25 mm a 24,23 mm	0,260	
Lluvioso: 24,23 mm a 23 mm	0,134	0,50
Moderadamente Lluvioso: 23 mm a 19,13 mm	0,068	
Poco lluvioso: Menor a 19,13 mm	0,035	

*Nota.* La tabla muestra el factor desencadenante y sus valores por descriptor. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

### 3.1.2.4. Niveles de Peligro

**Tabla 51***Niveles de Peligro por Inundación Fluvial*

NIVEL	PELIGRO				
<b>MUY ALTO</b>	0,260	≤	P	≤	0,500
<b>ALTO</b>	0,138	≤	P	<	0,260
<b>MEDIO</b>	0,067	≤	P	<	0,138
<b>BAJO</b>	0,035	≤	P	<	0,067

*Nota.* La tabla muestra los rangos determinados por cada nivel de peligro. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

### 3.1.2.5. Estratificación del nivel de peligrosidad

**Tabla 52**

*Estratificación del peligro*

NIVEL	DESCRIPCION	RANGO
<b>MUY ALTO</b>	Con una altura de inundación mayores a 2,5 m; unidad geomorfológica de cauce fluvial; unidad geológica de depósito fluvial; la pendiente es menor a 5; zona cubierta de agua (río); con precipitaciones extremadamente lluviosas que van mayores a 25,25 mm de percentiles de precipitación.	$0,260 \leq P \leq 0,500$
<b>ALTO</b>	Con una altura de inundación de 2,5 m a 2,0 m; unidad geomorfológica de Terraza baja fluvio aluvial; unidad geológica fluvio aluvial; la pendiente es de 5° a 10°; zona con una cobertura vegetal escasa propia de un desierto costero; con precipitaciones muy lluviosas que van de 25,25 mm a 24,23 mm de percentiles de precipitación.	$0,138 \leq P < 0,260$
<b>MEDIO</b>	Con una altura de inundación de 1,9 m a 1,5 m; unidad geomorfológica de Terraza alta fluvio aluvial y colina en roca sedimentaria; unidad geológica de depósitos aluviales, conglomerado calientes; la pendiente es de 10° a 20°; con poca cobertura vegetal por estar ubicado en un desierto semicálido; con precipitaciones lluviosas que van de 24,23 mm a 23 mm de percentiles de precipitación.	$0,067 \leq P < 0,138$
<b>BAJO</b>	Con una altura de inundación menor 1,5 m; unidad geomorfológica de colina y lomada en roca sedimentaria, montaña y colina en roca sedimentaria; unidad geológica Toba Pachía; la pendiente es mayor a 20°; con cobertura vegetal existente denotado por plantaciones y presencia de árboles de diferentes tipos; con precipitaciones moderadamente lluviosas menores a 23 mm de percentiles de precipitación.	$0,035 \leq P < 0,067$

*Nota.* La tabla muestra la descripción de los elementos determinados para cada nivel. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

El mapa de peligro fue presentado en el ítem de resultados.

### ***3.1.3. Determinación del nivel de Vulnerabilidad***

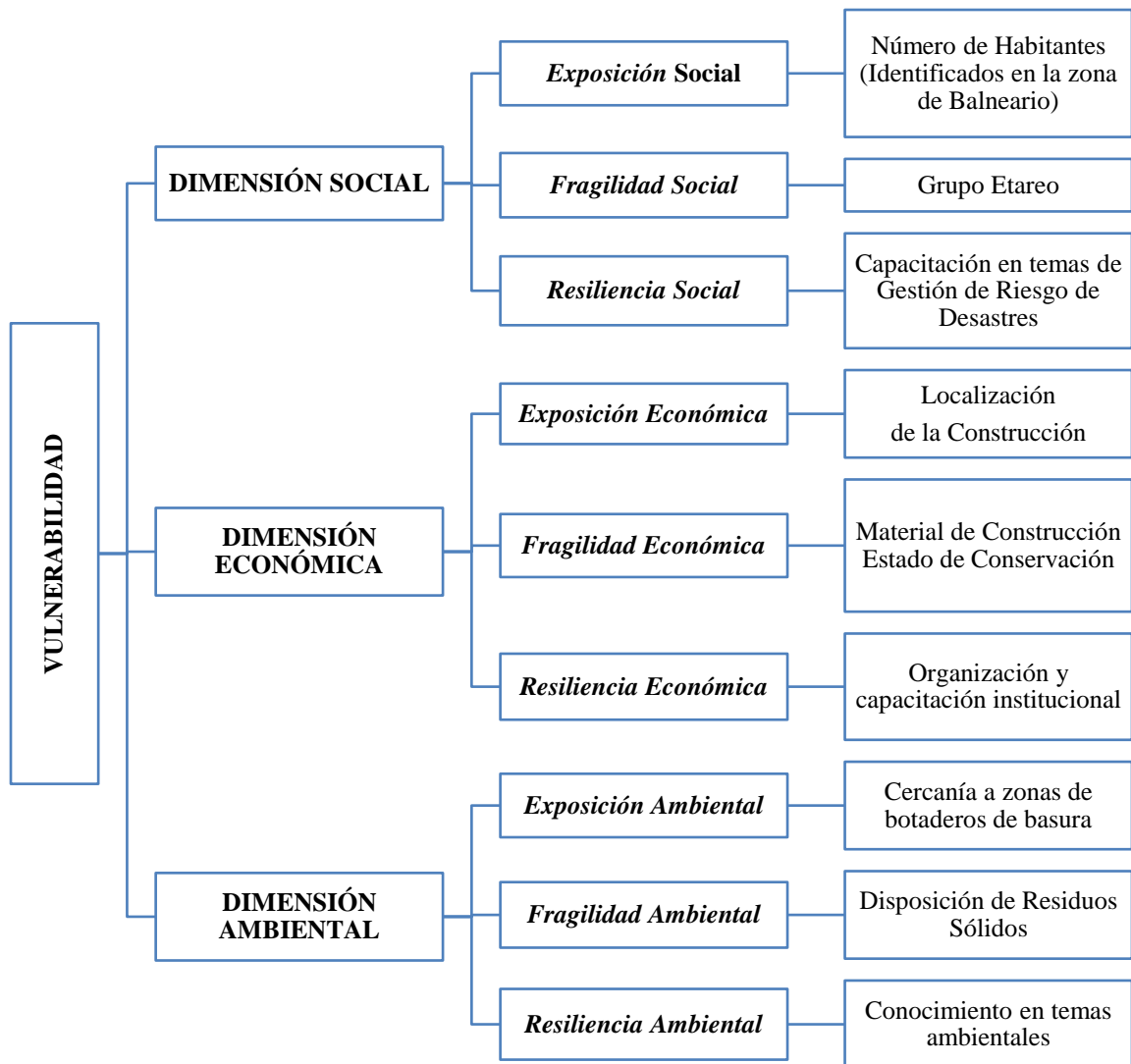
En el marco de la Ley N° 2966 del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N° 048-2011-PCM modificado por el D.S. N° 060-2024-PCM) se define como vulnerabilidad a la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza. Es un parámetro importante que sirve para calcular el nivel de riesgo.

Bajo esta definición se recabó en la información primaria proveniente de las encuestas realizadas para los factores de exposición, fragilidad y resiliencia a nivel de manzana de nuestra área de estudio.

#### **3.1.3.1. Análisis de los factores de vulnerabilidad**

**Figura 21**

*Jerarquización de factores de vulnerabilidad*



*Nota.* La figura muestra los factores por cada dimensión para la determinación de la vulnerabilidad. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

### 3.1.3.2. Ponderación de los parámetros de vulnerabilidad

**Tabla 53**

*Ponderación de las dimensiones de vulnerabilidad*

<b>Parámetros de Análisis de Vulnerabilidad</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Dimensión Social</b>	0,633
<b>Dimensión Económica</b>	0,260
<b>Dimensión Ambiental</b>	0,106

*Nota.* La tabla muestra el valor por cada dimensión empleada para la determinación de la vulnerabilidad. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

#### *Dimensión Social*

##### **Descriptor Exposición: Número de Habitantes**

**Tabla 54**

*Matriz de comparación de pares del descriptor de exposición: Número de Habitantes*

<b>N° DE HABITANTES</b>	<b>Mayor a 150 hab.</b>	<b>100 a 150 hab.</b>	<b>50 a 99 hab.</b>	<b>10 a 49 hab.</b>	<b>Menos de 10 Hab.</b>
<b>Mayor a 150 hab.</b>	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
<b>100 a 150 hab.</b>	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
<b>50 a 99 hab.</b>	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
<b>10 a 49 hab.</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Menos de 10 Hab.</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>SUMA</b>	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
<b>1/SUMA</b>	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 55***Matriz de Normalización del descriptor de exposición: Número de Habitantes*

<b>IC</b>	0,061
<b>RC</b>	0,054

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Tabla 56***Índice y relación de consistencia*

<b>N° DE HABITANTES</b>	<b>Mayor a 150 hab.</b>	<b>100 a 150 hab.</b>	<b>50 a 99 hab.</b>	<b>10 a 49 hab.</b>	<b>Menos de 10 Hab.</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Mayor a 150 hab.</b>	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
<b>100 a 150 hab.</b>	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
<b>50 a 99 hab.</b>	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
<b>10 a 49 hab.</b>	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
<b>Menos de 10 Hab.</b>	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

## Descriptor Fragilidad: Grupo Etareo

**Tabla 57**

*Matriz de comparación de pares del descriptor de fragilidad: Grupo Etareo*

<b>GRUPO ETAREO</b>	<b>De 0 a 5 años y mayor a 65 años</b>	<b>De 6 a 12 años y 60 a 65 años</b>	<b>De 13 a 15 años y 50 a 59 años</b>	<b>De 16 a 30 años</b>	<b>De 31 a 49 años</b>
<b>De 0 a 5 años y mayor a 65 años</b>	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
<b>De 6 a 12 años y 60 a 65 años</b>	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
<b>De 13 a 15 años y 50 a 59 años</b>	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
<b>De 16 a 30 años</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>De 31 a 49 años</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>SUMA</b>	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
<b>1/SUMA</b>	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 58***Matriz de Normalización del descriptor de fragilidad: Grupo Etareo*

<b>GRUPO ETAREO</b>	<b>De 0 a 5 años y mayor a 65 años</b>	<b>De 6 a 12 años y 60 a 65 años</b>	<b>De 13 a 15 años y 50 a 59 años</b>	<b>De 16 a 30 años</b>	<b>De 31 a 49 años</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>De 0 a 5 años y mayor a 65 años</b>	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
<b>De 6 a 12 años y 60 a 65 años</b>	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
<b>De 13 a 15 años y 50 a 59 años</b>	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
<b>De 16 a 30 años</b>	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
<b>De 31 a 49 años</b>	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Tabla 59***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,061
<b>RC</b>	0,054

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

## Descriptor Resiliencia: Capacitación en Temas de GRD

**Tabla 60**

*Matriz de comparación de pares del descriptor de resiliencia: Capacitación en Temas de GRD*

Capacitación en temas GRD	Nunca	Una vez al año	2 veces al año	3 veces al año	4 y/o 5 veces al año
<b>Nunca</b>	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00
<b>Una vez al año</b>	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00
<b>2 veces al año</b>	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00
<b>3 veces al año</b>	0,17	0,25	0,50	1,00	2,00
<b>4 y/o 5 veces al año</b>	0,13	0,17	0,25	0,50	1,00
<b>SUMA</b>	2,04	3,92	7,75	13,50	21,00
<b>1/SUMA</b>	0,49	0,26	0,13	0,07	0,05

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 61**

*Matriz de Normalización del descriptor de resiliencia: Capacitación en Temas de GRD*

Capacitación en temas GRD	Nunca	Una vez al año	2 veces al año	3 veces al año	4 y/o 5 veces al año	Vector Priorización
<b>Nunca</b>	0,490	0,511	0,516	0,444	0,381	0,468
<b>Una vez al año</b>	0,245	0,255	0,258	0,296	0,286	0,268
<b>2 veces al año</b>	0,122	0,128	0,129	0,148	0,190	0,144
<b>3 veces al año</b>	0,082	0,064	0,065	0,074	0,095	0,076
<b>4 y/o 5 veces al año</b>	0,061	0,043	0,032	0,037	0,048	0,044

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 62***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,012
<b>RC</b>	0,010

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 63***Parámetros de la dimensión social*

<b>Exposición</b>		<b>Fragilidad</b>		<b>Resiliencia</b>		<b>Valor</b>	<b>Peso Social</b>
<b>N° de habitantes</b>		<b>Grupo Etereo</b>		<b>Capacitación en temas de GRD</b>			
Ppar_Exp	Desc	Ppar_Frg	Desc	Ppar_Rsl	Desc		
0,595		0,277		0,129			
Mayor a 200 hab.	0,503	De 0 a 5 años y mayor a 65 años	0,503	Nunca	0,468	0,498	
100 a 200 hab.	0,260	De 6 a 12 años y 60 a 65 años	0,260	Una vez al año	0,268	0,261	
50 a 99 hab.	0,134	De 13 a 15 años y 50 a 59 años	0,134	2 veces al año	0,144	0,136	<b>0,633</b>
10 a 49 hab.	0,068	De 16 a 30 años	0,068	3 veces al año	0,076	0,069	
Menos de 10 Hab.	0,035	De 31 a 49 años	0,035	4 y/o 5 veces al año	0,044	0,036	

*Nota.* La tabla muestra los descriptores determinados para cada parámetro de la dimensión social y sus valores respectivos. Elaboración propia, adaptado del CENEPRED.

## *Dimensión Económica*

### **Descriptor Exposición: Localización de la Construcción**

**Tabla 64**

*Matriz de comparación de pares del descriptor de económica: Localización de la Construcción*

<b>Localización de la Construcción</b>	<b>Muy cercana 0 km a 0,1 km</b>	<b>Cercana 0,1 km a 1 km</b>	<b>Medianamente cerca 1 km a 2 km</b>	<b>Alejada 2 km a 3 km</b>	<b>Muy alejada &gt; 3 km</b>
<b>Muy cercana 0 km a 0,1 km</b>	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
<b>Cercana 0,1 km a 1 km</b>	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
<b>Medianamente cerca 1 km a 2 km</b>	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
<b>Alejada 2 km a 3 km</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Muy alejada &gt; 3 km</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>SUMA</b>	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
<b>1/SUMA</b>	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 65**

*Matriz de Normalización del descriptor de económica: Localización de la Construcción*

<b>Localización de la Construcción</b>	<b>Muy cercana 0 km a 0,1 km</b>	<b>Cercana 0,1 km a 1 km</b>	<b>Medianamente cerca 1 km a 2 km</b>	<b>Alejada 2 km a 3 km</b>	<b>Muy alejada &gt; 3 km</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Muy cercana 0 km a 0,1 km</b>	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
<b>Cercana 0,1 km a 1 km</b>	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
<b>Medianamente cerca 1 km a 2 km</b>	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134

<b>Alejada 2 km a 3 km</b>	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
<b>Muy alejada &gt; 3 km</b>	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 66**

*Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,061
<b>RC</b>	0,054

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Descriptor Fragilidad: Material de Construcción**

**Tabla 67**

*Matriz de comparación de pares del descriptor de económica: Material de Construcción*

<b>Material de Construcción predominante en las paredes</b>	<b>Adobe/tapia /quincha (caña con barro)</b>	<b>Piedra o sillar con cal o cemento</b>	<b>Calamina/estera</b>	<b>Madera (triplay, poma, tornillo, entre otros)</b>	<b>Ladrillo o bloque de cemento</b>
<b>Adobe/tapia/quincha (caña con barro)</b>	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00
<b>Piedra o sillar con cal o cemento</b>	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00
<b>Calamina/estera</b>	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00
<b>Madera (triplay, poma, tornillo, entre otros)</b>	0,17	0,25	0,50	1,00	2,00
<b>Ladrillo o bloque de cemento</b>	0,13	0,17	0,25	0,50	1,00
<b>SUMA</b>	2,04	3,92	7,75	13,50	21,00
<b>1/SUMA</b>	0,49	0,26	0,13	0,07	0,05

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 68***Matriz de Normalización del descriptor de económica: Material de Construcción*

<b>Material de Construcción predominante en las paredes</b>	<b>Adobe/tapia/quincha (caña con barro)</b>	<b>Piedra o sillar con cal o cemento</b>	<b>Calamina/esterera</b>	<b>Madera (triplay, poma, tornillo, entre otros)</b>	<b>Ladrillo o bloque de cemento</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>Adobe/tapia/quincha (caña con barro)</b>	0,490	0,511	0,516	0,444	0,381	0,468
<b>Piedra o sillar con cal o cemento</b>	0,245	0,255	0,258	0,296	0,286	0,268
<b>Calamina/esterera</b>	0,122	0,128	0,129	0,148	0,190	0,144
<b>Madera (triplay, poma, tornillo, entre otros)</b>	0,082	0,064	0,065	0,074	0,095	0,076
<b>Ladrillo o bloque de cemento</b>	0,061	0,043	0,032	0,037	0,048	0,044

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Tabla 69***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,012
<b>RC</b>	0,010

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

## Descriptor Fragilidad: Estado de Conservación

**Tabla 70**

*Matriz de comparación de pares del descriptor de fragilidad: Estado de Conservación*

Estado de Conservación	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
<b>Muy malo</b>	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00
<b>Malo</b>	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00
<b>Regular</b>	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00
<b>Bueno</b>	0,17	0,25	0,50	1,00	2,00
<b>Muy bueno</b>	0,13	0,17	0,25	0,50	1,00
<b>SUMA</b>	2,04	3,92	7,75	13,50	21,00
<b>1/SUMA</b>	0,49	0,26	0,13	0,07	0,05

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 71**

*Matriz de Normalización del descriptor de fragilidad: Estado de Conservación*

Estado de Conservación	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Vector priorización
<b>Muy malo</b>	0,490	0,511	0,516	0,444	0,381	0,468
<b>Malo</b>	0,245	0,255	0,258	0,296	0,286	0,268
<b>Regular</b>	0,122	0,128	0,129	0,148	0,190	0,144
<b>Bueno</b>	0,082	0,064	0,065	0,074	0,095	0,076
<b>Muy bueno</b>	0,061	0,043	0,032	0,037	0,048	0,044

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 72***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,012
<b>RC</b>	0,010

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Descriptor Resiliencia: Organización y Capacitación Institucional****Tabla 73***Matriz de comparación de pares del descriptor de resiliencia: Organización y Capacitación Institucional*

<b>Organización y Capacitación Institucional</b>	<b>No se organizan ni se capacita</b>	<b>Se organiza y capacita, pero no lo pone en practica</b>	<b>Se organiza y capacita regularmente y lo pone en práctica</b>	<b>Se organiza y capacita periódicamente, y lo pone en práctica</b>	<b>Se organiza y capacita según la norma y lo practica diariamente</b>
<b>No se organizan ni se capacitan</b>	1,00	2,00	3,00	5,00	7,00
<b>Se organiza y capacita, pero no lo pone en práctica</b>	0,50	1,00	2,00	3,00	5,00
<b>Se organiza y capacita regularmente y lo pone en práctica</b>	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
<b>Se organiza y capacita periódicamente, y lo pone en práctica</b>	0,20	0,33	0,50	1,00	2,00
<b>Se organiza y capacita según la norma y lo practica diariamente</b>	0,14	0,20	0,33	0,50	1,00
<b>SUMA</b>	2,18	4,03	6,83	11,50	18,00
<b>1/SUMA</b>	0,46	0,25	0,15	0,09	0,06

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 74**

*Matriz de Normalización del descriptor de resiliencia: Organización y Capacitación Institucional*

<b>Organización y Capacitación Institucional</b>	<b>No se organiza ni se capacita</b>	<b>Se organiza y capacita, pero no lo pone en práctica</b>	<b>Se organiza y capacita regularmente y lo pone en práctica</b>	<b>Se organiza y capacita periódicamente, y lo pone en práctica</b>	<b>Se organiza y capacita según la norma y lo practica diariamente</b>	<b>Vector Priorización</b>
<b>No se organizan ni se capacita</b>	0,460	0,496	0,439	0,435	0,389	0,444
<b>Se organiza y capacita, pero no lo pone en práctica</b>	0,230	0,248	0,293	0,261	0,278	0,262
<b>Se organiza y capacita regularmente y lo pone en práctica</b>	0,153	0,124	0,146	0,174	0,167	0,153
<b>Se organiza y capacita periódicamente, y lo pone en práctica</b>	0,092	0,083	0,073	0,087	0,111	0,089
<b>Se organiza y capacita según la norma y lo practica diariamente</b>	0,066	0,050	0,049	0,043	0,056	0,053

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 75**

*Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,007
<b>RC</b>	0,006

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 76***Parámetros de la Dimensión Económica*

*Nota.* La tabla muestra los descriptores determinados para cada parámetro de la dimensión económica y sus valores respectivos. Elaboración propia,

Exposición		Fragilidad				Resiliencia		Valor	Peso Económico
Localización de la construcción		Material de construcción		Estado de conservación		Organización y capacitación institucional			
Ppar_Exp	Desc	Ppar_Frg	Desc	Ppar_Frg	Desc	Ppar_Rsl	Desc		
0,633		0,130		0,130		0,106			
Muy cercana 0 km a 0,1 km	0,503	Adobe/tapia/ Quincha	0,468	Muy malo	0,468	No se organizan ni se capacitan	0,444	0,488	
Cercana 0,1 km a 1 km	0,260	Piedra o sillar con cal o cemento	0,268	Mal	0,268	Se organiza y capacita, pero no lo pone en práctica	0,262	0,262	
Medianamente cerca 1 km a 2 km	0,134	Calamina/ estera	0,144	Regular	0,144	Se organiza y capacita regularmente y lo pone en práctica	0,153	0,139	
Alejada 2 km a 3 km	0,068	Madera (triplay, poma, tornillo, entre otros)	0,076	Bueno	0,076	Se organiza y capacita periódicamente, y lo pone en práctica	0,089	0,072	
Muy alejada > 3 km	0,035	Ladrillo o bloque de cemento	0,044	Muy bueno	0,044	Se organiza y capacita según la norma y lo practica diariamente	0,053	0,039	

adaptada del CENEPRED.

## *Dimensión Ambiental*

### **Descriptor Exposición: Cercanía a zonas de botaderos de basura**

**Tabla 77**

*Matriz de comparación de pares del descriptor de exposición: Cercanía a zonas de botaderos de basura*

<b>Cercanía a Zona de Botaderos</b>	<b>Muy cerca</b>	<b>Cerca</b>	<b>Medianamente cerca</b>	<b>Lejos</b>	<b>Muy lejos</b>
<b>Muy cerca</b>	1,00	3,00	5,00	7,00	9,00
<b>Cerca</b>	0,33	1,00	3,00	5,00	7,00
<b>Medianamente cerca</b>	0,20	0,33	1,00	3,00	5,00
<b>Lejos</b>	0,14	0,20	0,33	1,00	3,00
<b>Muy lejos</b>	0,11	0,14	0,20	0,33	1,00
<b>Suma</b>	1,79	4,68	9,53	16,33	25,00
<b>1/suma</b>	0,56	0,21	0,10	0,06	0,04

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 78**

*Matriz de Normalización del descriptor de exposición: Cercanía a zona de botaderos*

<b>Cercanía a zona de botaderos</b>	<b>Muy cerca</b>	<b>Cerca</b>	<b>Medianamente cerca</b>	<b>Lejos</b>	<b>Muy lejos</b>	<b>Vector priorización</b>
<b>Muy cerca</b>	0,560	0,642	0,524	0,429	0,360	0,503
<b>Cerca</b>	0,187	0,214	0,315	0,306	0,280	0,260
<b>Medianamente cerca</b>	0,112	0,071	0,105	0,184	0,200	0,134
<b>Lejos</b>	0,080	0,043	0,035	0,061	0,120	0,068
<b>Muy lejos</b>	0,062	0,031	0,021	0,020	0,040	0,035

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 79***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,061
<b>RC</b>	0,054

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Descriptor Fragilidad: Disposición de RRSS****Tabla 80***Matriz de comparación de pares del descriptor de fragilidad: Disposición de RRSS*

<b>Disposición de RRSS</b>	<b>Desechan en el cauce del río</b>	<b>Desechan en la quebrada</b>	<b>Desechan en vías y calles</b>	<b>Desechan en contenedores</b>	<b>Carro recolector</b>
<b>Desechan en el cauce del río</b>	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00
<b>Desechan en la quebrada</b>	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00
<b>Desechan en vías y calles</b>	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00
<b>Desechan en contenedores</b>	0,17	0,25	0,50	1,00	2,00
<b>Carro recolector</b>	0,13	0,17	0,25	0,50	1,00
<b>Suma</b>	2,04	3,92	7,75	13,50	21,00
<b>1/suma</b>	0,49	0,26	0,13	0,07	0,05

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 81***Matriz de Normalización del descriptor de fragilidad: Disposición de RRSS*

<b>Disposición de RRSS</b>	<b>Desechan en el cauce del río</b>	<b>Desechan en la quebrada</b>	<b>Desechan en vías y calles</b>	<b>Desechan en contenedores</b>	<b>Carro recolector</b>	<b>Vector priorización</b>
<b>Desechan en el cauce del río</b>	0,490	0,511	0,516	0,444	0,381	0,468
<b>Desechan en la quebrada</b>	0,245	0,255	0,258	0,296	0,286	0,268
<b>Desechan en vías y calles</b>	0,122	0,128	0,129	0,148	0,190	0,144
<b>Desechan en contenedores</b>	0,082	0,064	0,065	0,074	0,095	0,076
<b>Carro recolector</b>	0,061	0,043	0,032	0,037	0,048	0,044

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Tabla 82***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,012
<b>RC</b>	0,010

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Descriptor Resiliencia: Conocimientos en temas ambientales**

**Tabla 83**

*Matriz de comparación de pares del descriptor de resiliencia: Conocimientos en temas ambientales*

<b>Conocimientos en temas ambientales</b>	<b>Ninguna</b>	<b>Por otras personas</b>	<b>Por medios de comunicación radio y tv</b>	<b>Por medios de comunicación internet</b>	<b>Sensibilización por instituciones</b>
<b>Ninguna</b>	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00
<b>Por otras personas</b>	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00
<b>Por medios de comunicación radio y tv.</b>	0,25	0,50	1,00	2,00	4,00
<b>Por medios de comunicación internet</b>	0,17	0,25	0,50	1,00	2,00
<b>Sensibilización por instituciones</b>	0,13	0,17	0,25	0,50	1,00
<b>Suma</b>	2,04	3,92	7,75	13,50	21,00
<b>1/suma</b>	0,49	0,26	0,13	0,07	0,05

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 84***Matriz de Normalización del descriptor de resiliencia: Conocimientos en temas ambientales*

<b>Conocimientos en temas ambientales</b>	<b>Ninguna</b>	<b>Por otras personas</b>	<b>Por medios de comunicación radio y tv.</b>	<b>Por medios de comunicación internet</b>	<b>Sensibilización por instituciones</b>	<b>Vector priorización</b>
<b>Ninguna</b>	0,490	0,511	0,516	0,444	0,381	0,468
<b>Por otras personas</b>	0,245	0,255	0,258	0,296	0,286	0,268
<b>Por medios de comunicación radio y tv.</b>	0,122	0,128	0,129	0,148	0,190	0,144
<b>Por medios de comunicación internet</b>	0,082	0,064	0,065	0,074	0,095	0,076
<b>Sensibilización por instituciones</b>	0,061	0,043	0,032	0,037	0,048	0,044

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED**Tabla 85***Índice y relación de consistencia*

<b>IC</b>	0,012
<b>RC</b>	0,010

*Nota.* Elaboración propia, adaptado del CENEPRED

**Tabla 86***Parámetros de la Dimensión Ambiental*

Exposición		Fragilidad		Resiliencia		Valor	Peso Ambiental
Cercanía a zonas de botaderos de basura		Disposición de RRSS		Conocimientos en temas Ambientales			
Ppar_Exp	Pdesc	Ppar_Frg	Pdesc	Ppar_Rsl	Pdesc		
0,681		0,201		0,118			
Muy Cerca	0,503	Desechan en el cauce del río	0,468	Ninguna	0,468	0,492	
Cerca	0,260	Desechan en la quebrada	0,268	Por otras personas	0,268	0,263	
Medianamente Cerca	0,134	Desechan en vías y calles	0,144	Por medios de comunicación radio y tv.	0,144	0,137	<b>0,106</b>
Lejos	0,068	Desechan en contenedores	0,076	Por medios de comunicación internet	0,076	0,070	
Muy Lejos	0,035	Carro recolector	0,044	Sensibilización por instituciones	0,044	0,038	

*Nota.* La tabla muestra los descriptores determinados para cada parámetro de la dimensión ambiental y sus valores respectivos. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

### 3.1.3.3. Niveles de Vulnerabilidad

**Tabla 87**

*Niveles de Vulnerabilidad*

NIVEL	VULNERABILIDAD				
<b>MUY ALTO</b>	0,262	≤	V	≤	0,495
<b>ALTO</b>	0,137	≤	V	<	0,262
<b>MEDIO</b>	0,070	≤	V	<	0,137
<b>BAJO</b>	0,037	≤	V	<	0,070

*Nota.* La tabla muestra los rangos determinados por cada nivel de vulnerabilidad. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

El mapa de vulnerabilidad fue presentado en el ítem de resultados.

### 3.1.3.4. Estratificación del nivel de vulnerabilidad

**Tabla 88**

*Estratificación del nivel de vulnerabilidad*

NIVEL	DESCRIPCIÓN	RANGO
<b>MUY ALTO</b>	Número de habitantes es mayor a 200 habitantes, el grupo Etareo va de 0 a 5 años y mayor a 65 años, las capacitaciones en temas de GRD son nulas o nunca se dan; la localización de la construcción está muy cercana de 0 a 0,1 km, el material de construcción predominante es de adobe/tapia/quincha (caña con barro), el estado de conservación de la construcción es muy malo, no se organizan ni se capacitan bajo ninguna institución; se encuentra muy cerca a zonas de botaderos de basura, la disposición de RRSS se dan en zonas de cauce del río, los conocimientos en temas ambientales son nulos o ninguno.	$0,262 \leq V \leq 0,495$

<b>ALTO</b>	Número de habitantes va de 100 a 200 habitantes, el grupo Etareo va de 6 a 12 años y 60 a 65 años, las capacitaciones en temas de GRD se dan una sola vez al año; la localización de la construcción está cercana de 0,1 a 1 km, el material de construcción predominante es de piedra o sillar con cal o cemento, el estado de conservación de la construcción es muy malo, se organizan y se capacitan, pero no lo ponen en práctica; se encuentra cerca a zonas de botaderos de basura, la disposición de RRSS se dan en las zonas de quebradas, los conocimientos en temas ambientales se dan a través de otras personas.	$0,137 \leq V < 0,262$
<b>MEDIO</b>	Número de habitantes va de 50 a 99 habitantes, el grupo Etareo va de 13 a 15 años y 50 a 59 años, las capacitaciones en temas de GRD se dan solo dos veces al año; la localización de la construcción está medianamente cerca de 1 a 2 km, el material de construcción predominante es de calamina /estera, el estado de conservación de la construcción es regular, se organizan y capacitan regularmente y lo ponen en práctica; se encuentra medianamente cerca a zonas de botaderos de basura, la disposición de RRSS se dan en vías y calles, los conocimientos en temas ambientales se dan por medios de comunicación o internet.	$0,070 \leq V < 0,137$
<b>BAJO</b>	Número de habitantes menor 50 habitantes, el grupo Etareo va de 16 a 49 años, las capacitaciones en temas de GRD es 3 veces al año a más; la localización de la construcción está alejada mayor a 2 km, el material de construcción predominante es de madera o ladrillo/bloque de concreto, el estado de conservación de la construcción es bueno a muy bueno, se organizan y capacitan periódicamente y lo ponen en práctica; se encuentra lejos a zonas de botaderos de basura, la disposición de RRSS se dan en contenedores y carros recolectores, los conocimientos en temas ambientales se dan por medios de comunicación como el internet o sensibilización por instituciones.	$0,037 \leq V < 0,070$

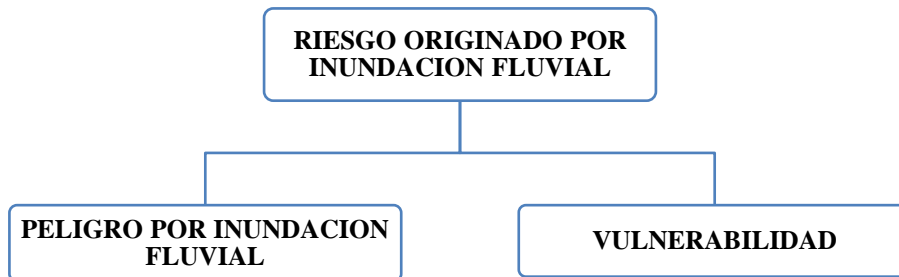
*Nota.* La tabla muestra la descripción de los elementos determinados para cada nivel. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

### 3.1.4. *Determinación del nivel de Riesgo*

#### 3.1.4.1. **Metodología para el cálculo del riesgo**

**Figura 22**

*Determinación del riesgo*



*Nota.* La figura muestra que para la determinación del riesgo se emplea el peligro y la vulnerabilidad. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

### 3.1.4.2. Niveles de Riesgo

**Tabla 89**

*Niveles de riesgo*

NIVEL	RIESGO				
MUY ALTO	0,068	≤	R	≤	0,248
ALTO	0,019	≤	R	<	0,068
MEDIO	0,005	≤	R	<	0,019
BAJO	0,001	≤	R	<	0,005

*Nota.* La tabla muestra los rangos de valores para cada nivel de riesgo. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

### 3.1.4.3. Matriz de Riesgo

**Tabla 90**

*Matriz de jerarquización del Riesgo*

PMA	0,500	0,035	0,069	0,131	0,248
PA	0,260	0,018	0,036	0,068	0,129
PM	0,138	0,010	0,019	0,036	0,068
PB	0,067	0,005	0,009	0,018	0,033
		0,070	0,137	0,262	0,495
		VB	VM	VA	VMA

*Nota.* La tabla muestra la intersección de los valores de peligro y vulnerabilidad para la obtención de los valores de riesgo. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

### 3.1.4.4. Estratificación del nivel de riesgo

**Tabla 91**

*Estratificación del riesgo*

NIVEL	DESCRIPCION	RANGO
MUY ALTO	<p>Con una altura de inundación mayores a 2,5 m; unidad geomorfológica de cauce fluvial; unidad geológica de depósito fluvial; la pendiente es menor a 5; zona cubierta de agua (río); con precipitaciones extremadamente lluviosas que van mayores a 25,25 mm de percentiles de precipitación.</p> <p>Número de habitantes es mayor a 200 habitantes, el grupo Etareo va de 0 a 5 años y mayor a 65 años, las capacitaciones en temas de GRD son nulas o nunca se dan; la localización de la construcción está muy cercana de 0 a 0,1 km, el material de construcción predominante es de adobe/tapia/quincha (caña con barro), el estado de conservación de la construcción es muy malo, no se organizan ni se capacitan bajo ninguna institución; se encuentra muy cerca a zonas de botaderos de basura, la disposición de RRSS se dan en zonas de cauce del río, los conocimientos en temas ambientales son nulos o ninguno.</p>	$0,068 \leq R \leq 0,248$

ALTO	<p>Con una altura de inundación de 2,5 m a 2,0 m; unidad geomorfológica de Terraza baja fluvio aluvial; unidad geológica fluvio aluvial; la pendiente es de 5° a 10°; zona con una cobertura vegetal escasa propia de un desierto costero; con precipitaciones muy lluviosas que van de 25,25 mm a 24,23 mm de percentiles de precipitación.</p> <p>Número de habitantes va de 100 a 200 habitantes, el grupo Etareo va de 6 a 12 años y 60 a 65 años, las capacitaciones en temas de GRD se dan una sola vez al año; la localización de la construcción está cercana de 0,1 a 1 km, el material de construcción predominante es de piedra o sillar con cal o cemento, el estado de conservación de la construcción es muy malo, se organizan y se capacitan, pero no lo ponen en práctica; se encuentra cerca a zonas de botaderos de basura, la disposición de RRSS se dan en las zonas de quebradas, los conocimientos en temas ambientales se dan a través de otras personas.</p>	<hr/> $0,019 \leq R < 0,068$
MEDIO	<p>Con una altura de inundación de 1,9 m a 1,5 m; unidad geomorfológica de Terraza alta fluvio aluvial y colina en roca sedimentaria; unidad geológica de depósitos aluviales, conglomerado calientes; la pendiente es de 10° a 20°; con poca cobertura vegetal por estar ubicado en un desierto semicálido; con precipitaciones lluviosas que van de 24,23 mm a 23 mm de percentiles de precipitación.</p> <p>Número de habitantes va de 50 a 99 habitantes, el grupo Etareo va de 13 a 15 años y 50 a 59 años, las capacitaciones en temas de GRD se dan solo dos veces al año; la localización de la construcción está medianamente cerca de 1 a 2 km, el material de construcción predominante es de calamina /estera, el estado de conservación de la construcción es regular, se organizan y capacitan regularmente y lo ponen en práctica; se encuentra medianamente cerca a zonas de botaderos de basura, la disposición de RRSS se dan en vías y calles, los conocimientos en temas ambientales se dan por medios de comunicación o internet.</p>	<hr/> $0,005 \leq R < 0,019$ <hr/>

<b>BAJO</b>	<p>Con una altura de inundación menor 1,5 m; unidad geomorfológica de colina y lomada en roca sedimentaria, montaña y colina en roca sedimentaria; unidad geológica Toba Pachía; la pendiente es mayor a 20°; con cobertura vegetal existente denotado por plantaciones y presencia de árboles de diferentes tipos; con precipitaciones moderadamente lluviosas menores a 23 mm de percentiles de precipitación.</p>	_____
	<p>Número de habitantes menor 50 habitantes, el grupo Etereo va de 16 a 49 años, las capacitaciones en temas de GRD es 3 veces al año a más; la localización de la construcción está alejada mayor a 2 km, el material de construcción predominante es de madera o ladrillo/bloque de concreto, el estado de conservación de la construcción es bueno a muy bueno, se organizan y capacitan periódicamente y lo ponen en práctica; se encuentra lejos a zonas de botaderos de basura, la disposición de RRSS se dan en contenedores y carros recolectores, los conocimientos en temas ambientales se dan por medios de comunicación como el internet o sensibilización por instituciones.</p>	$0,001 \leq R < 0,005$

*Nota.* La tabla muestra la descripción de los elementos determinados para cada nivel. Elaboración propia, adaptada del CENEPRED.

El mapa de riesgos fue presentado en el ítem de resultados.

3.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. Resultados

Se determinó que para la zona de balneario el nivel de peligro es bajo en gran parte de la zona de balneario debido a la defensa ribereña que actualmente existe. Asimismo, se ha identificado nivel de peligro alto para la zona de puente y medio para la zona de piscina y pozas ubicados en la parte baja del balneario, debido a los siguientes factores considerados:

- Parámetro de evaluación: Alturas de inundación para un periodo de retorno de 50 años, van de 0,5 m a 2,5 m.
- Factores condicionantes: depósitos de origen fluvio aluvial depositados en terrazas escalonadas.
- Pendiente: los rangos de pendientes van de 10° a 20°.

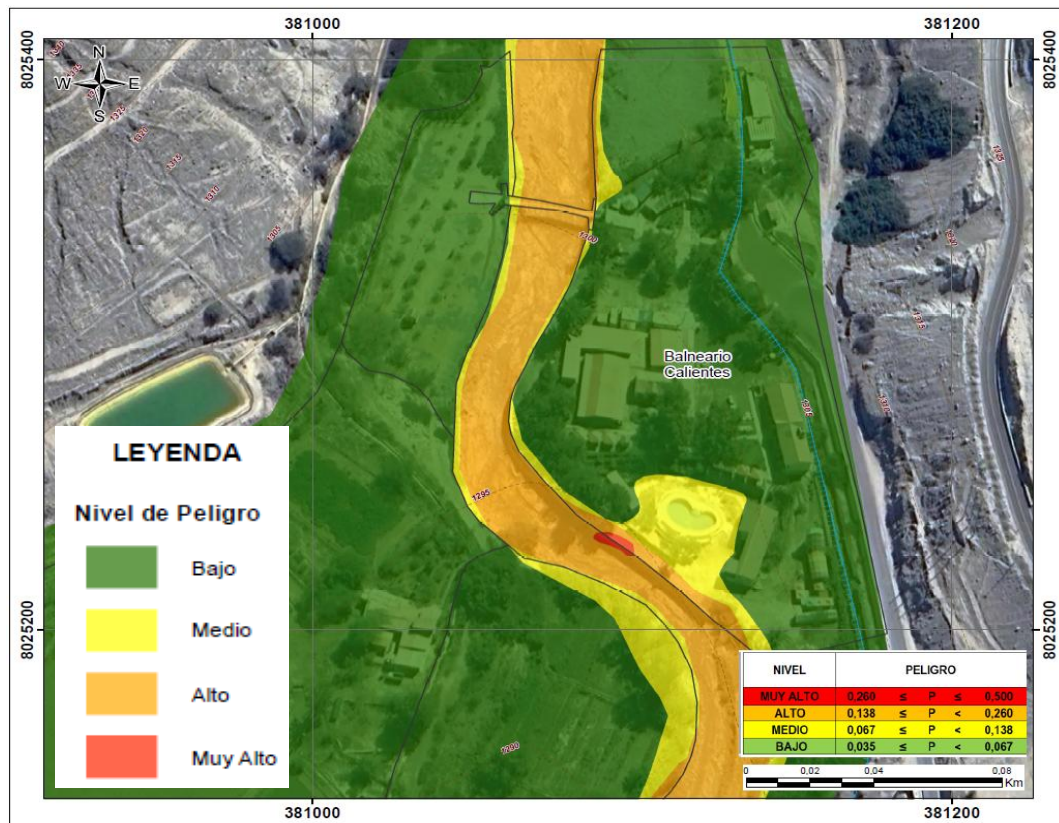
Asimismo, para el ítem de cobertura vegetal en la zona de estudio se consideró la presencia de actividad agrícola en un desierto costero según se observó en campo.

Finalmente, como factor desencadenante se tomó los umbrales de precipitación anómalos, para nuestra zona de estudio recae en el rango Poco lluvioso: Menor a 19,13 mm. obteniéndose niveles de peligro que varía entre el rango de 0,067 a 0,138, siendo

el nivel bajo el que se identifica con mayor porcentaje en la zona de balneario, medio en parte del área de piscina y pozas, y nivel alto para el puente como se muestra en la Figura 23.

**Figura 23**

*Nivel de Peligro en el Balneario de Calientes*



*Nota.* Se muestra el nivel de peligro obtenido para la zona de estudio que recae en el rango 0,067 a 0,138; elaboración propia.

En la Figura 23, se observa que, el área del Balneario Calientes se encuentra ubicado sobre el nivel de peligro bajo en mayor porcentaje (color verde) y peligro

medio en la zona de piscina y pozas (color amarillo) y nivel alto (color naranja) en el puente. Asimismo, se denota en zonas más alejadas al cauce el nivel de peligro disminuye a bajo, como se muestra en la Figura.

Se determinó que para nuestra zona de estudio el nivel de vulnerabilidad por peligro de inundación fluvial es alto, considerando los siguientes parámetros para cada dimensión, como se describe a continuación:

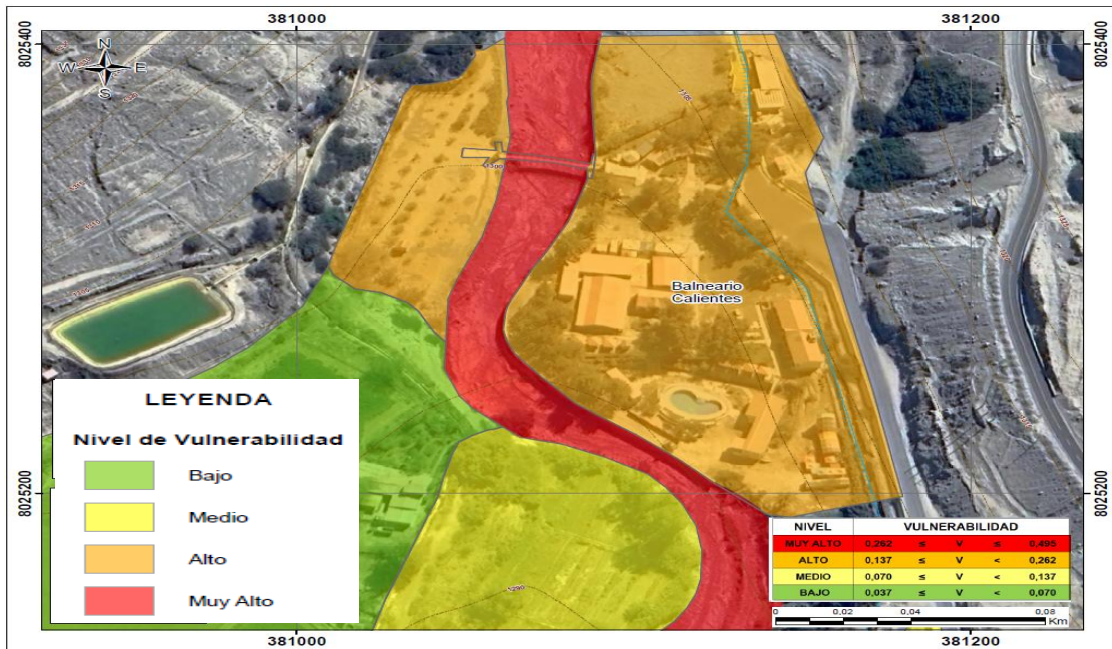
- Dimensión Social: El número de habitantes determinados según encuesta para la zona de balneario es 140, considerando una población estimada de turistas y personal que trabaja permanentemente. El grupo Etareo predominante es de 13 a 15 años y 50 a 59 años, las capacitaciones en temas de GRD se dan 2 veces al año.
- Dimensión Económica: La localización de la construcción a la zona de peligro, es muy cercana considerando que se ubica en paralelo al cauce del río. El material de construcción predominante para la zona de Balneario es de ladrillo o bloque de concreto principalmente. El estado de conservación del balneario es bueno, considerando que anualmente se realizan mantenimiento por ser uno de los principales atractivos turísticos del distrito de Pachía. La organización y capacitación institucional se da periódicamente y se pone en práctica.

- Dimensión Ambiental: La cercanía a zonas de botaderos de basura es medianamente cerca, considerando que existen viviendas cercanas a la zona de balneario y no realizan correctamente la segregación de los residuos sólidos optando por botarlos al cauce del río. La disposición de residuos sólidos en la zona de balneario se hace a través de carro recolector. Además, el conocimiento en temas ambientales se da a través de sensibilización por instituciones como son colegios, municipalidad de la jurisdicción, entre otros.

Finalmente, considerando los valores determinados para cada dimensión y ponderándolos en la matriz de procesamiento, determina un valor que recae sobre los rangos que van de 0,137 a 0,262; determinando un nivel de vulnerabilidad alto como se muestra en la Figura 24.

**Figura 24**

*Nivel de Vulnerabilidad en el Balneario de Calientes*



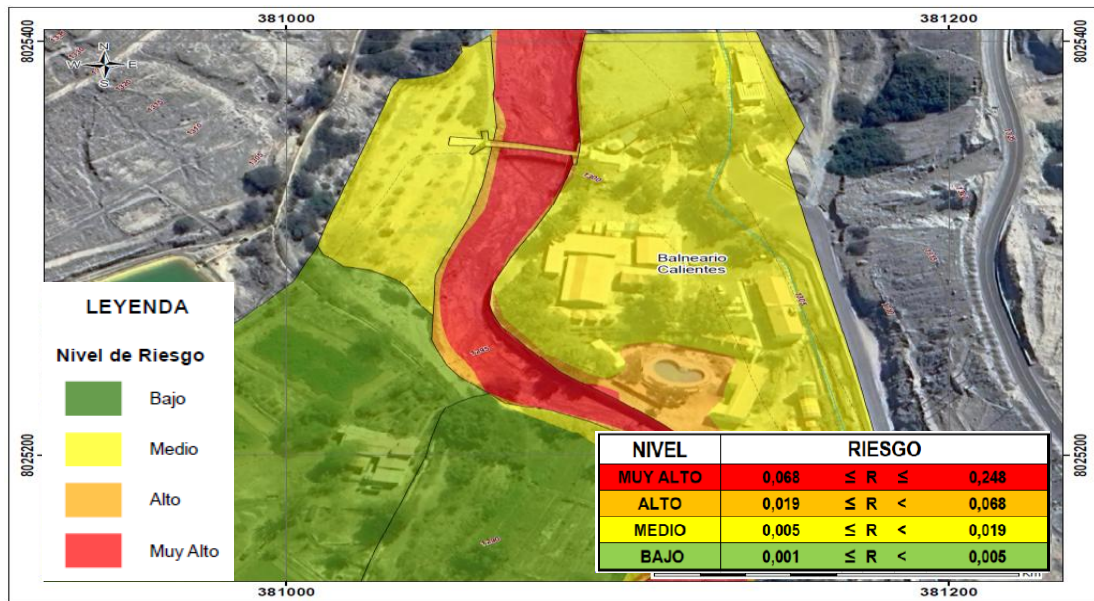
*Nota.* Del procesamiento de la vulnerabilidad se determinó un valor que recae en el rango de 0,137 a 0,262 resultando en vulnerabilidad alto, elaboración propia.

En la Figura 24, se observa que, según los parámetros analizados para el Balneario de Calientes; en las dimensiones social, económica y ambiental se ha determinado un nivel de vulnerabilidad alto, debido a que el valor obtenido del procesamiento recae en los rangos de 0,137 a 0,262.

En consideración a lo expuesto anteriormente, se consideraron los descriptores tanto de peligro y vulnerabilidad, así como el procesamiento de ambos, determinándose en mayor proporción un nivel de riesgo medio, como se muestra en la Figura 25.

**Figura 25**

*Nivel de Riesgo en el Balneario de Calientes*



*Nota.* Se muestra los niveles de riesgo obtenido para la zona de estudio, elaboración propia.

En la Figura 25, se observa que, según los factores analizados para peligro y parámetros de vulnerabilidad de Balneario de Calientes, se determinó el mapa con los niveles de riesgo, siendo para la parte superior o norte, un nivel de riesgo medio (0,05 a 0,019), abarcando las áreas de los restaurantes y el hotel. Sin embargo, al sur o parte baja presenta nivel de riesgo alto (0,019 a 0,066) abarcando el área de la piscina y pozas.

## **4.2. Discusiones**

Finalmente, de los resultados obtenidos para el presente estudio, se obtuvo que según la Figura 25, el nivel de riesgo es medio para la zona de estudio.

Considerando que, para la determinación de la vulnerabilidad para la zona de estudio, se empleó el análisis de Saaty donde se considera la ponderación por descriptores cualitativos se determina un nivel de vulnerabilidad alta por peligro de inundación fluvial. Así mismo, en contraste con el estudio de Y. Limachi y J. Limachi (2020) que utiliza métodos estadísticos en un área similar y determina un nivel de vulnerabilidad comparable, se concluye que el presente análisis ha seguido el método normativo, según lo establecido por CENEPRED u otro ente correspondiente, señalan que los valores obtenidos deben ser cercanos a los resultados.

Para el estudio desarrollado se empleó un periodo de retorno de 50 años según lo estipula la normativa del ANA, caso similar se aplicó en el estudio de Mora y Gilberto (2016) realizado en Colombia. Se observa que existen similitudes en los periodos de retorno sugeridos por las entidades pertinentes en ambos países. Finalmente, los niveles de riesgo determinados en la presente tesis determinan que existe un alto nivel de riesgo en nuestra zona de estudio, siendo que el balneario caliente es vulnerable a precipitaciones anómalas que desencadenan desbordamientos en la zona de estudio.

Esto puede observarse también en el estudio del IGP (2021) que considera al sector de Calientes y áreas aledañas como susceptibles a desbordamientos.

## CONCLUSIONES

Se determinó que, para nuestra zona de estudio, si existe niveles de riesgo por inundación fluvial desencadenados por el Fenómeno del Niño. El nivel de riesgo originado por inundación fluvial identificado para nuestra zona de estudio es medio.

Según el procesamiento realizado para la determinación del nivel de peligro a través de ponderación de factores condicionantes (geología, geomorfología, pendiente, cobertura vegetal), factor desencadenante (precipitación) y parámetro de evaluación (alturas de inundación). Se determina que el nivel de peligro para el área de estudio es bajo a medio considerándose el siguiente escenario para la zona de estudio:

- Parámetro de evaluación: Alturas de inundación para un periodo de retorno que van de 0,5 m a 2,5 m.
- Factores condicionantes: depósitos de origen fluvio aluvial depositados en terrazas escalonadas.
- Pendiente: los rangos de pendientes van de 10° a 20°. Asimismo, para el ítem de cobertura vegetal en la zona de estudio se consideró la presencia de actividad agropecuaria en un desierto costero según se observó en campo.

Finalmente, como factor desencadenante se tomó los umbrales de precipitación anómalos, para nuestra zona de estudio recae en el rango Poco lluvioso: Menor a 19,13

mm. obteniéndose niveles de peligro que varía entre el rango de 0,067 a 0,138, siendo de nivel medio como se muestra en la Figura 23.

Según el procesamiento realizado para la determinación del nivel de vulnerabilidad a través de ponderación de factores en las tres diferentes dimensiones, se tiene el siguiente escenario:

- **Dimensión Social:** El número de habitantes determinados según encuesta para la zona de balneario es 140, considerando una población estimada de turistas y personal que trabaja permanentemente. El grupo Etareo predominante es de 13 a 15 años y 50 a 59 años, las capacitaciones en temas de GRD se dan 2 veces al año.
- **Dimensión Económica:** La localización de la construcción a la zona de peligro, es muy cercana considerando que se ubica en paralelo al cauce del río. El material de construcción predominante para la zona de Balneario es de ladrillo o bloque de concreto. El estado de conservación del balneario es bueno, considerando que anualmente se realizan mantenimiento por ser uno de los principales atractivos turísticos del distrito de Pachía. La organización y capacitación institucional se da periódicamente y se pone en práctica.
- **Dimensión Ambiental:** La cercanía a zonas de botaderos de basura es medianamente cerca, considerando que existen viviendas cercanas a la zona de balneario y no realizan correctamente la segregación de los residuos sólidos

optando por botarlos al cauce del río. La disposición de residuos sólidos en la zona de balneario se hace a través de carro recolector. Además, el conocimiento en temas ambientales se da a través de sensibilización por instituciones como son los colegios y la municipalidad de la jurisdicción.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos para cada aspecto evaluado y aplicando la ponderación en la matriz de análisis, se obtuvieron los rangos que van de 0,137 a 0,262; siendo un nivel de vulnerabilidad alto como se muestra en la Figura 24.

Finalmente, de todo lo mencionado anteriormente, se analizaron los factores relacionados con el peligro y la vulnerabilidad. Con esta información, se calculó el nivel de riesgo por inundación fluvial. El resultado obtenido se encuentra dentro del rango de valores entre 0,05 a 0,019, como se muestra en la Figura 25.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar un modelamiento hidráulico para un periodo de retorno de 100 años previo análisis del área de estudio, considerando que el modelamiento empleado en el presente estudio es un método probabilístico para un periodo de retorno de 50 años que tiene un alcance limitado.

Se recomienda el reforzamiento del muro existente en el Balneario de Calientes debido a que a la altura de inundación estimada para un periodo de 50 años concluye que no es suficiente para proteger la zona del balneario, especialmente en la parte baja a fin de evitar un riesgo potencial de afectación por desbordamiento.

Delimitar la Faja marginal en la zona de estudio para prevenir la ampliación de zonas inundables, que puedan afectar a las personas que visitan el Balneario de Calientes, así como a la población circundante.

Reducir el caudal del río Caplina en diferentes tramos de este considerando la implementación de diques transversales desde la Bocatoma Challata y metros más arriba de la bocatoma Calientes, para reducir el caudal sólido y de esta manera disminuir la energía cinética del flujo hiperconcentrado.

Se recomienda ampliar el levantamiento topográfico para definir con mayor exactitud el plano de pendientes.

Considerando que la Bocatoma Calientes actualmente se encuentra en estado de abandono, se recomienda adecuar un dique de retención de sedimentos.

Se sugiere mejorar el puente de Calientes ampliando la luz y el tirante de este, con la finalidad de que los flujos no lo sobrepasen en eventos posteriores.

Se recomienda plantear muros de protección en ambas márgenes del río Caplina a la altura del Balneario Calientes, con la finalidad de reducir la inundación fluvial.

Se sugiere Implementar un Sistema de Alerta Temprana que permita informar a la población con anticipación ante la ocurrencia de fuertes precipitaciones.

Se recomienda realizar trabajos de prevención y fortalecer capacidades en la ocupación del suelo.

Se sugiere Medidas No Estructurales como: Charlas de capacitación a los conductores de los diferentes establecimientos comerciales en cómo actuar ante la inminencia de un evento de flujos hiperconcentrados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, H., Mamani, M., Alvan, A., Oviedo, M., & Rodriguez, J. (2011). *Geología de los Cuadrángulos de Pachía y Palca Hojas 36-v y 36-x*. Lima: CANO s.r.l.
- Audin, L. (2007). *Parametros de la fuente del sismo de Sama (Tacna), 20 de noviembre de 2006 (5.4. MW)*. Lima: Sociedad Geológica del Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (Diciembre de 2016). *Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales*. Lima: ANA.
- Autoridad Nacional del Agua. (2023). *Plan Integral de Gestión del Acuífero Caplina*. Tacna: ANA.
- Autoridad Nacional del Agua; Ministerio de Agricultura y Riego. (2018). *Identificación de puntos críticos con riesgo a inundaciones en ríos y quebradas 2017*. Lima: ANA.
- Bello Mendoza, L., & Velazquez Juarez, S. (2012). *Guia Métodos Estadísticos*. México: UNAM.
- Carreño Tibaduiza, M. L., Cardona, O. D., & Barbat, A. H. (2005). *Sistema de Indicadores para la evaluación de riesgos*. Barcelona: Centre Internacional de Metodes Numerics en Enginyeria (CIMNE).

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.  
(2015). *Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 Versión*. Lima: NEVA STUDIO SAC.
- Choque Machaca, G. M. (2000). Caracterización geotécnica de la ignimbrita Pachía mediante técnicas tradicionales y geofísicas de refracción sísmica y microtremores (MASW), distrito de Pocollay-Tacna. *Sociedad Geológica del Perú*, pp.528-532.
- Comercio, E. (08 de Febrero de 2019). Tacna: río Caplina se desborda en el distrito de Calana. *El Comercio*, p.1.
- Costa Aponte, F. (2018). *Resultados Definitivos de los Censos Nacionales 2017*. Lima: INEI.
- Cruz Potosme, E., Castro, M., Ibarra, J., Blanco, M., Herrera, M., Montes, E., . . . Van Der Zee, J. J. (2005). *Recomendaciones técnicas para la elaboración de mapas de amenazas por inundaciones fluviales*. Managua.
- Fonseca Arias, K. J. (2018). *Zonificación de la amenaza y vulnerabilidad por Inundación, mediante Modelamiento espacial en el Sector Isla La Manga Municipio de Yopal, Casanare*. BOGOTÁ: IGAC.

Gaspari, F. J., Rodriguez Vagaria, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Delgado, M. I., & Besteiro, S. I. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande*. Buenos Aires: AUMG.

Gobierno Regional de Tacna. (2021). *Estudio de Hidrología e Hidráulica*. Tacna: GRT.

Gutierrez Lozano, J., Vargas Tristan, V., Romero Rodriguez, M., Placido de la Cruz, J., Aguirre Bortoni, M., & Silva Espinoza, H. (2010). Periodos de retorno de lluvias torrenciales para el Estado de Tamaulipas. *Investigaciones Geográficas*, 20-33.

Horton, R. E. (1932). *Drainage Basin Characteristics*. Advancing earth and space sciences.

Huamán Diaz, R. (1985). *Evolution Tectonique Cénozoïque et Néotectonique du Piémont Pacifique dans la région d' Arequipa (Andes du Sud Pérou)*. Thèse de 3è cycle, Université Paris XI.220p.

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2007). *Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante desastres de la Ciudad de Tacna*. Tacna: INDECI.

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2021). *Compendio Estadístico del INDECI 2020*. Lima: DIPPE-INDECI.

Instituto de Ciencias y Humanidades. (2009). *Geografía sociedad y naturaleza*. Lima: Lumbreras.

Instituto Geofísico del Perú, Ministerio del Ambiente. (2021). *Análisis y Evaluación Histórica de lluvias en la Región Tacna*. Lima: IGPP.

Isla Zevallos, A. (ENERO de 2018). La Gestión del Riesgo de Desastres en el Perú. *PAIDEIA XXI*, págs. 137-158.

Limachi Cori, Y. d., & Limachi Cori, J. C. (2020). *Análisis de vulnerabilidad para reducir los impactos adversos, a la captación del sistema de agua potable ante amenazas naturales en el Distrito de Pachía - 2020*. TACNA: UPT.

Luque Poma, G., Gomez Velasquez, H., Pari Pinto, W., Peña Laureano, F., & Huaman Nieto, M. (2021). Peligro geológico en la región Tacna. *INGEMMET*, pp.45-91.

Ministerio de Agricultura. (2002). *Evaluación y Ordenamiento de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Caplina y Uchusuma*. Tacna: ANA.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Lima: MTC.

- Mora Mariño, W., & Gilberto Ochoa, R. (2016). *Modelamiento de Zonas de Inundación por medio de las herramientas HEC-RAS, GEO-RAS y ARCGIS, para el sector comprendido entre los municipios de Corrales-Paz de Río a lo largo del Río Chicamocha, en el Departamento de Boyaca. COLOMBIA: UPTC.*
- Peña Laureano, F., Cotrina Chavez, G., & Acosta Pereira, H. (2009). *Hidrogeología de la cuenca del Río Caplina-Región Tacna. Lima: INGEMMET.*
- Pino, A., Sempere, T., Jacay, J., & Fornari, M. (2004). Estratigrafía, Paleogeografía y Paleotectónica del intervalo paleozoico Superior-Cretáceo Inferior en el área de Mal Paso-Palca (Tacna). *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú* (pp.15-44). Lima: Imprenta Cano S.R.L.
- Segura Nina, F. J. (2018). *Delimitación con modelado y simulación hidráulica del río Caplina en el sector de Calana. Tacna: UAP.*
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2014). *Estimacion de Umbrales de precipitaciones extremas para la emisión de avisos meteorológicos. Lima: DGM.*

Teves Rivas, N. A. (1973). Cuaternario en la Costa Peruana. *Ministerio de Minas e Hidrocarburos Republica de Venezuela.*

Toskano H., G. B. (2005). *El Proceso de análisis jerárquico como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores.* Facultad de Ciencias Matemáticas, Lima. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Villón Béjar, M. (2004). *Hidrología.* Colombia: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

# **ANEXOS**

## **Anexo A**

### **ESTUDIO HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICO**

**(Información prioritaria)**

### *a.1. Precipitaciones*

Se presentó en la Tabla 92, los registros de precipitación máxima anuales para las estaciones seleccionadas.

**Tabla 92**

*Precipitaciones Máximas Anuales – Estaciones seleccionadas*

<b>FECHA</b>	<b>Talabaya</b>	<b>Palca</b>	<b>Calientes</b>
<b>1965</b>	S/D	12.2	0.0
<b>1966</b>	15.3	2.1	0.0
<b>1967</b>	16.8	5	0.0
<b>1968</b>	12.3	S/D	0.2
<b>1969</b>	13.9	S/D	0.0
<b>1970</b>	8.4	S/D	2
<b>1971</b>	12.3	7	0.0
<b>1972</b>	20.5	22	10
<b>1973</b>	18.6	S/D	4.2
<b>1974</b>	17	3.9	10
<b>1975</b>	17	9	4
<b>1976</b>	20	8.6	5
<b>1977</b>	20.7	18.1	3
<b>1978</b>	46.9	9	2.5
<b>1979</b>	13.2	12.3	2
<b>1980</b>	10	5.2	0.0
<b>1981</b>	12.2	15.9	4
<b>1982</b>	10.5	9.8	5
<b>1983</b>	7	6.3	5
<b>1984</b>	19	10.3	5.2
<b>1985</b>	13.1	10.6	7.4
<b>1986</b>	15.2	9	9.8
<b>1987</b>	22	3.8	0.0
<b>1988</b>	11	7.5	2
<b>1989</b>	14.5	4.6	0.0
<b>1990</b>	27	9.2	3
<b>1991</b>	10	11.5	2.7
<b>1992</b>	10.8	16.8	2.5
<b>1993</b>	18.1	13	4
<b>1994</b>	11.2	11.3	5

<b>1995</b>	15.2	8	9.2
<b>1996</b>	9	2.5	4
<b>1997</b>	17.2	14	5.1
<b>1998</b>	16	8	3
<b>1999</b>	61.5	8.8	5.2
<b>2000</b>	19.4	8.6	5.5
<b>2001</b>	27.5	14.3	5.5
<b>2002</b>	27.4	12.1	4.9
<b>2003</b>	18.4	8	3.8
<b>2004</b>	23.3	13.9	2.7
<b>2005</b>	20.9	11.8	2
<b>2006</b>	28.5	8.4	3
<b>2007</b>	19.9	10.5	2.3
<b>2008</b>	26.3	14.7	6
<b>2009</b>	26.6	9.2	3.2
<b>2010</b>	13.6	6	1.0
<b>2011</b>	28.4	16.5	7.3
<b>2012</b>	27.2	25.5	9.7
<b>2013</b>	18.4	14.2	2.3
<b>2014</b>	14.4	5.3	0.9
<b>2015</b>	18.7	9.6	2.8
<b>2016</b>	27.9	9	4.3
<b>2017</b>	25.1	S/D	3.5
<b>2018</b>	19.8	S/D	1.7
<b>2019</b>	35.4	S/D	12
<b>2020</b>	27.1	21.9	15.6
<b>2021</b>	16.5	9.8	0

*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

### *a.2. Hietogramas para diferentes periodos de retorno*

Para la modelación hidrológica se generaron hietogramas para cada sub cuenca para los periodos de retorno de diseño de 50, 100, 175 y 500 años respectivamente.

Por ejemplo, el hietograma para un periodo de retorno de 50 años para la estación Calientes tiene una precipitación de diseño de 16,17 mm como se ve en la Tabla 93; además tiene como precipitación teórica 8,57 mm como se ve en la figura 26. Asimismo, se generaron hietogramas para cada tipo de sub cuenca presenta en el estudio. GRT (2021)

**Tabla 93**

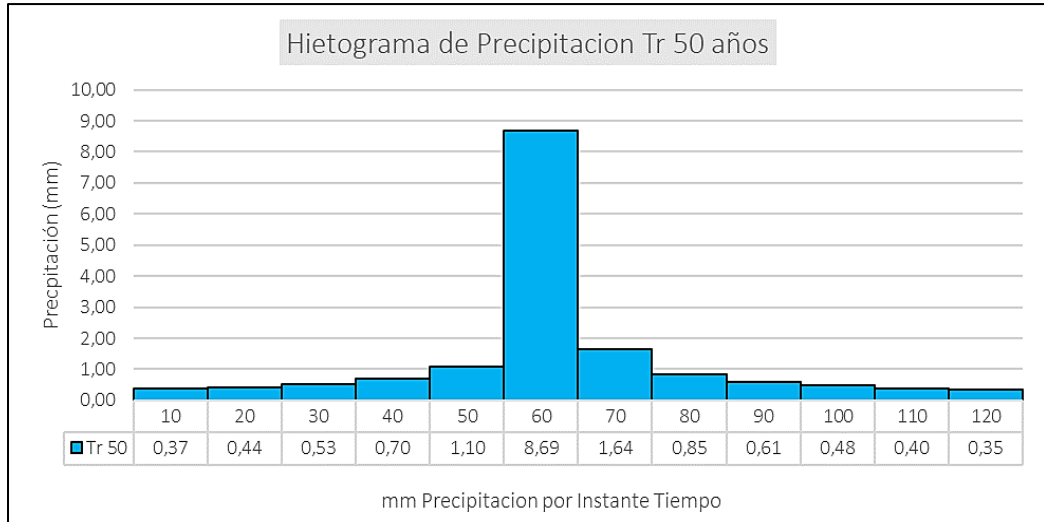
*Bloque Alterno – Hietograma Estación Calientes*

50								
tiempo (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación (mm)	Incremento de Precipitación (mm)	Hietograma (mm)	Hietograma Normalizado (mm)	Incremento de Precipitación (mm)	Precipitación Acumulada (mm)	Intensidad (mm/hr)
10	27,61	4,60	4,60	0,20	0,37	8,69	8,69	52,13
20	16,42	5,47	0,87	0,23	0,44	1,64	10,33	31,00
30	12,11	6,06	0,58	0,28	0,53	1,10	11,43	22,87
40	9,76	6,51	0,45	0,37	0,70	0,85	12,29	18,43
50	8,26	6,88	0,37	0,58	1,10	0,70	12,99	15,59
60	7,20	7,20	0,32	4,60	8,69	0,61	13,60	13,60
70	6,42	7,49	0,28	0,87	1,64	0,53	14,13	12,11
80	5,80	7,74	0,25	0,45	0,85	0,48	14,61	10,96
90	5,31	7,97	0,23	0,32	0,61	0,44	15,05	10,03
100	4,91	8,18	0,21	0,25	0,48	0,40	15,45	9,27
110	4,57	8,38	0,20	0,21	0,40	0,37	15,82	8,63
120	4,28	8,57	0,18	0,18	0,35	0,35	16,17	8,09

*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

**Figura 26**

*Hietograma de Precipitación Tr 50 años*



*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

Para calibrar el modelo hidrológico se simuló con la precipitación ocurrida el 08 de febrero del 2019, generando los hietogramas respectivos a partir de los datos registrados en cada estación seleccionada y analizada para el presente estudio. GRT (2021)

Asimismo, se presentaron los hietogramas identificados para las estaciones nombradas en la Tabla 94, considerando un escenario para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 94**

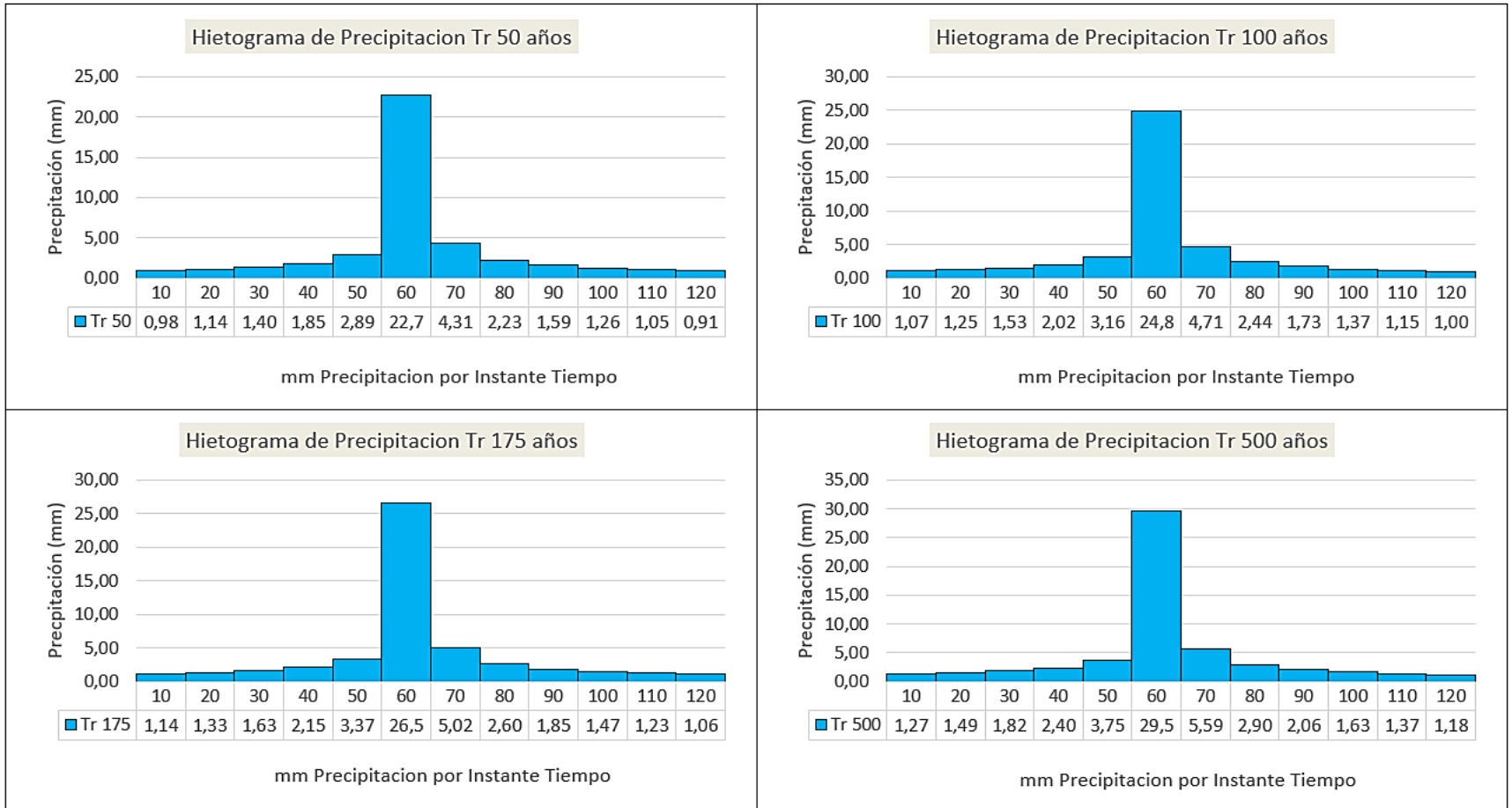
*Precipitación registrada el 08 de febrero del 2019*

<b>Estación Meteorológica</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Observación</b>
<b>TALABAYA</b>	17.7	Registro
<b>PALCA</b>	20.4	Completada
<b>CALIENTES</b>	3.8	Registro

*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

**Figura 27**

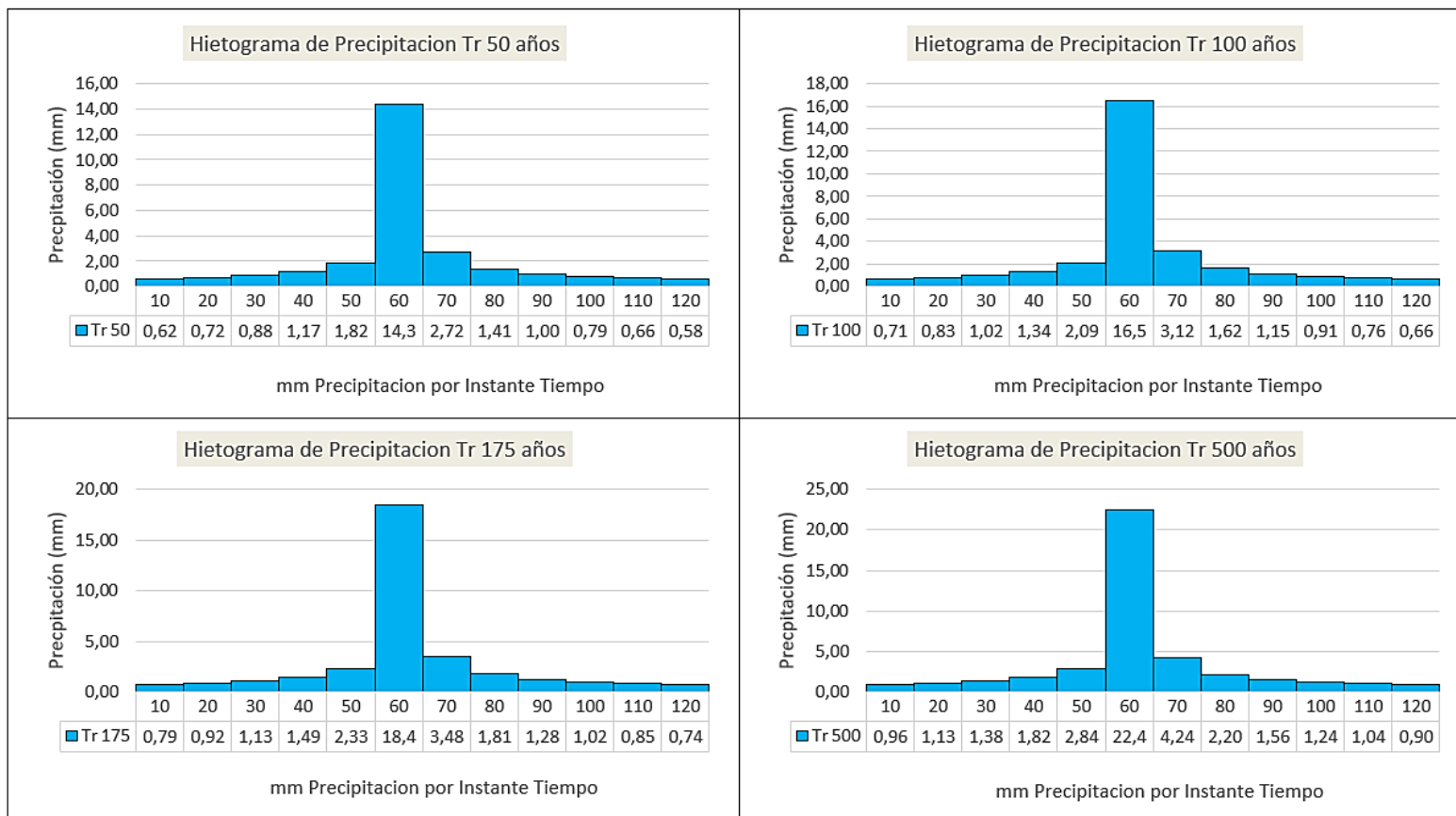
*Hietogramas de Precipitación - Estación Talabaya*



Nota. Elaborado por GRT (2021).

**Figura 28**

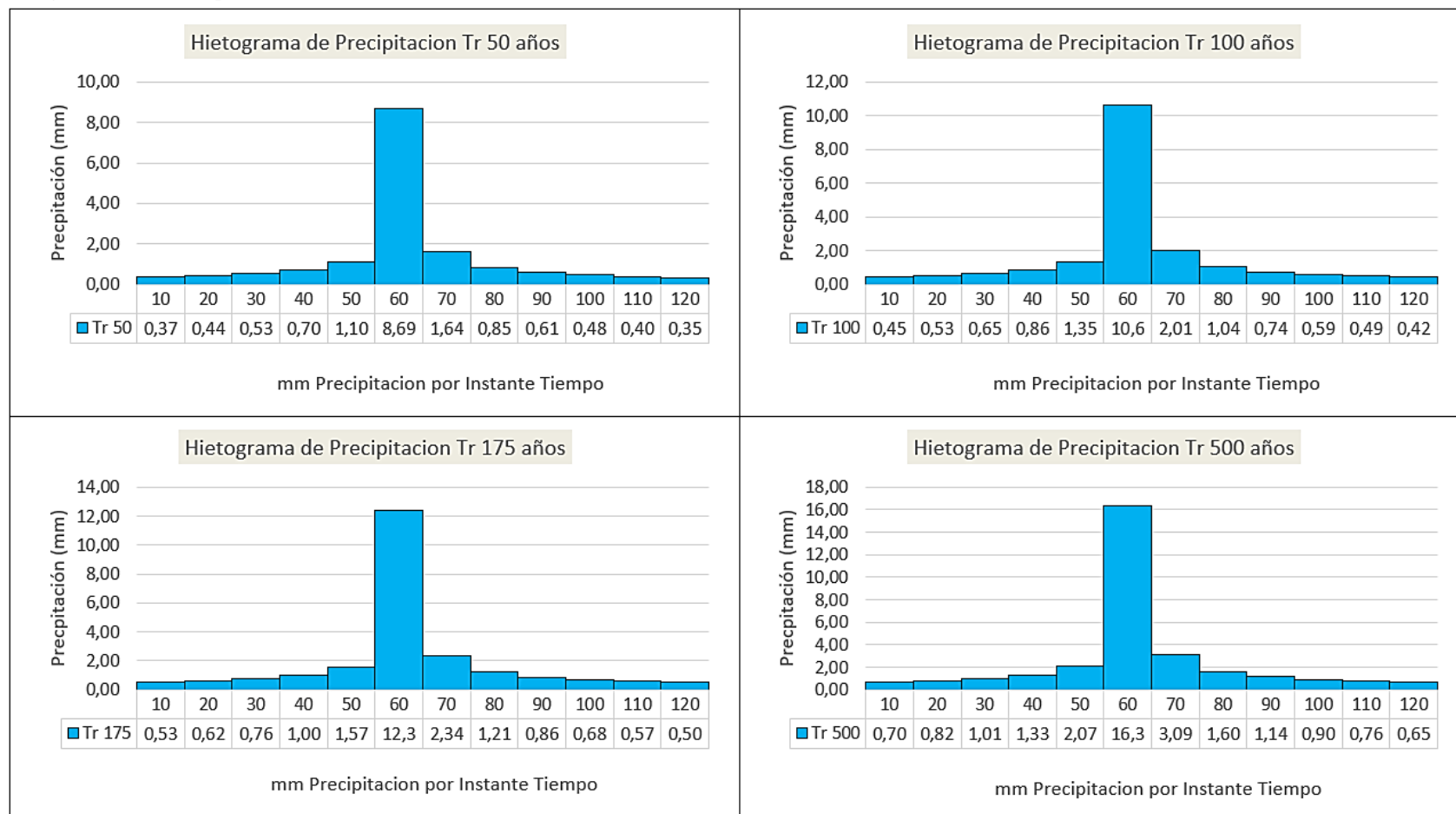
*Hietogramas de Precipitación - Estación Palca*



*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

**Figura 29**

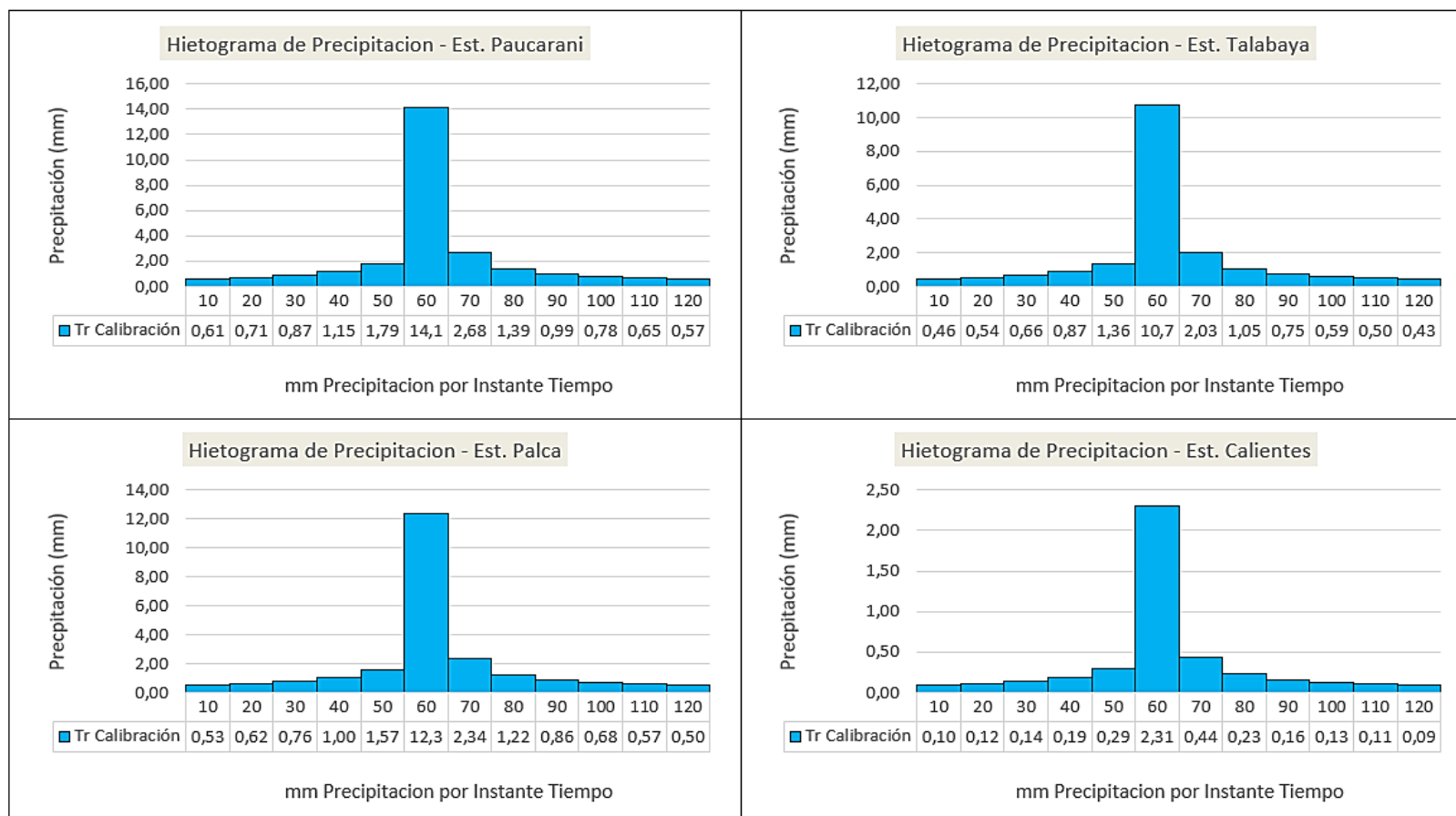
*Hietogramas de Precipitación - Estación Calientes*



Nota. Elaborado por GRT (2021).

**Figura 30**

*Hietogramas de Precipitación – 8 febrero del 2019*



*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

### *a.3 Análisis estadísticos de datos hidrológicos*

#### **Análisis de la precipitación máxima 24 horas**

En la zona de estudio existe una estación hidrométrica, la cual no cuenta con un registro de caudales máximos, sino caudales promedios diarios, además de estar casi en abandono, esto no permitió estimar directamente los caudales, por lo cual estos fueron calculados en base a la información de lluvias máximas registradas en las estaciones ubicadas en el ámbito de la zona de estudio. GRT (2021)

Los caudales máximos fueron estimados mediante modelos de precipitación-escorrentía, sobre la base de la precipitación máxima 24 horas (P24H) o precipitación máxima anual (PMA) y de las características geomorfológicas de las cuencas.

En el presente ítem se utilizaron las estaciones pluviométricas en el ámbito de la región Tacna distribuidas dentro y aledaño al territorio, los registros comprenden datos de precipitación diaria la cual ha sido medida a las 7:00 y 19:00 horas, toda la información pluviométrica fue proporcionada por el SENAMHI. La distribución de las estaciones pluviométricas está a cargo del SENAMHI.

El periodo de análisis estuvo comprendido entre 1963 – 2020, además como requisito fundamental para seleccionar una estación pluviométrica en el presente estudio es que al menos contenga 20 años de registros completos para así obtener series de precipitación máxima anual (PMA) de una longitud mínima de la misma cantidad. Para ello, se extrajo mediante líneas de programación Python la precipitación máxima diaria 24 horas para cada año y para cada estación correspondiente a la época de lluvias (noviembre hasta abril).

Para el estudio desarrollado por el GRT (2021), se evaluaron 03 Estaciones Meteorológicas en el ámbito del área de estudio, donde se pueden observar que las estaciones varían entre 1200 m.s.n.m. de la Estación Calientes, con una PMA de 15.6 mm, hasta la elevación de 3409 m.s.n.m. de la Estación Talabaya con una PMA de 46.9 mm.

**Tabla 95**

*Resumen de la Precipitación Máxima en 24 horas de la Región Tacna*

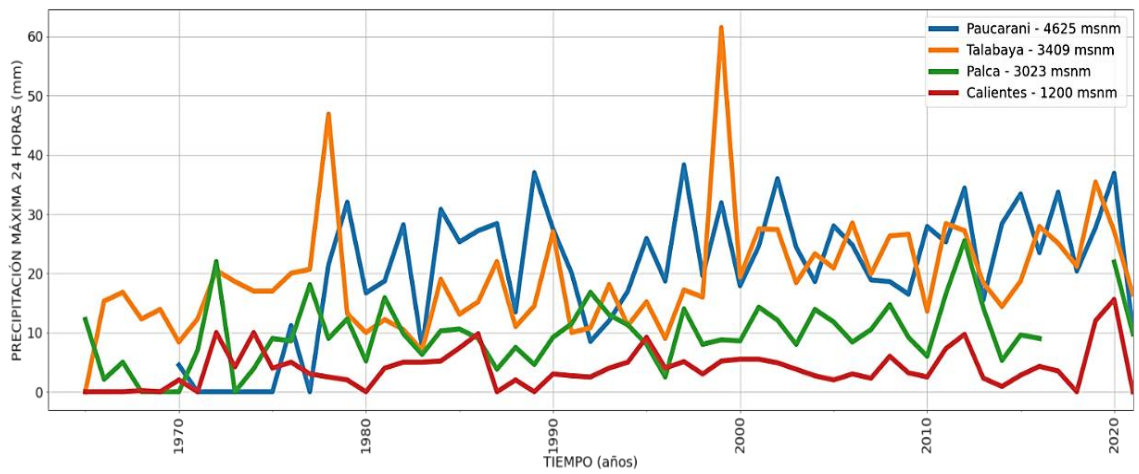
N°	ESTACIÓN	ALTITUD	PERIODO DE REGISTRO	NÚMERO DE AÑOS DE REGISTRO	PptMáx24Horas (mm)	FUENTE
1	PAUCARANI	4625	1970-2021	46	38.3	SENAMH
2	TALABAYA	3409	1966-2021	56	46.9	SENAMH
3	PALCA	3023	1965-2021	50	25.5	SENAMH
4	CALIENTES	1200	1965-2021	57	15.6	SENAMH

*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

Para visualizar la variación de la precipitación máxima 24 horas de las 04 estaciones meteorológicas, se presentó el trazo en un mismo plano como se observa en la siguiente Figura. GRT (2021)

**Figura 31**

*Precipitaciones máximas para las estaciones seleccionadas*



*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

### **Análisis de frecuencia de precipitación máxima en 24 horas**

En la teoría estadística e hidrológica, existen muchas distribuciones de frecuencia: entre ellas Exponential (EXP), Gamma (GAM), Generalised Extreme Value (GEV), Generalised Logistic (GLO), Generalised Normal (GNO), Generalised Pareto (GPA), Gumbel (GUM), Kappa (KAP), Normal (NOR), Pearson III (PE3), Wakeby (WAK) y Weibull (WEI).

Para ello se evaluó a través de líneas de códigos de Python y su librería Pandas y Matplotlib, teniendo como inputs los registros de Precipitación Máxima 24 horas.

- ***Distribución Pearson Tipo III***

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \left[ \frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right]^{\beta_1 - 1} e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}}$$

Donde:

$\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  : Parámetros de la función  $\Gamma(\beta_1)$  función de gamma.

Los parámetros  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  se evalúan a partir de los datos de intensidades observadas (en este caso estimadas a partir de la lluvia máxima en 24 horas), mediante el sistema de ecuaciones.

$$\bar{x} = \alpha_1 \beta_1 + \delta_1$$

$$S^2 = \alpha_1^2 \beta_1$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}}$$

Donde:

$\bar{x}$  : Media de los Datos

$S^2$  : Varianza de los datos

$\gamma$  : Coeficiente de sesgo, definido por:  $\gamma = \sum \frac{(x_i - \bar{x})^3 / n}{S^3}$

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \int_0^x e^{-\left(\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}\right)} \left(\frac{x-\delta_1}{\alpha_1}\right)^{\beta_1-1} dx$$

Sustituyendo

$$y = \frac{x - \delta_1}{\alpha_1}$$

En la ecuación anterior se escribe como:

$$F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta_1)} \int y^{\beta_1-1} e^{-y} dy$$

Esta última ecuación es una función de distribución de chi cuadrada con  $2\beta_1$  grados de

libertad y también  $x^2 = 2y$ , es decir:

$$F(y) = F(x^2|\vartheta) = Fx^2(2y|2\beta_1)$$

La función chi cuadrado se encuentra en tablas estadísticas

- ***Distribución Gumbel***

Supóngase que se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene “n” eventos. Si se selecciona el máximo de “x” de los “n” eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que “n” aumenta, la función de distribución de probabilidad de “x” tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-u)}{\alpha}}}$$

Siendo:

$$\alpha = \frac{S_x}{\sigma_y}$$

$$u = \bar{x} - \mu_y \alpha$$

$F(x)$  = Probabilidad de que se presente un valor igual o menor que x.

e = base de los logaritmos neperianos.

$\bar{x}$  = media aritmética de la muestra.

$S_y$  = desviación estándar de la muestra.

$\sigma_y, \mu_y$  = según el número de datos de la muestra.

Mediante las expresiones anteriores podremos calcular la frecuencia a partir del valor x, es decir: calcular con qué frecuencia (o periodo de retorno) se presentará un cierto caudal o precipitación.

Para solucionar un caso inverso (que caudal o precipitación se producirán cada  $n$  años) debemos dejar “ $x$ ” en la siguiente expresión:

$$\frac{(x - u)}{\alpha} = -\ln(-\ln(F(x)))$$

$$x = -\ln(-\ln(F(x))) * \alpha + u$$

- ***Distribución Normal***

Es simétrica con respecto a la media y no ha sido muy utilizada en análisis de frecuencia de avenidas, puesto que la mayoría de las series de avenidas tienen un sesgo positivo. Sin embargo, se ha encontrado apropiada para ciertas series de eventos de descarga y niveles de agua, en particular donde hay grandes almacenamientos.

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

La variable estandarizada está dada por:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Donde:

$\mu$ : Media de la muestra.

$\sigma$ : Desviación estándar de la muestra.

- **Distribución *Log Normal***

Considera que los logaritmos de los caudales tienen una distribución Normal. Ha sido extensamente utilizada en los Estados Unidos y Canadá debido a su consistencia y facilidad de aplicación e interpretación.

$$F(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi x} \sigma} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)^2} dx$$

La variable estandarizada está dada por:

$$z = \frac{\ln x - \mu}{\sigma}$$

Donde:

$\mu$ : Media de la muestra.

$\sigma$ : Desviación estándar de la muestra.

**Prueba de bondad de ajuste**

Para saber que distribución teórica se ajustó mejor a los datos de intensidades calculadas, se aplicó la prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov. Consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia  $K$  entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_0(X_m)$  y la estimada  $F(X_m)$ .

$$Ks = \text{máx} |F_0(X_m) - F(X_m)|$$

Con un valor crítico “k-tabla” que depende del número de datos y del nivel de significación seleccionado.

Si  $K_s < k\text{-tabla}$ , se acepta la hipótesis nula.

Los valores de significación  $\alpha$  que se usan normalmente son del 10 %, 5 % y 1 %.

El valor de  $\alpha$ , en la teoría estadística, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula.

Ho es la función de distribución de probabilidad es  $Ks(\alpha, \beta \dots)$ , cuando en realidad es cierta, es decir de cometer un error tipo I.

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(X_m) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Donde “m” es el número de orden del dato  $X_m$  en una lista de mayor a menor y “n” es el número total de datos.

De acuerdo a estas pruebas de ajuste, todos los datos observados de las diferentes estaciones meteorológicas en el ámbito de la región Tacna, se ajustan a diferentes distribuciones como son entre ellas: Generalised Extreme Value (GEV) y Generalised Logistic (GLO), el cual resumimos en el para escoger la función probabilística está en función del K-tabla con el  $K_s$  estadístico, el cual el  $K_s$  estadístico hallado no debería ser mayor que el K-tabla, en caso superara dicho valor, este quedaría descartado.

**Tabla 96***Valores K-tabela según cantidad de valores de la muestra*

<b>N</b>	<b><math>K_{N,0.10}</math></b>	<b><math>K_{N,0.05}</math></b>	<b><math>K_{N,0.01}</math></b>	<b>N</b>	<b><math>K_{N,0.10}</math></b>	<b><math>K_{N,0.05}</math></b>	<b><math>K_{N,0.01}</math></b>
<b>4</b>	0.352	0.381	0.417	14	0.207	0.227	0.261
<b>5</b>	0.315	0.337	0.405	15	0.201	0.220	0.257
<b>6</b>	0.294	0.319	0.364	16	0.195	0.213	0.250
<b>7</b>	0.276	0.300	0.348	17	0.189	0.206	0.245
<b>8</b>	0.261	0.285	0.331	18	0.184	0.200	0.239
<b>9</b>	0.249	0.271	0.311	19	0.179	0.195	0.235
<b>10</b>	0.239	0.258	0.294	20	0.174	0.190	0.231
<b>11</b>	0.230	0.249	0.284	25	0.165	0.180	0.203
<b>12</b>	0.223	0.242	0.275	30	0.144	0.161	0.187
<b>13</b>	0.214	0.234	0.268	>30	$0.805/\sqrt{N}$	$0.886/\sqrt{N}$	$1.031/\sqrt{N}$

*Nota.* Fundamentals of Statistical Hydrology, Mauro Naghettini

En la Tabla 97, se muestra los K-tabela para cada una de las estaciones seleccionadas para el proyecto el cual están en función a la cantidad de información de precipitación máxima diaria anual.

**Tabla 97***Resultados de K-tabela para cada estación según niveles de significancia*

<b>Estación</b>	<b>Talabaya</b>	<b>Palca</b>	<b>Calientes</b>
<b><math>k_{N,0.10}</math></b>	0.109	0.115	0.117
<b><math>k_{N,0.05}</math></b>	0.119	0.127	0.129
<b><math>k_{N,0.01}</math></b>	0.139	0.147	0.150

*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

El cuadro 98 se muestra los valores estadísticos (Ks) calculados a partir de la comparación de la función de probabilidad continua y empírica (Weibull) para cada estación y por cada función de distribución probabilística considerada.

**Tabla 98**

*Resultados de funciones probabilísticas vs estaciones seleccionadas*

Estación	Talabaya		Palca		Calientes	
	Ks	Pvalue	Ks	Pvalue	Ks	Pvalue
<b>Distribución Probabilística</b>						
<b>GEV</b>	0.093	0.968	0.122	0.832	0.089	0.992
<b>EXP</b>	0.130	0.725	0.184	0.346	0.089	0.992
<b>GUM</b>	0.093	0.968	0.122	0.832	0.133	0.790
<b>WEI</b>	0.074	0.998	0.122	0.832	0.089	0.992
<b>GPA</b>	0.074	0.998	0.143	0.665	0.089	0.992
<b>PE3</b>	0.074	0.998	0.122	0.832	0.089	0.992
<b>GAM</b>	0.074	0.998	0.122	0.832	0.133	0.790
<b>GLO</b>	0.093	0.968	0.102	0.950	0.089	0.992

*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

Para escoger la función probabilística está en función del K-tabla con el Ks estadístico, el cual el Ks estadístico hallado no debería de ser mayor al K-tabla, en caso se superará dicho valor, la función de probabilidad sería descartada.

De lo anterior, las funciones de probabilidad que mejor se ajustan a las precipitaciones máximas anuales (PMA) de la estación Talabaya son: GEV, GUM, WEI, GPA, PE3, GAM, GLO.

Para la estación de Palca la función que mejor se ajusta es: GLO.

Para la estación de Calientes la funciones que mejor se ajustan son: GEV, EXP, WEI, GPA, PE3, GLO.

Las funciones de probabilidad seleccionadas para representar las precipitaciones máximas anuales (PMA) de las estaciones Paucarani, Talabaya, Palca y Calientes son detalladas en la tabla 99.

**Tabla 99**

*Prueba de Ajuste de Kolgomorov Smirnov – Funciones probabilísticas de mejor ajuste*

<b>Estación</b>	<b>Distribución</b>	<b>Ks</b>	<b>Probabilidad</b>
<b>Meteorológica</b>	<b>Probabilística</b>		<b>P (%)</b>
<b>TALABAYA</b>	PE3	0.074	99.80
<b>PALCA</b>	GLO	0.102	95.00
<b>CALIENTES</b>	GEV	0.089	99.20

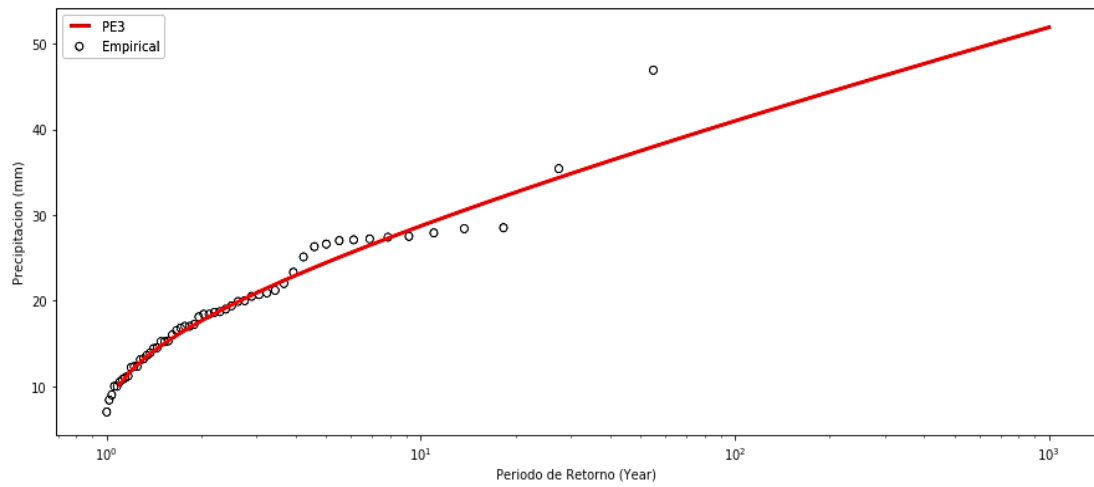
*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

El resumen de los resultados estadísticos - hidrológicos de las estaciones meteorológicas analizadas se muestra en las siguientes tablas.

Los cálculos y el procedimiento de elaboración y comparación de las funciones probabilísticas versus los datos de precipitación máxima anual de las estaciones seleccionadas se muestran en las siguientes figuras.

**Figura 32**

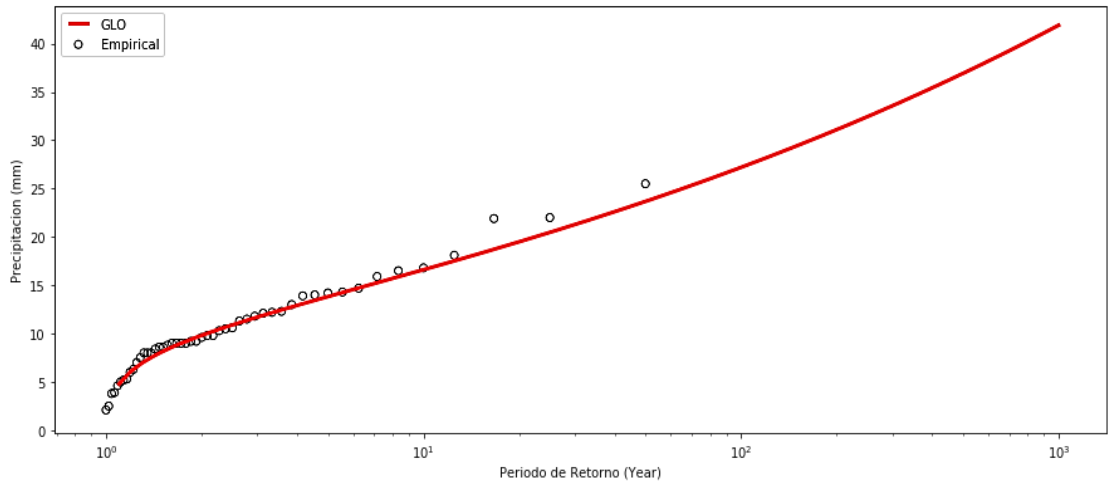
*Estación TALABAYA – Distribución PE3*



*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

**Figura 33**

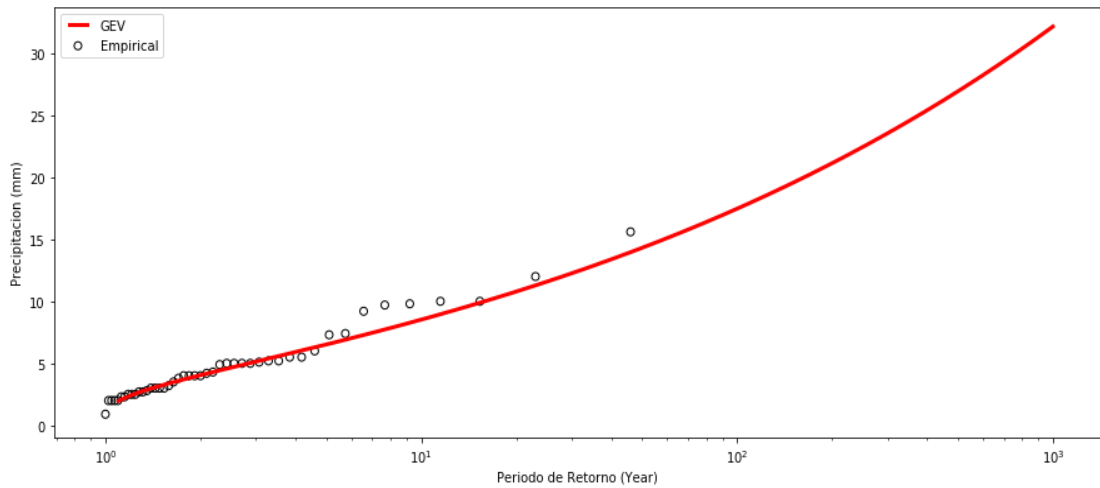
*Estación PALCA – Distribución GLO*



*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

**Figura 34**

*Estación CALIENTES – Distribución GEV*



*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

En la siguiente tabla, se presentó un resumen de las precipitaciones máximas 24 horas para diferentes probabilidades de ocurrencia o periodos de retorno de las estaciones seleccionadas.

**Tabla 100**

*Precipitaciones Máximas 24 horas para diferentes Periodos de Retorno de las Estaciones seleccionadas*

Estación Meteorológica	Distribución Probabilística	Precipitación Máxima 24 horas (mm)									
		Periodo de Retorno (años)									
		10	30	35	50	70	100	140	175	500	1000
<b>TALABAYA</b>	PE3	28.7 1	34.8 1	35.6 3	37.48	39.1 9	40.97	42.62	43.71	48.6 9	51.90
<b>PALCA</b>	GLO	16.6 0	21.2 8	21.9 9	23.67	25.3 4	27.19	29.04	30.31	36.9 1	41.89
<b>CALIENTES</b>	GEV	8.52	12.2 6	12.8 6	14.31	15.7 8	17.47	19.18	20.38	26.9 2	32.15

*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

Se presentó una tabla resumen de las precipitaciones máximas para diferentes probabilidades de ocurrencia, para la elaboración de los hietogramas, estos datos serán mayorados por un factor de 1.13 por tener solo 2 lecturas al día, esto por recomendación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

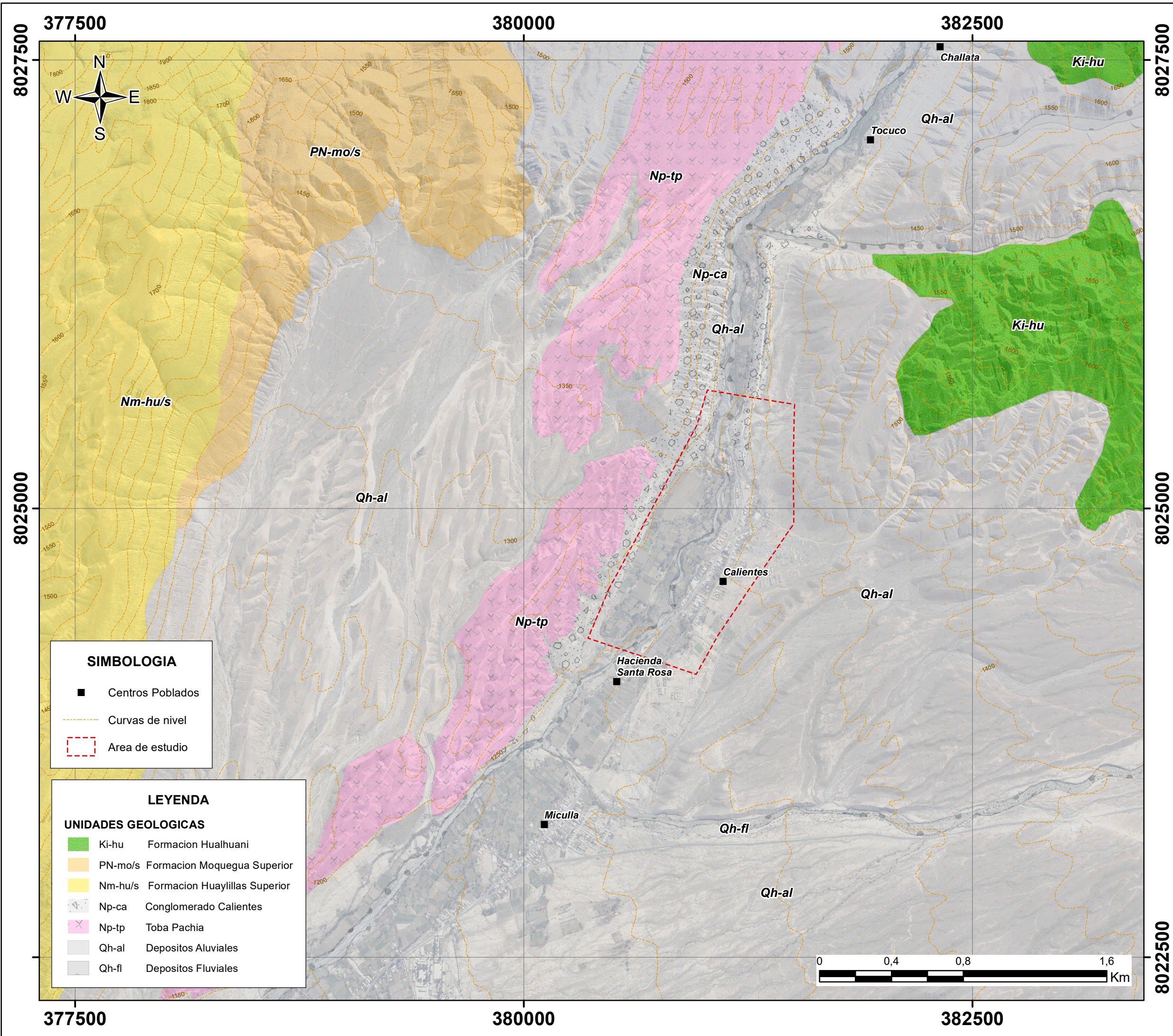
**Tabla 101**

*Corrección de las Precipitaciones Máximas 24 horas para diferentes Periodos de Retorno de las Estaciones seleccionadas*

Estación Meteorológica	Distribución Probabilística	Precipitación Máxima 24 horas (mm)									
		Periodo de Retorno (años)									
		10	30	35	50	70	100	140	175	500	1000
<b>TALABAYA</b>	PE3	32.4 4	39.34	40.26	42.35	44.28	46.30	48.16	49.39	55.02	58.65
<b>PALCA</b>	GLO	18.7 6	24.05	24.85	26.75	28.63	30.72	32.82	34.25	41.71	47.34
<b>CALIENTES</b>	GEV	9.63	13.85	14.53	16.17	17.83	19.74	21.67	23.03	30.42	36.33

*Nota.* Elaborado por GRT (2021).

**Anexo B**  
**MAPAS TEMÁTICOS**



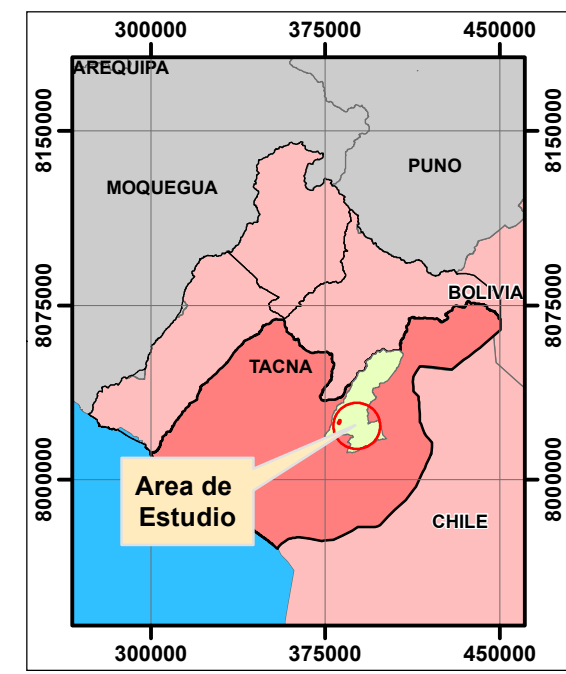
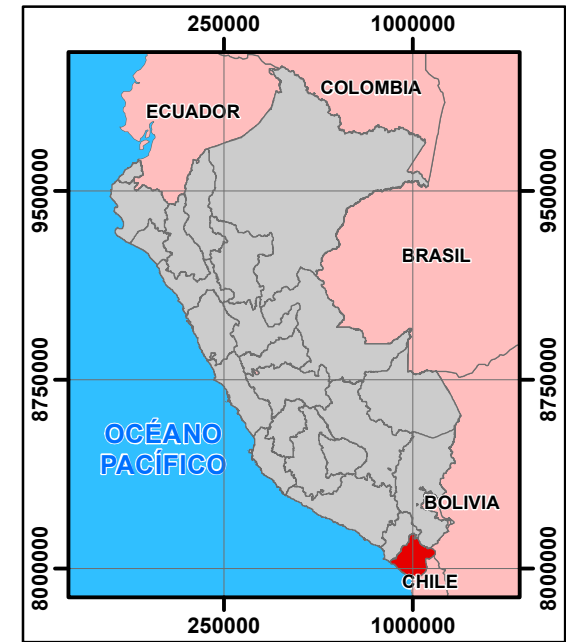
**SIMBOLOGIA**

- Centros Poblados
- Curvas de nivel
- - - Area de estudio

**LEYENDA**

**UNIDADES GEOLOGICAS**

- Ki-hu Formacion Hualhuani
- PN-mo/s Formacion Moquegua Superior
- Nm-hu/s Formacion Huaylillas Superior
- Np-ca Conglomerado Calientes
- Np-tp Toba Pachia
- Qh-al Depositos Aluviales
- Qh-fl Depositos Fluviales

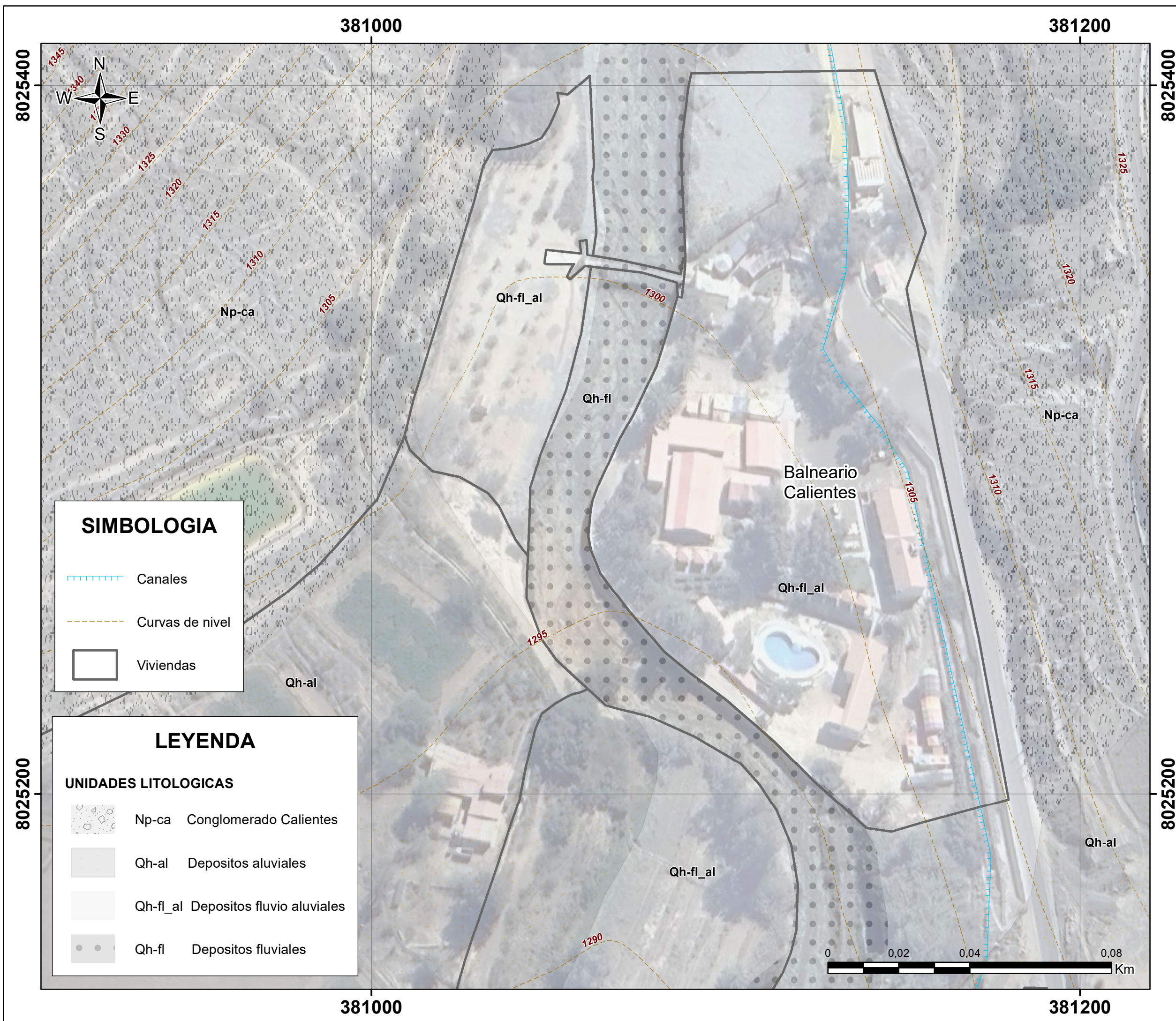


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE GEOLOGIA REGIONAL**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:20.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MGR-01</b>



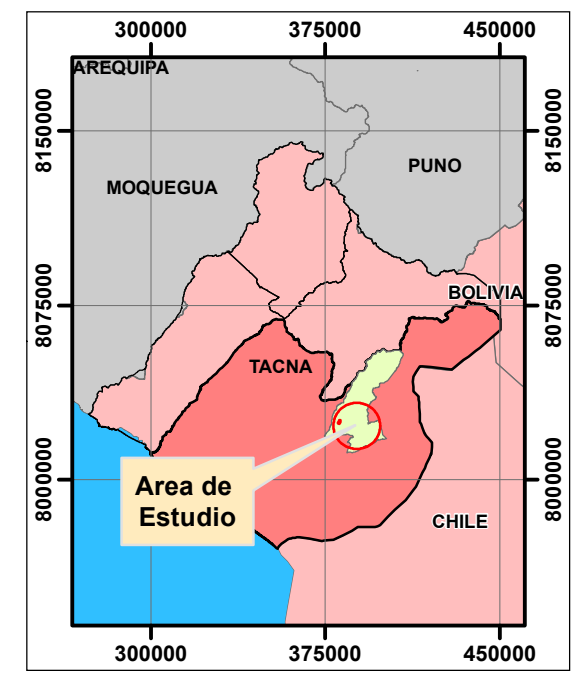
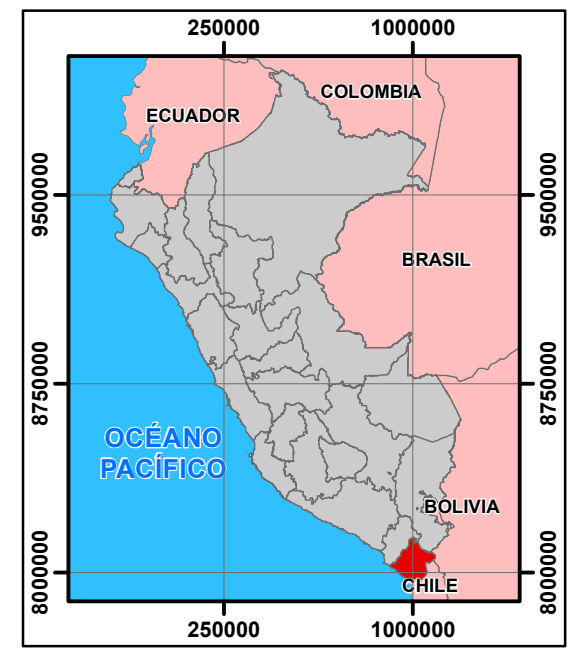
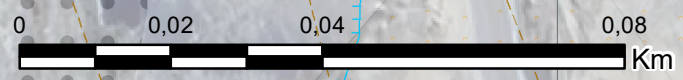
**SIMBOLOGIA**

- Canales
- Curvas de nivel
- Viviendas

**LEYENDA**

**UNIDADES LITOLÓGICAS**

- Np-ca Conglomerado Calientes
- Qh-al Depositos aluviales
- Qh-fl\_al Depositos fluvio aluviales
- Qh-fl Depositos fluviales

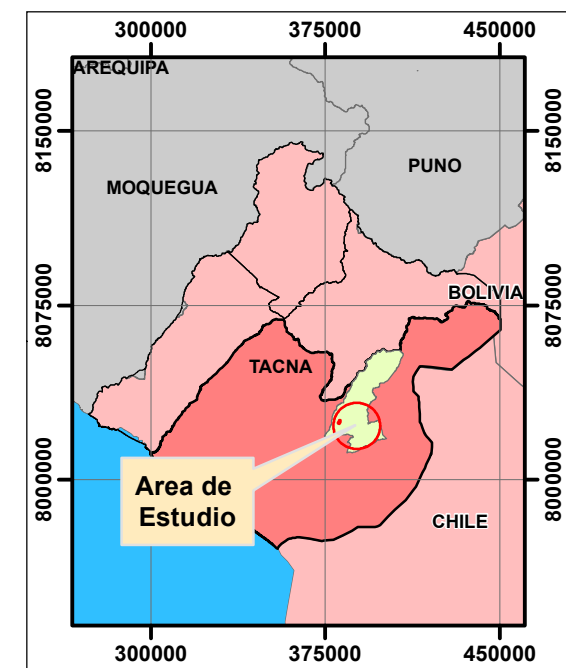
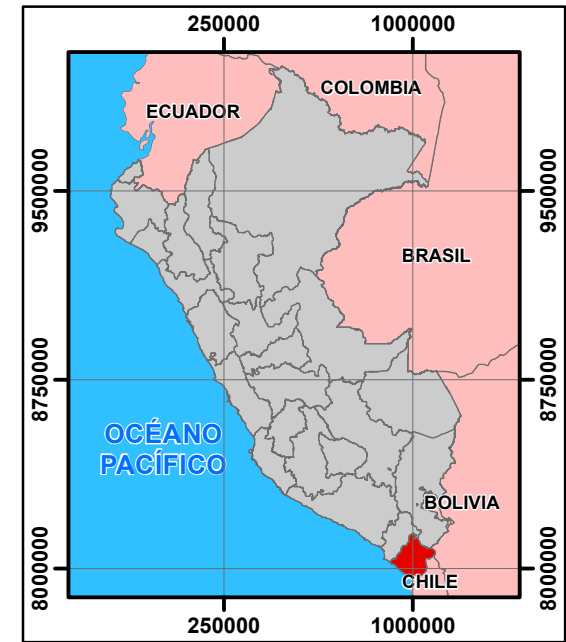
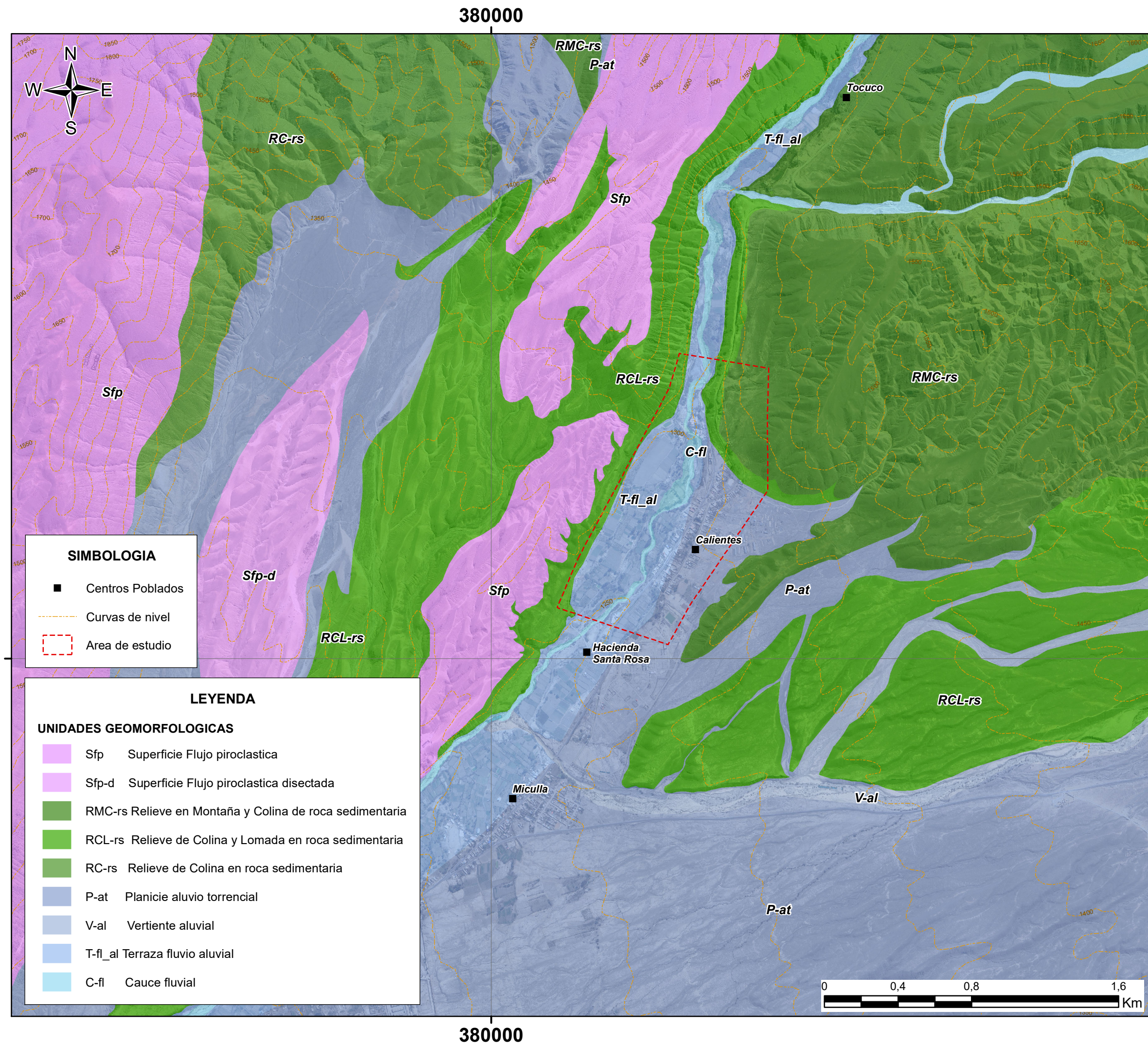


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE GEOLOGIA LOCAL**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:1.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MGL-01</b>

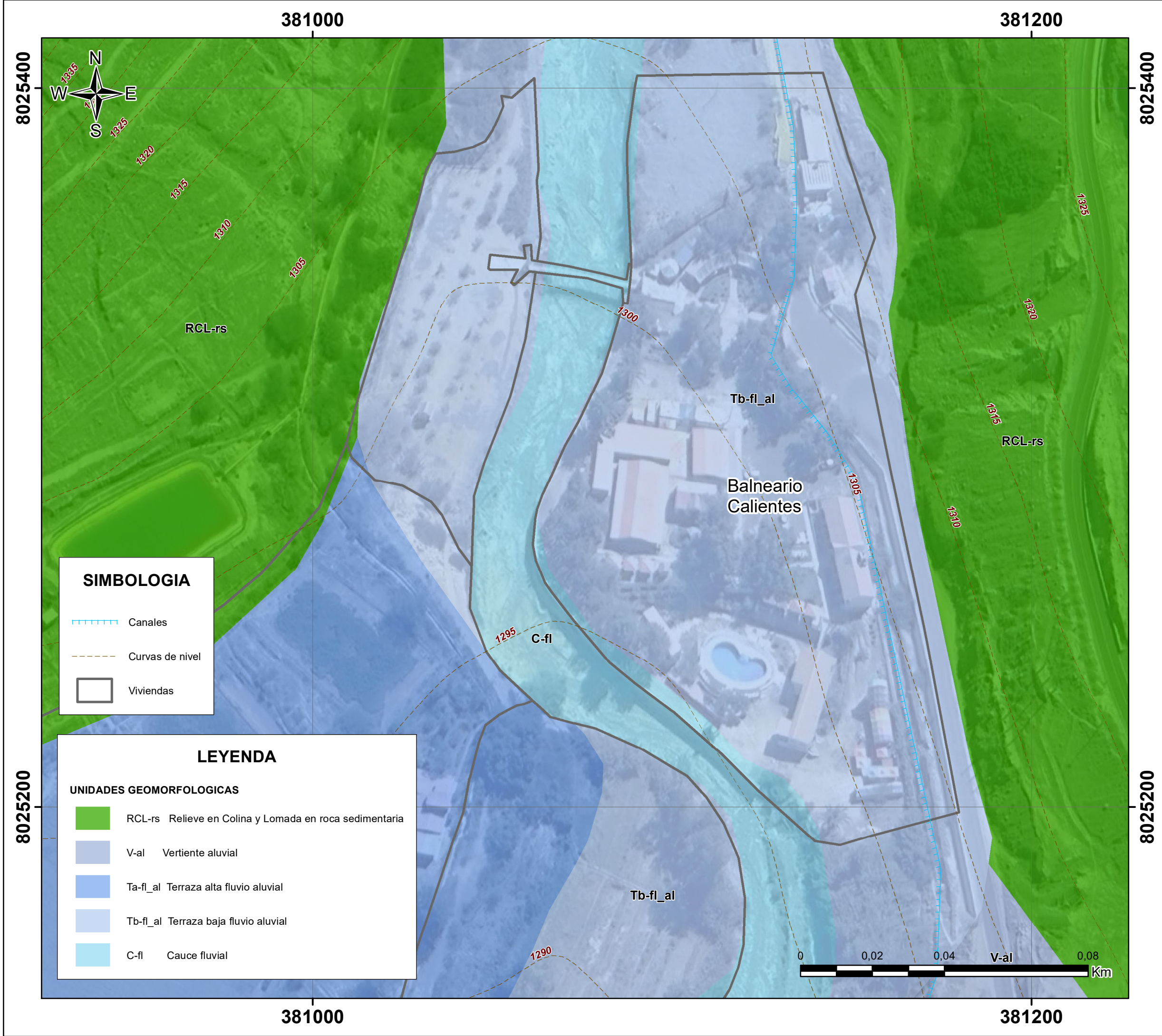


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE GEOMORFOLOGIA REGIONAL**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:20.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MGR-02</b>



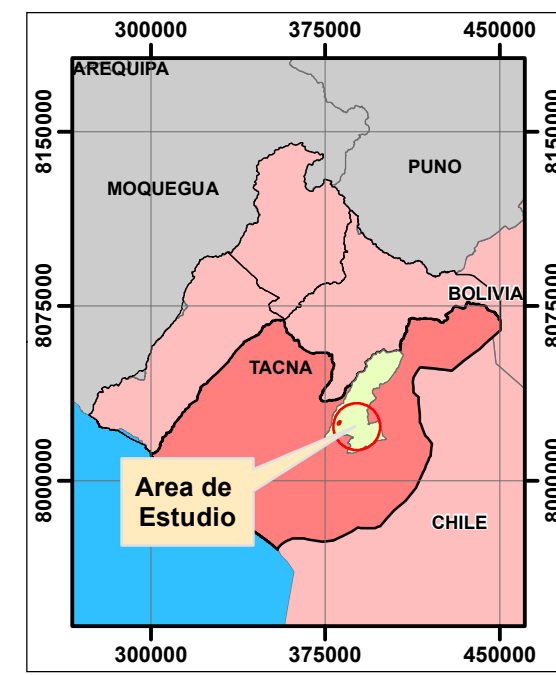
**SIMBOLOGIA**

- Canales
- Curvas de nivel
- Viviendas

**LEYENDA**

**UNIDADES GEOMORFOLOGICAS**

- RCL-rs Relieve en Colina y Lomada en roca sedimentaria
- V-al Vertiente aluvial
- Ta-fl\_al Terraza alta fluvio aluvial
- Tb-fl\_al Terraza baja fluvio aluvial
- C-fl Cauce fluvial

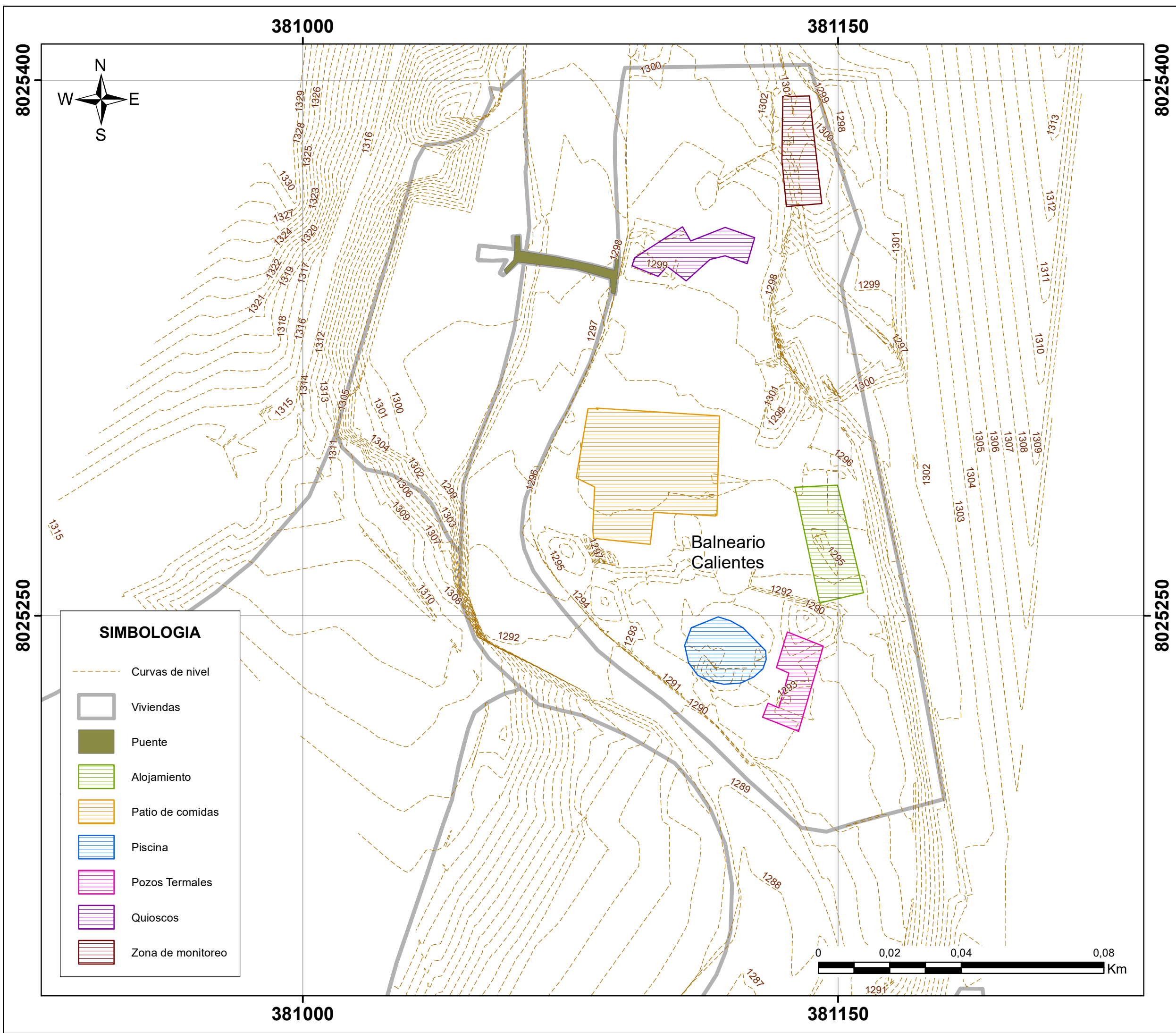


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

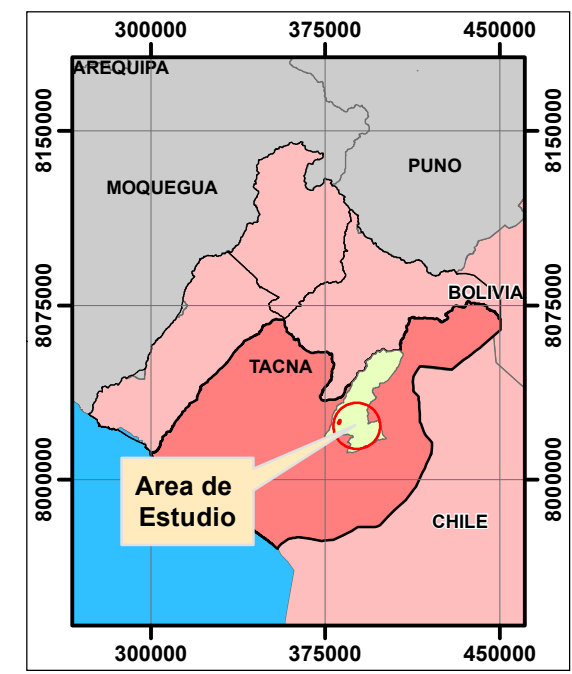
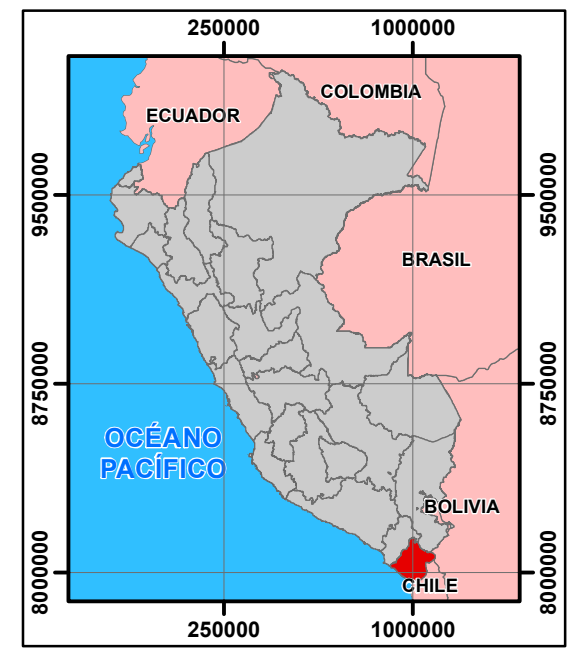
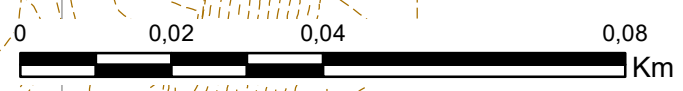
**MAPA DE GEOMORFOLOGIA LOCAL**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:1.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MGL-02</b>



**SIMBOLOGIA**

	Curvas de nivel
	Viviendas
	Puente
	Alojamiento
	Patio de comidas
	Piscina
	Pozos Termales
	Quioscos
	Zona de monitoreo



<p>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN          Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia          Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia</p>	
<p><b>EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA</b></p>	
<p><b>PLANO DE TOPOGRAFIA</b></p>	
Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:1.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MTP-01</b>



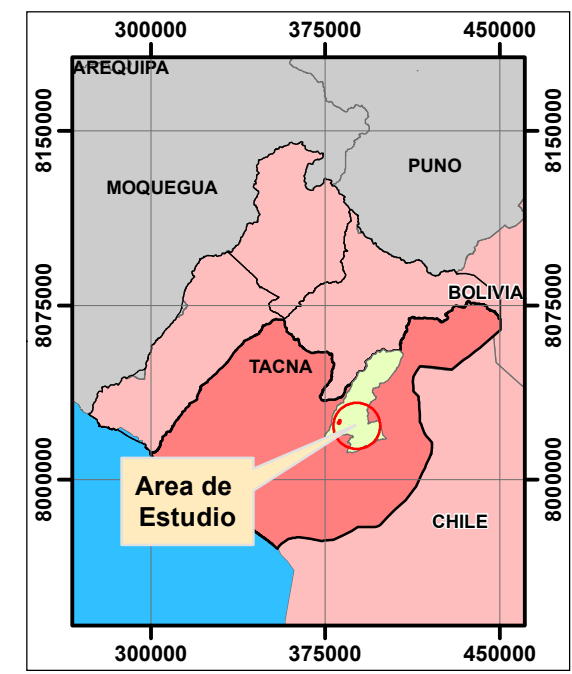
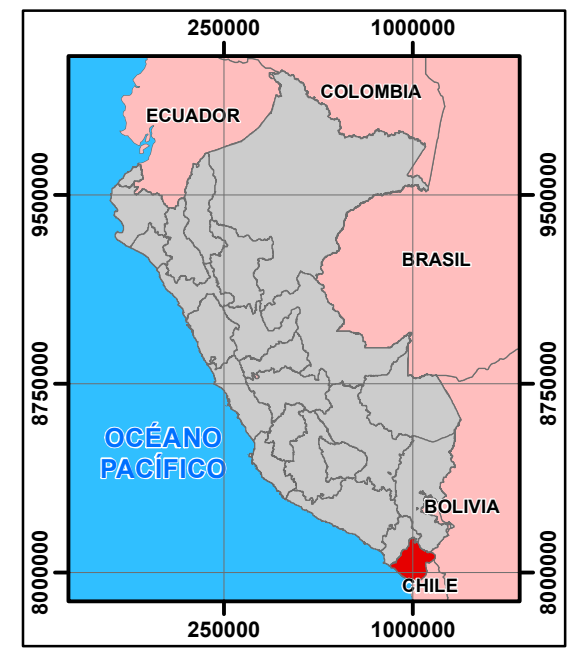
**SIMBOLOGIA**

- Curvas de nivel
- Viviendas

**LEYENDA**

**RANGO DE PENDIENTE**

- Menor a 5°
- 5° a 10°
- 10° a 20°
- 20° a 35°



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

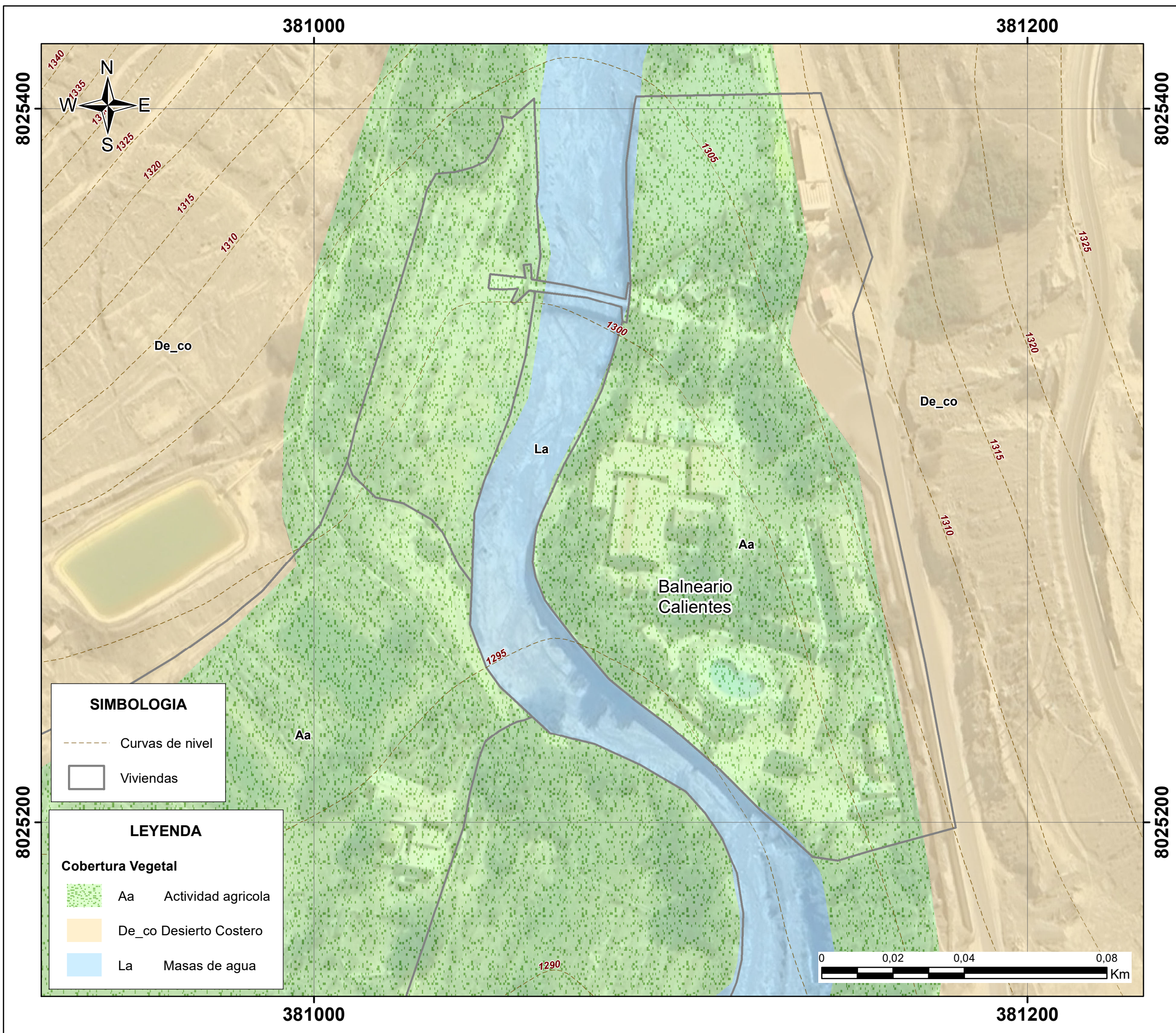
**MAPA DE PENDIENTE**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:1.000
--	--------------------

Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
-----------------------------	--

Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
-------------------------------------	-----------------------

Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MPD-01</b>
---	------------------------



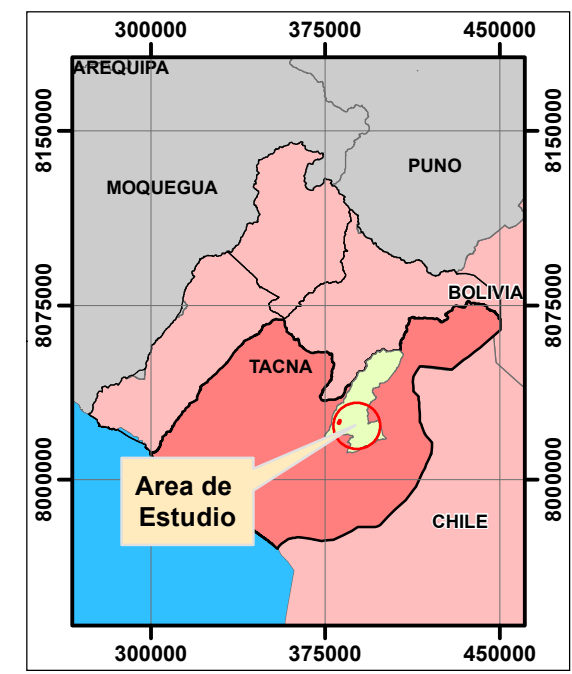
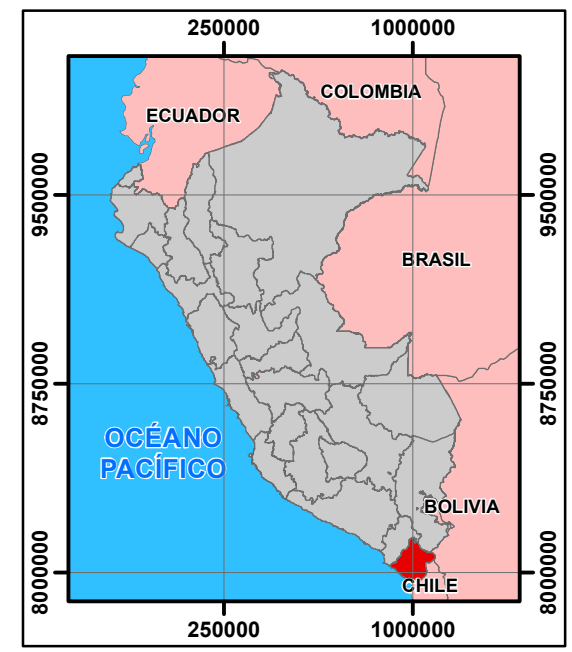
**SIMBOLOGIA**

- Curvas de nivel
- Viviendas

**LEYENDA**

**Cobertura Vegetal**

- Aa Actividad agrícola
- De\_co Desierto Costero
- La Masas de agua

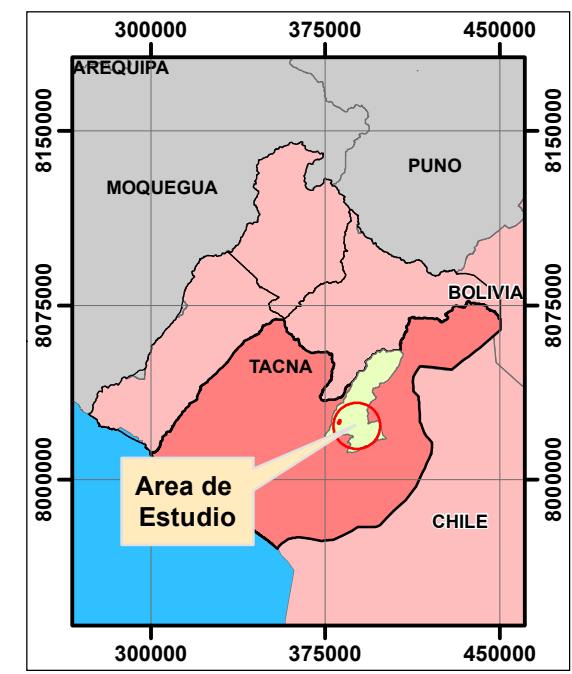
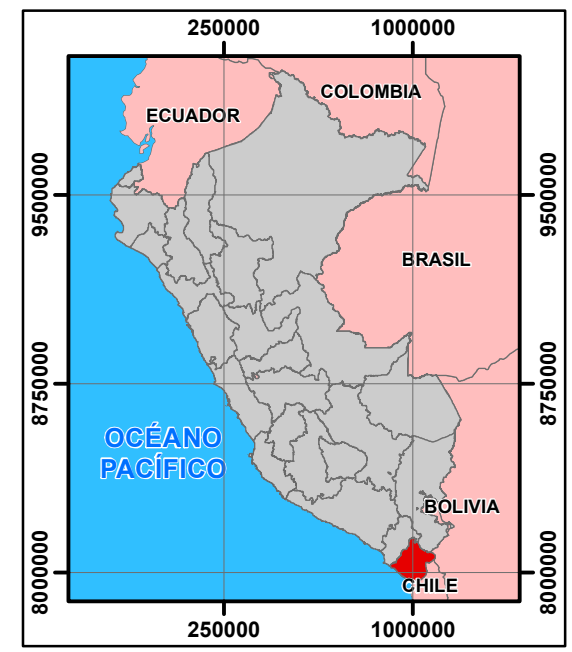
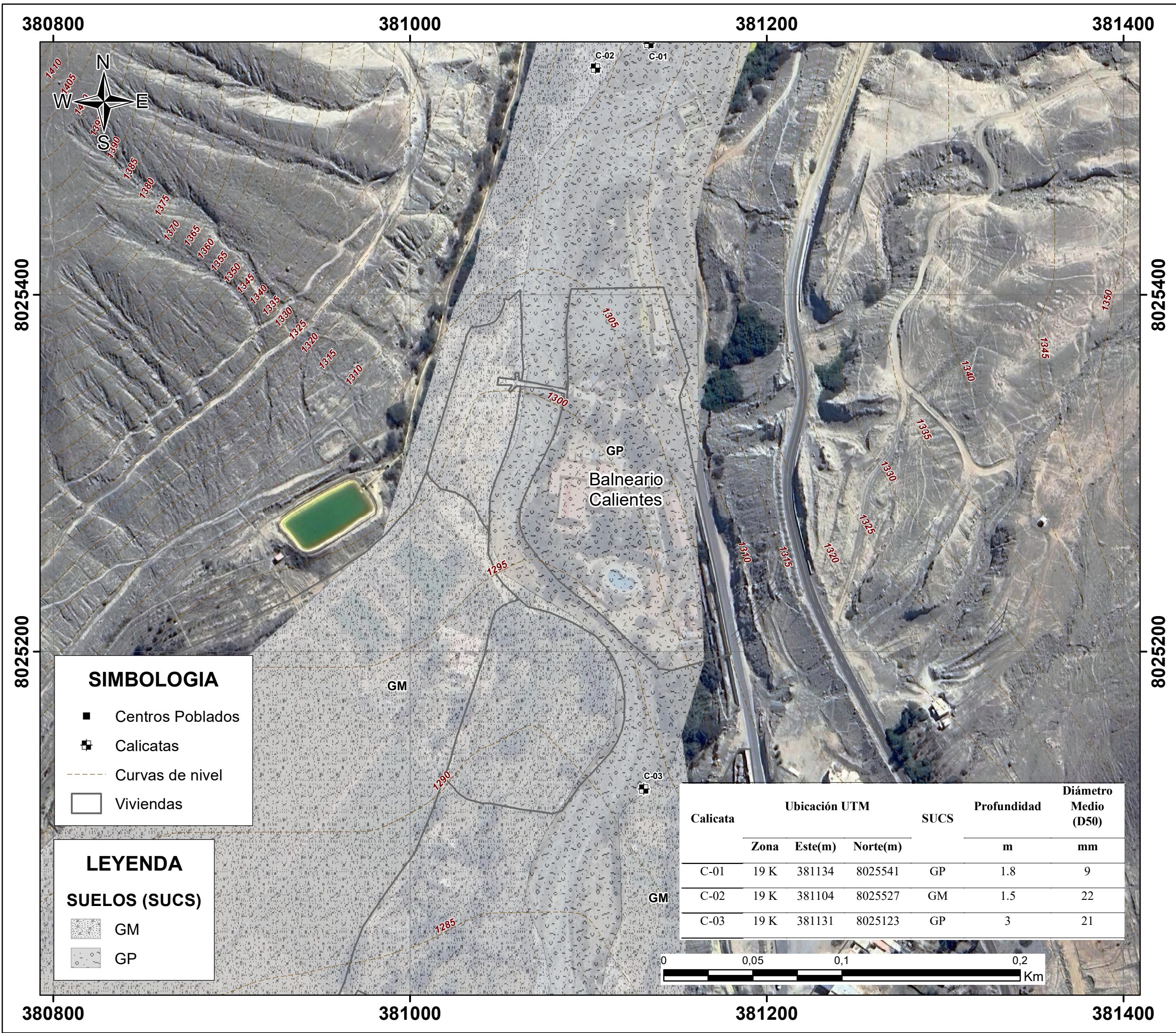


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE COBERTURA VEGETAL**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:1.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MCV-01</b>

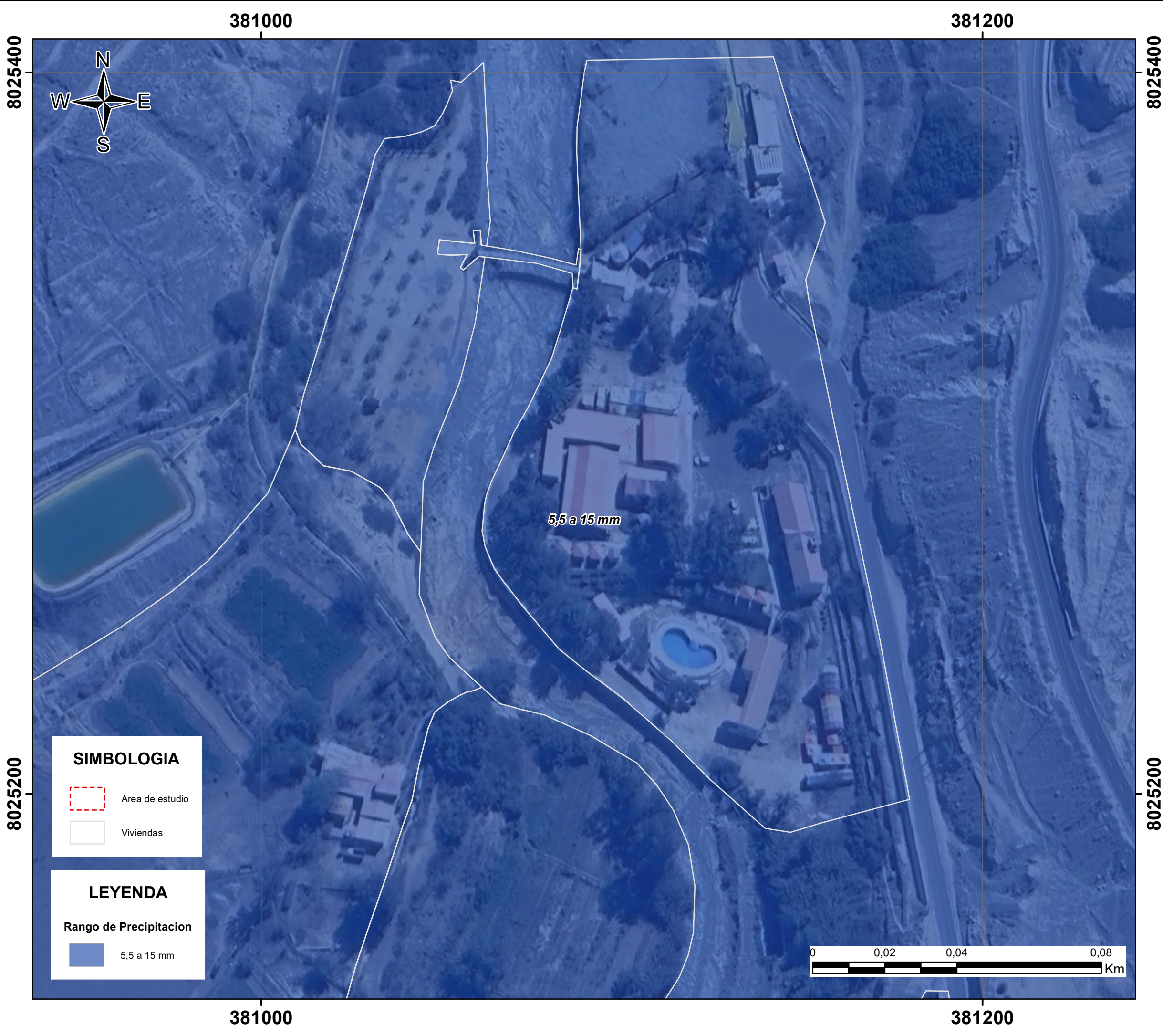


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE SUELOS**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:2.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MSU-01</b>



**SIMBOLOGIA**

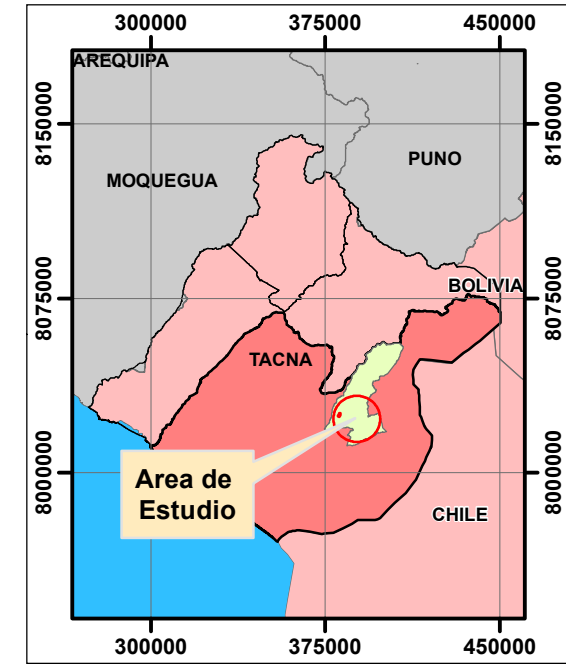
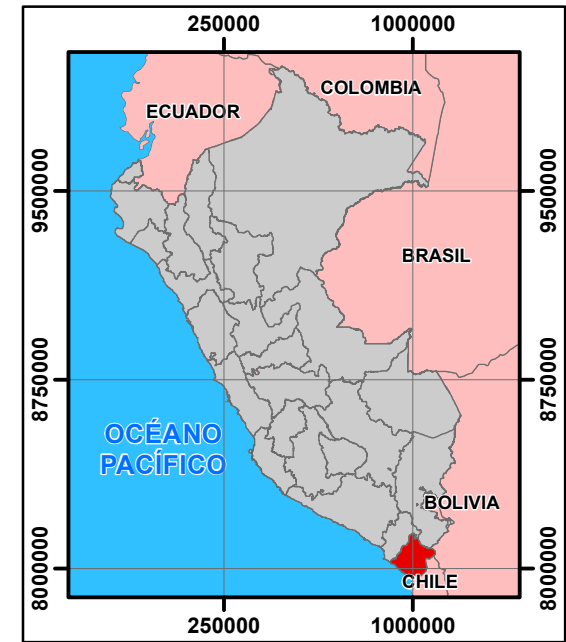
Area de estudio

Viviendas

**LEYENDA**

**Rango de Precipitacion**

5,5 a 15 mm

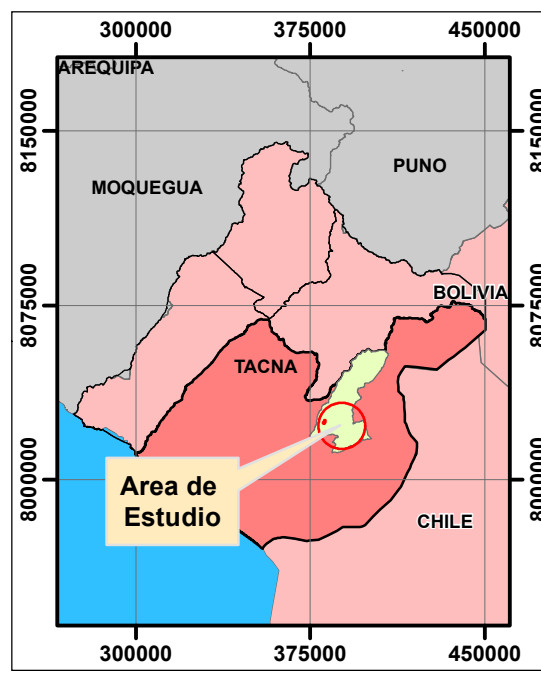


UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica – Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE PRECIPITACION**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:1.000
Formato de impresión: A 3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MPR-01</b>



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE ALTURAS DE INUNDACION TR 50 AÑOS**

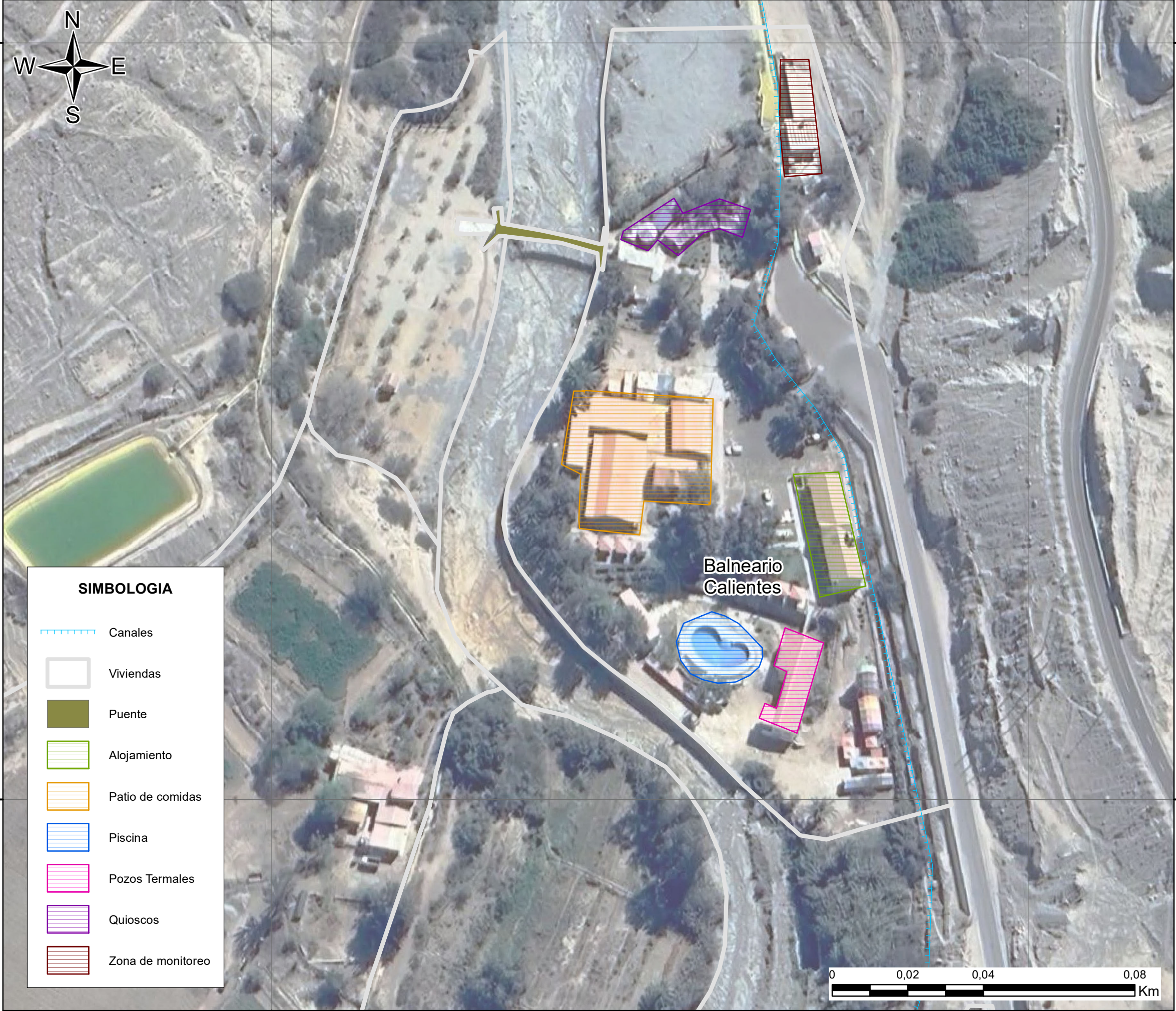
Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce	Escala: 1:1.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025
Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional) ANA (Cuerpos de Agua Continental) INEI (Centros poblados) CENEPRED (Imágenes Raster)	Mapa: <b>MIN-01</b>

381000

381200

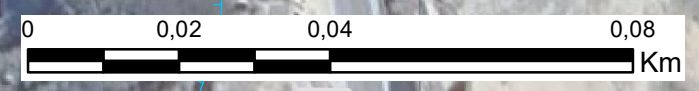
8025400

8025400



**SIMBOLOGIA**

	Canales
	Viviendas
	Puente
	Alojamiento
	Patio de comidas
	Piscina
	Pozos Termales
	Quioscos
	Zona de monitoreo

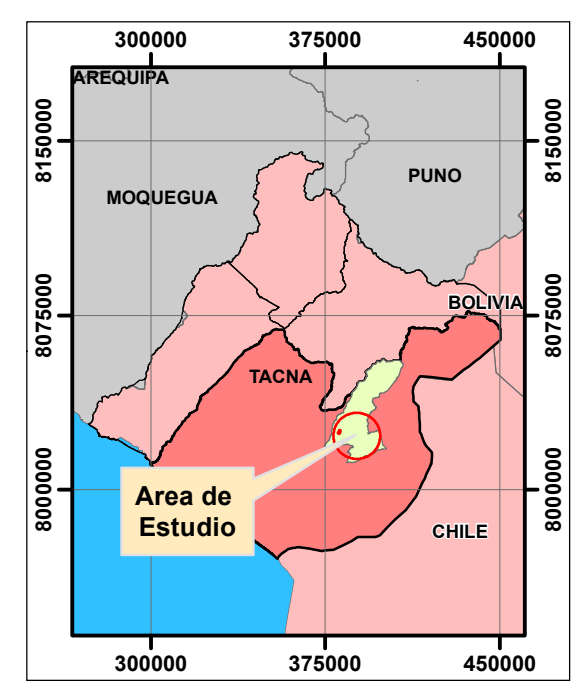
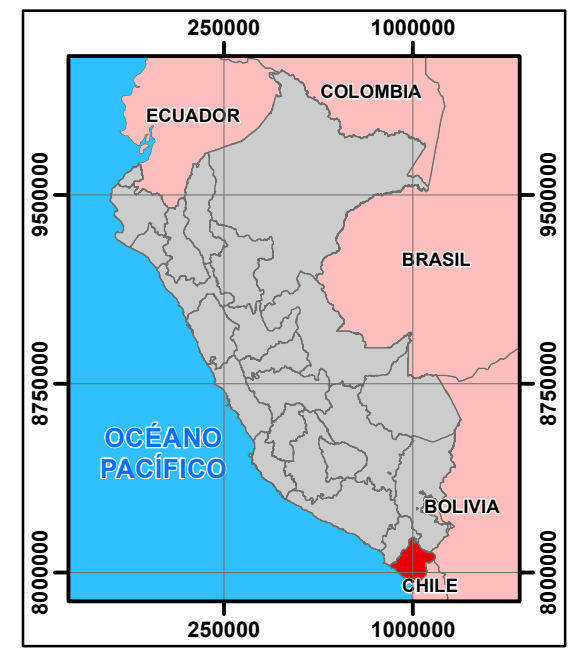


381000

381200

8025200

8025200



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE ELEMENTOS EXPUESTOS**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmary Laura Arce	Escala: 1:1.000
Formato de impresión: A3	Datum: WGS 84 Proyección: UTM Zona 19 S
Lugar: Distrito de Pachia, Tacna	Fecha: marzo, 2025

Fuente:  
IGN (Carta Topográfica Nacional)  
ANA (Cuerpos de Agua Continental)  
INEI (Centros poblados)  
CENEPRED (Imágenes Raster)

Mapa:  
**MEE-01**



**SIMBOLOGIA**

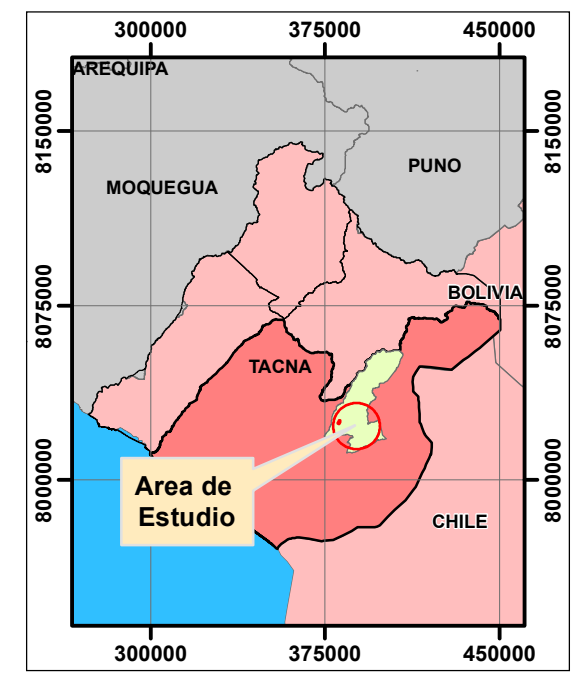
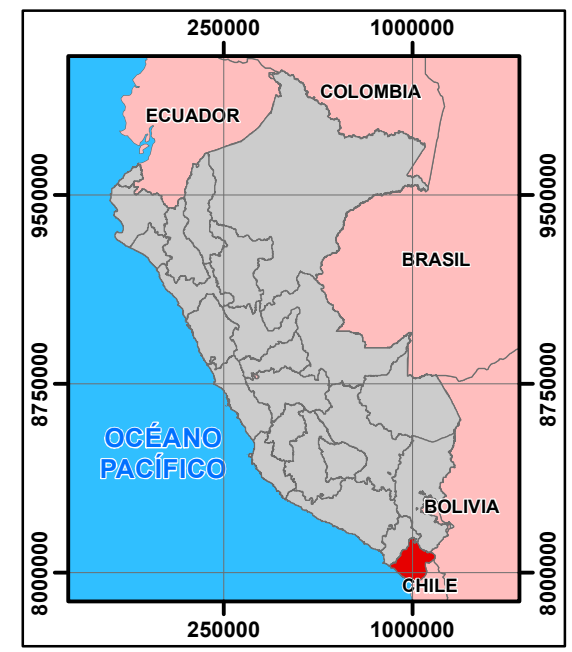
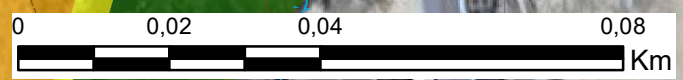
- Curvas de nivel
- ++++ Canales
- Viviendas

**LEYENDA**

Nivel de Peligro

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

NIVEL	PELIGRO		
<b>MUY ALTO</b>	0,260	≤ P ≤	<b>0,500</b>
<b>ALTO</b>	0,138	≤ P <	<b>0,260</b>
<b>MEDIO</b>	0,067	≤ P <	<b>0,138</b>
<b>BAJO</b>	0,035	≤ P <	<b>0,067</b>



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE PELIGRO POR INUNDACION FLUVIAL**

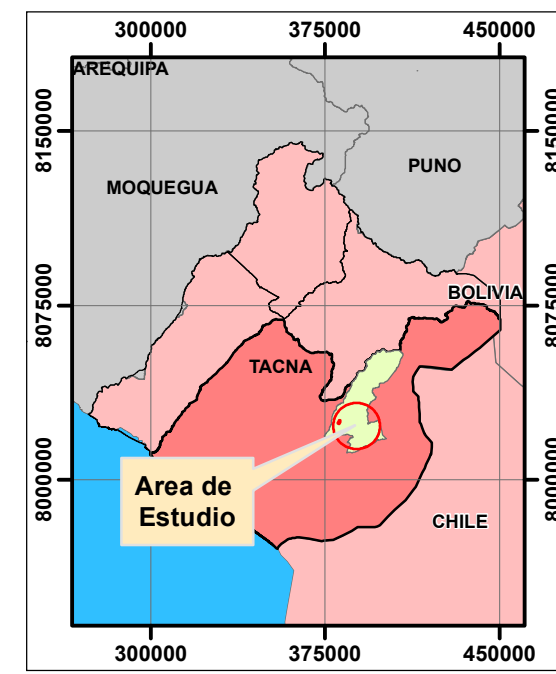
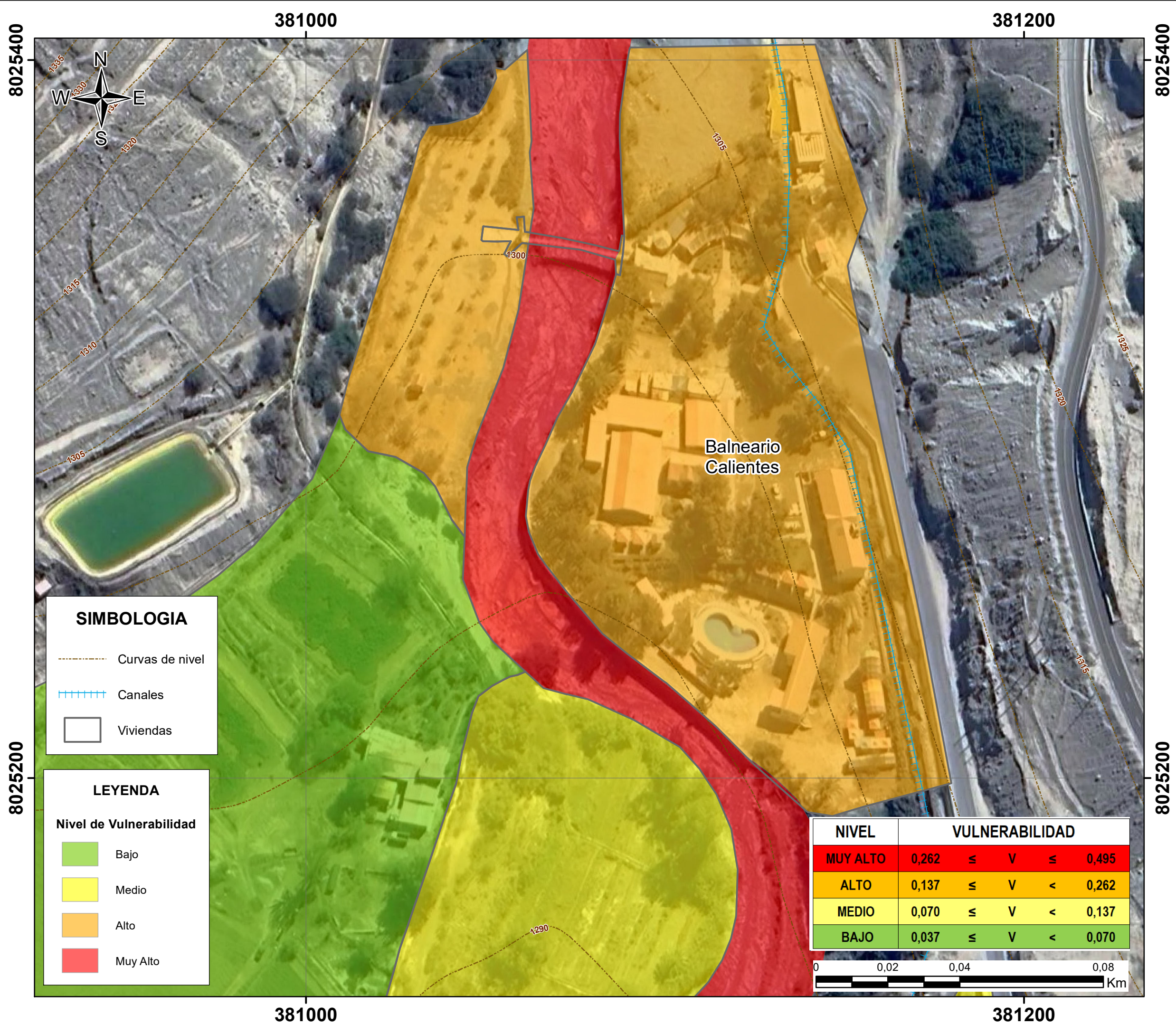
Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce  
 Escala: 1:1.000

Formato de impresión: A3  
 Datum: WGS 84  
 Proyección: UTM Zona 19 S

Lugar: Distrito de Pachia, Tacna  
 Fecha: mayo, 2025

Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional)  
 ANA (Cuerpos de Agua Continental)  
 INEI (Centros poblados)  
 CENEPRED (Imágenes Raster)

Mapa: **MPE-01**



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA DE VULNERABILIDAD**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce  
 Escala: 1:1.000

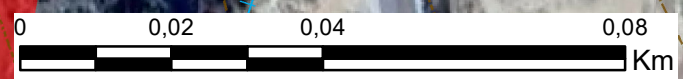
Formato de impresión: A3  
 Datum: WGS 84  
 Proyección: UTM Zona 19 S

Lugar: Distrito de Pachia, Tacna  
 Fecha: junio, 2025

Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional)  
 ANA (Cuerpos de Agua Continental)  
 INEI (Centros poblados)  
 CENEPRED (Imágenes Raster)

Mapa: **MVU-01**

NIVEL	VULNERABILIDAD			
MUY ALTO	0,262	≤	V	≤ 0,495
ALTO	0,137	≤	V	< 0,262
MEDIO	0,070	≤	V	< 0,137
BAJO	0,037	≤	V	< 0,070





**SIMBOLOGIA**

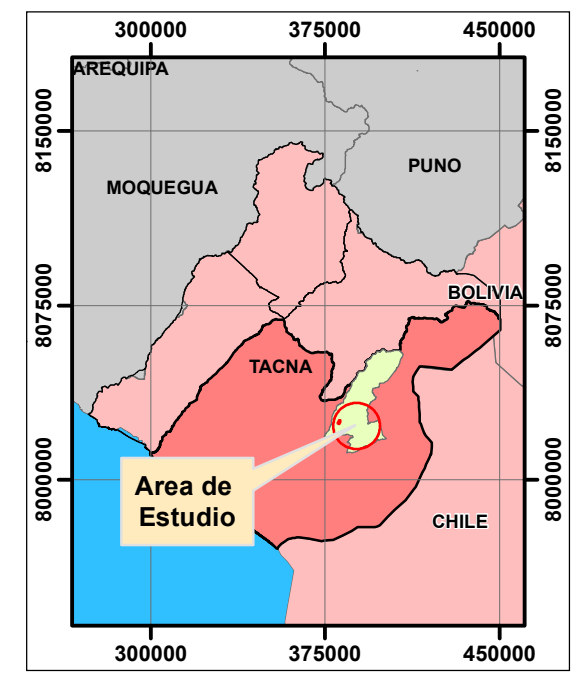
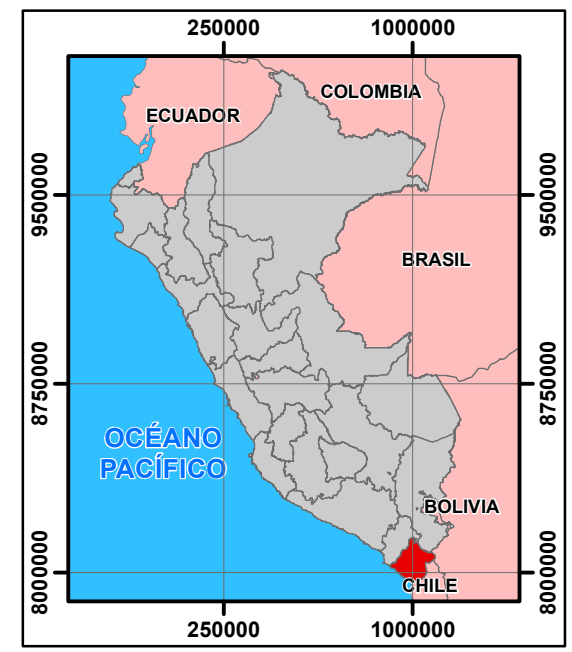
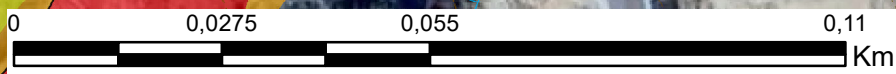
- Curvas de nivel
- ||||| Canales
- Viviendas

**LEYENDA**

Nivel de Riesgo

- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

NIVEL	RIESGO	
MUY ALTO	0,068	$\leq R \leq 0,248$
ALTO	0,019	$\leq R < 0,068$
MEDIO	0,005	$\leq R < 0,019$
BAJO	0,001	$\leq R < 0,005$



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
 Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia  
 Escuela Profesional de Ingeniería Geológica - Geotecnia

**EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA DEL BALNEARIO DE CALIENTES, DISTRITO DE PACHIA-TACNA**

**MAPA RIESGO ORIGINADO POR INUNDACION FLUVIAL**

Procesamiento de Datos: Bach.Ing.Geol. Rosmery Laura Arce | Escala: 1:1.000

Formato de impresión: A3 | Datum: WGS 84 | Proyección: UTM Zona 19 S

Lugar: Distrito de Pachia, Tacna | Fecha: junio, 2025

Fuente: IGN (Carta Topográfica Nacional), ANA (Cuerpos de Agua Continental), INEI (Centros poblados), CENEPRED (Imágenes Raster) | Mapa: **MRI-01**