



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis de susceptibilidad por flujo de detritos en la zona de descarga de la
quebrada San Carlos – Cañete – Lima – Perú

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Chacaltana Garces, Marco Daniel
ORCID: 0000-0003-3712-0244

Zenobio Pariasca, Alexis Ivan
ORCID: 0000-0002-0373-5315

ASESOR

Mogrovejo Gutiérrez, Rubén Esaú
ORCID: 0000-0003-3254-7636

Lima, Perú

2023

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Chacaltana Garces, Marco Daniel

DNI: 76290754

Zenobio Pariasca, Alexis Ivan

DNI: 75351702

Datos de asesor

Mogrovejo Gutiérrez, Rubén Esaú

DNI: 10623893

Datos del jurado

JURADO 1

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

JURADO 2

López Silva, Maiquel

DNI: J448546

ORCID: 0000-0002-0946-6160

JURADO 3

Aliaga Díaz, Reuter Arturo

DNI: 07229778

ORCID: 0000-0002-2785-0596

JURADO 4

Calderón Rufasto, Jacinto Cornelio

DNI: 10304133

ORCID: 0000-0001-8505-1808

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por nunca dejarme solo y darme los ánimos para desarrollar nuestra investigación. A mi madre Danitza, por su gran esfuerzo, apoyo y amor a lo largo de toda mi vida. A mis amigos Arq.Francisco Diaz, Ing.Miulka Montañez, Trad.Andrea Arismendiz y Sr. Daniel Anca por siempre estar ahí para mí en las buenas y malas.

A mi querido abuelo Orlando Garces, por ser como un padre y ejemplo para mí.

Les dedico a todos ustedes este triunfo.

Marco Daniel Chacaltana Garces

Quiero dedicar esta tesis a mis padres Magda y Edgar por todo el cariño y esfuerzo que han puesto en mi durante todos estos años de vida, a mis abuelos Alejandro, Rosa, Teodolfo y Alejandrina por siempre preocuparse por mí y darme siempre consejos y cariño.

A mi hermano Alonso por apoyarme siempre que lo he necesitado.

A toda la familia que me quiere y se preocupa por mí, les dedico este trabajo.

Alexis Ivan Zenobio Pariasca

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecemos al M.Sc.Ing.Rubén Mogrovejo por sus excelentes asesorías y atención en todo momento a lo largo del desarrollo de esta investigación.

En segundo lugar, nuestro sincero agradecimiento a los señores ingenieros: Hugo Huapaya, Néstor Mora y Fernando Pérez que nos aportaron sus conocimientos en las distintas áreas de aplicación.

En tercer lugar, al Ing. Adrián Camayo y al Lic. Darío Camayo, por su hospitalidad y apoyo en los viajes a la zona de estudio.

En cuarto lugar, a la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA) y al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) por brindarnos de manera rápida y eficiente la data necesaria para el desarrollo de los estudios.

Marco Chacaltana y Alexis Zenobio

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	2
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema principal.....	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo principal.....	4
1.3.2 Objetivos secundarios.....	4
1.4 Justificación del estudio.....	4
1.4.1 Conveniencia.....	4
1.4.2 Relevancia social.....	5
1.4.3 Aplicaciones prácticas.....	5
1.4.4 Utilidad metodológica.....	6
1.5 Importancia del estudio.....	6
1.6 Limitaciones del estudio.....	6
1.7 Delimitación.....	7
1.7.1. Geográfica.....	7
1.7.2 Temporal.....	7
1.7.3 Temática.....	7
1.8 Viabilidad del estudio.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Marco histórico.....	8
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema.....	8
2.2.1. Investigaciones internacionales.....	8
2.2.2. Investigaciones nacionales.....	12
2.3. Bases teóricas.....	15
2.3.1. Hidrología.....	15

2.3.2. Geomática	16
2.3.3. Movimientos de masa	18
2.3.4. Modelado numérico RAMMS debris flow	22
2.3.5. Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales	28
2.3.6. Análisis y evaluación de la peligrosidad.....	31
2.3.7. Evaluación de vulnerabilidad por fenómenos naturales	35
2.3.8. Estimación de riesgos por fenómenos naturales	38
2.4. Definición de terminología básica	40
2.7. Hipótesis o supuestos teóricos	41
2.7.1. Hipótesis general	41
2.7.2. Hipótesis específicas.....	41
2.8. Variables	41
2.8.1. Sistema de variables.....	41
2.9. Definición conceptual	41
2.9.1. Variable dependiente - Análisis de susceptibilidad:	41
2.9.2. Variable independiente - Flujo de detritos:.....	41
2.10. Definición operacional.....	42
2.10.1. Operacionalización de variables	42
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	43
3.1. Método de la investigación	43
3.2. Tipo y nivel de la investigación.....	43
3.3. Diseño de la investigación	44
3.4. Población y muestra.....	44
3.4.1. Población	44
3.4.2. Muestra	44
3.5. Técnicas e instrumentación de recolección de datos	44
3.5.1. Bibliografía	44
3.5.2. Encuestas	44
3.5.3. Observación	44
3.6. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos	45
3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	45
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	46

4.1. Recopilación de datos	46
4.1.1. Identificación de gabinete	46
4.1.2. Identificación de campo	55
CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	67
5.1. Estudio geomorfológico.....	67
5.1.1. Información sobre la unidad	67
5.1.2. Parámetros de forma	67
5.1.3. Parámetros de relieve.....	70
5.1.4. Parámetros de la red hídrica.....	74
5.2. Estudio hidrológico.....	76
5.2.1. Información sobre la estación	76
5.2.2. Data pluviométrica.....	77
5.2.3. Procesamiento de data	83
5.3. Estudio de detritos	104
5.3.2. Exploración geotécnica.....	104
5.3.3. Caracterización de los detritos.....	112
5.4. RAMMS Debris Flow.....	120
5.4.1. Generación de la topografía.....	120
5.4.2. Cálculo de parámetros de entrada.....	125
5.4.3. Simulación y salida de resultados.....	126
5.5. Evaluación del riesgo por flujo de detritos	128
5.5.1. Evaluación del peligro	128
5.5.2. Evaluación de la vulnerabilidad.....	139
5.5.3. Evaluación del riesgo.....	203
5.6. Alternativas de mitigación de riesgo por flujo de detritos.....	206
5.6.1. Medidas estructurales	207
5.6.2. Medidas no estructurales	211
5.7. Control del riesgo	211
5.7.1. Aceptabilidad y tolerancia	211
5.7.2. Valoración de las consecuencias.....	212
5.7.3. Valoración de frecuencia	213
5.7.4. Nivel de consecuencias y daños.....	214

CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	215
6.1. Resultados de la investigación.....	215
6.1.1. Simulación con RAMMS Debris Flow.....	215
6.1.2. Análisis de susceptibilidad	215
6.2. Análisis e interpretación de resultados	215
6.3. Contrastación de hipótesis	216
CONCLUSIONES	217
RECOMENDACIONES.....	219
REFERENCIAS	221
ANEXOS	224
Anexo 1: Carta de presentación al SENAMHI.....	224
Anexo 2: Declaración jurada de datos pluviométricos	225
Anexo 3: Carta de presentación a la MPC y documentos.....	226
Anexo 4: Modelo de encuesta realizada a los pobladores de San Carlos	229
Anexo 5: Actas de entrega de imágenes satelitales PeruSat-1.....	230
Anexo 6: Resultados de ensayos geotécnicos.....	233
Anexo 7: Mapa SIGRID de la zona de estudio.....	240
Anexo 8: Mapa de la asociación de vivienda popular San Carlos Alto.....	242
Anexo 9: Sector hidrográfico San Carlos	244
Anexo 10 : Topografía del sector San Carlos	246
Anexo 11: Mapa de pendientes.....	248
Anexo 12: Ubicación de calicatas.....	250
Anexo 13: Geología regional del sector San Carlos	252
Anexo 14: Geología local del sector San Carlos	254
Anexo 15: Geomorfología local del sector San Carlos.....	256
Anexo 16: Mapa de peligro	258
Anexo 17: Mapa de vulnerabilidad.....	260
Anexo 18: Mapa de riesgo	262
Anexo 19: Génesis del flujo de detritos en el sector San Carlos	264
Anexo 20: Matriz de consistencia.....	269

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Daños por huayco	2
Tabla 2 Tipos e interacciones de los movimientos	21
Tabla 3 Escala de velocidades de remociones de masa	22
Tabla 4 Datos de entrada necesarios para simular en RAMMS	25
Tabla 5 Rangos recomendados para los parámetros μ , ξ y C	26
Tabla 6 Aspectos físicos asociados al movimiento de flujos de detritos.....	27
Tabla 7 Tipos de análisis cuantitativos de peligros	30
Tabla 8 Ejemplo de factores condicionantes para un análisis de susceptibilidad de remociones en masa	34
Tabla 9 Operacionalización de variables	42
Tabla 10 Información sobre la unidad hidrográfica.....	67
Tabla 11 Parámetros de forma del sector San Carlos	68
Tabla 12 Clasificación de tamaños de cuencas.....	68
Tabla 13 Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius	69
Tabla 14 Clasificación del Factor de Forma.....	69
Tabla 15 Clasificación del Índice de Circularidad.....	70
Tabla 16 Correlación ambiental de parámetros geomorfológicos.....	70
Tabla 17 Parámetros iniciales de la curva hipsométrica.....	71
Tabla 18 Cálculo de la curva hipsométrica y polígono de frecuencias	71
Tabla 19 Resultados de la curva hipsométrica.....	72
Tabla 20 Resultados del MDE en ArcGIS.....	72
Tabla 21 Clasificación de pendientes medias	73
Tabla 22 Parámetros de relieve del sector San Carlos.....	74
Tabla 23 Cálculo de la pendiente media mediante Taylor Schwarz.....	75
Tabla 24 Parámetros de drenaje del sector San Carlos	76
Tabla 25 Información sobre la estación pluviométrica.....	77
Tabla 26 Data pluviométrica de la estación Cañete.....	78
Tabla 27 Data pluviométrica completada y extendida de la estación Cañete.....	80
Tabla 28 Análisis de datos pluviométricos dudosos.....	84
Tabla 29 Resultados de la prueba de bondad de Kolmogrov – Smirnov con Hidroesta 2.....	86

Tabla 30 Resultados de la prueba de bondad de Kolmogrov – Smirnov con Hydrognomon	87
Tabla 31 Resultados de la prueba de bondad de Chi Cuadrado con Hydrognomon.....	88
Tabla 32 Contraste entre valores de la prueba de Kolmogrov - Smirnov.....	89
Tabla 33 Contraste entre valores de la prueba de Chi Cuadrado.....	90
Tabla 34 Precipitación para distintos períodos de retorno.....	90
Tabla 35 Relación entre precipitación máxima verdadera y precipitación en intervalos fijos	91
Tabla 36 Precipitaciones máximas corregidas.....	92
Tabla 37 Precipitaciones máximas según Dick y Peschke	93
Tabla 38 Intensidades máximas según Dick y Peschke.....	94
Tabla 39 Precipitaciones máximas según Frederich Bell	96
Tabla 40 Intensidades máximas según Frederich Bell.....	96
Tabla 41 Parámetros lluvia - duración de Cheng - Lung Chen	98
Tabla 42 Precipitaciones máximas según Cheng – Lung Chen.....	100
Tabla 43 Intensidades máximas según Cheng – Lung Chen	100
Tabla 44 Coeficientes de escorrentía del método racional	102
Tabla 45 Parámetros de la quebrada	103
Tabla 46 Intensidades según método (mm/h).....	103
Tabla 47 Caudales según método (m ³ /s).....	104
Tabla 48 Ubicación de las calicatas	105
Tabla 49 Resultados del ensayo granulométrico (ASTM D5913 – 17) para C - 01	106
Tabla 50 Propiedades comunes de los suelos granulares no cohesivos.....	107
Tabla 51 Parámetros de resistencia estimados para C-01 según Casagrande.....	107
Tabla 52 Resultados del ensayo granulométrico (ASTM D5913 - 17) para C - 02	108
Tabla 53 Resultados del ensayo de corte directo saturado (ASTM D3080) para C - 02	109
Tabla 54 Parámetros de resistencia estimados para C-02 según Casagrande.....	109
Tabla 55 Resultados del ensayo granulométrico (ASTM D5913 - 17) para C - 03	110
Tabla 56 Resultados del ensayo de corte directo saturado (ASTM D3080) para C - 03	110

Tabla 57	Parámetros de resistencia estimados para C-03 según Casagrande.....	111
Tabla 58	Resumen de propiedades geotécnicas de calicatas realizadas	111
Tabla 59	Clasificación del flujo según concentración volumétrica.....	113
Tabla 60	Primer escenario - Concentración volumétrica.....	113
Tabla 61	Segundo escenario - Concentración volumétrica	114
Tabla 62	Primer escenario - Reología de los sedimentos	115
Tabla 63	Segundo escenario - Concentración volumétrica	116
Tabla 64	Parámetros finales del flujo de detritos	116
Tabla 65	Caudales máximos	119
Tabla 66	Estado de imágenes descargadas del sistema COF.....	120
Tabla 67	Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación.....	128
Tabla 68	Matriz de normalización del parámetro de evaluación.....	128
Tabla 69	Matriz de relación de consistencia del parámetro de evaluación	129
Tabla 70	Resultados del parámetro de evaluación.....	129
Tabla 71	Factores asociados a la evaluación de susceptibilidad	129
Tabla 72	Matriz de comparación de pares de los parámetros condicionantes.....	130
Tabla 73	Matriz de normalización de los parámetros condicionantes.....	130
Tabla 74	Matriz de relación de consistencia de pares de los parámetros condicionantes	130
Tabla 75	Resultados de los parámetros condicionantes.....	130
Tabla 76	Rangos del factor pendiente del terreno	131
Tabla 77	Matriz de Comparación de pares del parámetro pendiente	131
Tabla 78	Matriz de Normalización de pares del parámetro pendiente	132
Tabla 79	Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro pendiente.....	132
Tabla 80	Resultados del parámetro pendiente	132
Tabla 81	Rangos del parámetro geología	133
Tabla 82	Matriz de Comparación de pares del parámetro geología	133
Tabla 83	Matriz de Normalización de pares del parámetro geología.....	133
Tabla 84	Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro geología	134
Tabla 85	Resultados del parámetro geología.....	134
Tabla 86	Rangos del parámetro geomorfología.....	134
Tabla 87	Matriz de Comparación de pares del parámetro geomorfología	135
Tabla 88	Matriz de Normalización de pares del parámetro geomorfología	135

Tabla 89 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro geomorfología	135
Tabla 90 Resultados del parámetro geomorfología	136
Tabla 91 Rangos del parámetro precipitación	136
Tabla 92 Matriz de Comparación de pares del parámetro precipitación	136
Tabla 93 Matriz de Normalización de pares del parámetro precipitación	137
Tabla 94 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro precipitación	137
Tabla 95 Resultados del parámetro precipitación.....	137
Tabla 96 Niveles de peligro del sector San Carlos	138
Tabla 97 Matriz de peligro.....	138
Tabla 98 Parámetros a utilizar en los factores de la dimensión social	140
Tabla 99 Matriz de Comparación de pares del parámetro dimensión social	140
Tabla 100 Matriz de normalización de pares del parámetro dimensión social.....	141
Tabla 101 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro dimensión social.....	141
Tabla 102 Resultados del parámetro dimensión social.....	141
Tabla 103 Parámetros utilizados en el factor exposición de la dimensión social.....	141
Tabla 104 Matriz de Comparación de pares del parámetro número de personas a nivel lote	142
Tabla 105 Matriz de Normalización de pares del parámetro número de personas a nivel lote	142
Tabla 106 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro número de personas a nivel lote	143
Tabla 107 Resultados del parámetro número de personas a nivel lote.....	143
Tabla 108 Matriz de Comparación de pares del factor fragilidad social.....	143
Tabla 109 Matriz de Normalización de pares del factor fragilidad social.....	144
Tabla 110 Matriz de Relación de Consistencia de pares del factor fragilidad social	144
Tabla 111 Resultados del factor fragilidad social.....	144
Tabla 112 Matriz de Comparación de pares del parámetro servicios higiénicos	145
Tabla 113 Matriz de Normalización de pares del parámetro servicios higiénicos	145
Tabla 114 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro servicios higiénicos	146

Tabla 115 Resultados del parámetro servicios higiénicos.....	146
Tabla 116 Matriz de Comparación de pares del parámetro abastecimiento de agua.....	147
Tabla 117 Matriz de Normalización de pares del parámetro número de personas a nivel lote	147
Tabla 118 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro número de personas a nivel lote	148
Tabla 119 Resultados del parámetro abastecimiento de agua	148
Tabla 120 Matriz de Comparación de pares del parámetro tipo de alumbrado.....	148
Tabla 121 Matriz de Normalización de pares del parámetro tipo de alumbrado.....	149
Tabla 122 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro tipo de alumbrado	149
Tabla 123 Resultados del parámetro tipo de alumbrado.....	150
Tabla 124 Matriz de Comparación de pares del factor Resiliencia social.....	150
Tabla 125 Matriz de Normalización de pares del factor Resiliencia social.....	151
Tabla 126 Matriz de Relación de Consistencia de pares del factor Resiliencia social.....	151
Tabla 127 Resultados del factor Resiliencia social	152
Tabla 128 Matriz de Comparación de pares del parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	153
Tabla 129 Matriz de Normalización de pares del parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	154
Tabla 130 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	155
Tabla 131 Resultados del parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres.....	155
Tabla 132 Matriz de Comparación de pares del parámetro capacitación en temas de riesgos de desastre natural.....	156
Tabla 133 Matriz de Normalización de pares del parámetro capacitación en temas de riesgos de desastre natural.....	157
Tabla 134 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro capacitación en temas de riesgos de desastre natural.....	158
Tabla 135 Resultados del parámetro capacitación en temas de riesgo de desastre natural.....	159

Tabla 136 Matriz de Comparación de pares del parámetro actitud frente al riesgo natural	160
Tabla 137 Matriz de Normalización de pares del parámetro actitud frente al riesgo natural	161
Tabla 138 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro actitud frente al riesgo natural.....	162
Tabla 139 Resultados del parámetro actitud frente al riesgo natural.....	163
Tabla 140 Parámetros a utilizar en los factores de la dimensión económica	163
Tabla 141 Matriz de Comparación de pares del parámetro dimensión económica.....	163
Tabla 142 Matriz de Normalización de pares del parámetro dimensión económica.....	164
Tabla 143 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro dimensión económica.....	164
Tabla 144 Resultados del parámetro dimensión económica.....	164
Tabla 145 Parámetros utilizados en el factor exposición de la dimensión económica.....	164
Tabla 146 Matriz de Comparación de pares del parámetro cercanía a la zona afectada.....	165
Tabla 147 Matriz de Normalización de pares del parámetro cercanía a la zona afectada.....	165
Tabla 148 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro cercanía a la zona afectada	166
Tabla 149 Resultados del parámetro cercanía a la zona afectada.....	166
Tabla 150 Matriz de Comparación de pares del factor fragilidad económica.....	166
Tabla 151 Matriz de Normalización de pares del factor fragilidad económica.....	167
Tabla 152 Matriz de Relación de Consistencia de pares del factor fragilidad económica.....	167
Tabla 153 Resultados del factor fragilidad económica.....	167
Tabla 154 Matriz de Comparación de pares del parámetro material predominante en paredes.....	168
Tabla 155 Matriz de Normalización de pares del parámetro material predominante en paredes	168

Tabla 156 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro material predominante en paredes.....	169
Tabla 157 Resultados del parámetro material predominante en paredes.....	169
Tabla 158 Matriz de Comparación de pares del parámetro material predominante en techos.....	169
Tabla 159 Matriz de Normalización de pares del parámetro material predominante en techos.....	170
Tabla 160 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro material predominante en techos.....	170
Tabla 161 Resultados del parámetro material predominante en techos.....	170
Tabla 162 Matriz de Comparación de pares del parámetro estado de conservación.....	171
Tabla 163 Matriz de Normalización de pares del parámetro estado de conservación.....	171
Tabla 164 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro estado de conservación.....	172
Tabla 165 Resultados del parámetro estado de conservación.....	172
Tabla 166 Matriz de Comparación de pares del factor Resiliencia Económica.....	172
Tabla 167 Matriz de Normalización de pares del factor Resiliencia Económica.....	173
Tabla 168 Matriz de Relación de Consistencia de pares del factor Resiliencia Económica.....	173
Tabla 169 Resultados del factor Resiliencia Económica.....	173
Tabla 170 Matriz de Comparación de pares del parámetro ingreso promedio familiar.....	174
Tabla 171 Matriz de Normalización de pares del parámetro ingreso promedio familiar.....	174
Tabla 172 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro ingreso promedio familiar.....	175
Tabla 173 Resultados del parámetro ingreso promedio familiar.....	175
Tabla 174 Matriz de Comparación de pares del parámetro actividad laboral.....	175
Tabla 175 Matriz de Normalización de pares del parámetro actividad laboral.....	176
Tabla 176 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro actividad laboral.....	177

Tabla 177 Resultados del parámetro actividad laboral.....	177
Tabla 178 Matriz de Comparación de pares del parámetro ocupación del jefe de hogar	178
Tabla 179 Matriz de Normalización de pares del parámetro ocupación del jefe de hogar	179
Tabla 180 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro ocupación del jefe de hogar	180
Tabla 181 Resultados del parámetro ocupación del jefe de hogar	180
Tabla 182 Parámetros a utilizar en los factores de la dimensión ambiental	181
Tabla 183 Matriz de Comparación de pares del parámetro dimensión ambiental.....	181
Tabla 184 Matriz de Normalización de pares del parámetro dimensión ambiental	181
Tabla 185 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro dimensión ambiental	182
Tabla 186 Resultados del parámetro dimensión ambiental	182
Tabla 187 Parámetros utilizados en el factor exposición de la dimensión ambiental	182
Tabla 188 Matriz de Comparación de pares del parámetro ubicación del botadero de basura.....	183
Tabla 189 Matriz de Normalización de pares del parámetro ubicación del botadero de basura.....	183
Tabla 190 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro ubicación del botadero de basura	184
Tabla 191 Resultados del parámetro ubicación del botadero de basura.....	184
Tabla 192 Parámetros utilizados en el factor fragilidad de la dimensión ambiental	184
Tabla 193 Matriz de Comparación de pares del parámetro manejo de residuos sólidos	185
Tabla 194 Matriz de Normalización de pares del parámetro manejo de residuos sólidos	186
Tabla 195 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro manejo de residuos sólidos	187
Tabla 196 Resultados del parámetro manejo de residuos sólidos	188
Tabla 197 Parámetros utilizados en el factor Resiliencia de la dimensión ambiental	188

Tabla 198 Matriz de Comparación de pares del parámetro conocimiento del reciclaje.....	189
Tabla 199 Matriz de Normalización de pares del parámetro conocimiento del reciclaje	190
Tabla 200 Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro conocimiento del reciclaje.....	191
Tabla 201 Resultados del parámetro conocimiento del reciclaje	191
Tabla 202 Niveles de vulnerabilidad del sector San Carlos	201
Tabla 203 Matriz de vulnerabilidad.....	202
Tabla 204 Niveles de riesgo del sector San Carlos.....	204
Tabla 205 Costos probables en daños estructurales.....	206
Tabla 206 Valoración de consecuencias por flujo de detritos	212
Tabla 207 Valoración de frecuencia del flujo de detritos.....	213
Tabla 208 Valoración de consecuencias por flujo de detritos	214

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zona inundable referencial de la quebrada San Carlos	3
Figura 2 Población de San Carlos.....	5
Figura 3 Mapa de amenaza de flujo de detritos de la cuenca del estero San Alfonso.	9
Figura 4 Mapa de susceptibilidad de ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Carrizalillo según metodología propuesta.	10
Figura 5 Catastro de flujo de detritos en la región de Coquimbo.....	11
Figura 6 Altura máximas en quebrada Quirio.	12
Figura 7 Mapa de amenaza por el flujo de detritos en la quebrada de Tantará.	13
Figura 8 Flujo de detritos en quebrada Hatun Huayco.	14
Figura 9 División de una cuenca hidrográfica.....	15
Figura 10 Ciclo hidrológico del agua	16
Figura 11 Disciplinas de desarrollo de la geomática	17
Figura 12 Esquema de un flujo de detritos en una quebrada.....	18
Figura 13 Corte esquemático típico de un flujo de detritos.....	19
Figura 14 Relaciones entre los factores condicionantes del flujo de detritos.....	20
Figura 15 Relación entre el esfuerzo normal (N) y esfuerzo cortante (S).....	23
Figura 16 Clasificación de peligros	30
Figura 17 Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales.....	31
Figura 18 Parámetros para la identificación y clasificación del peligro.....	32
Figura 19 Población vulnerable en el AA.HH. San Carlos	36
Figura 20 Distribución de la población en términos de vulnerabilidad.....	36
Figura 21 Exposición social.....	37
Figura 22 Exposición económica.....	37
Figura 23 Exposición ambiental	38
Figura 24 Modelo de cuadro doble entrada para identificación de riesgos	39
Figura 25 Descarga del DEM mediante ASF Data Search Vertex	46
Figura 26 Imagen ALOSPALSAR descargada	46
Figura 27 Delimitación hidrográfica del sector San Carlos Alto.....	47
Figura 28 Topografía del sector San Carlos Alto	48
Figura 29 Ráster de pendientes en porcentaje del sector San Carlos Alto	49
Figura 30 Geología regional según INGEMMET	50

Figura 31 Geología local de sector San Carlos Alto.....	52
Figura 32 Geomorfología local del sector San Carlos Alto.....	53
Figura 33 Identificación de información mediante la plataforma SIGRID	55
Figura 34 Reunión con los dirigentes vecinales de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto	56
Figura 35 Vista general de la quebrada	56
Figura 36 Lotes vulnerables del sector San Carlos Alto.....	57
Figura 37 Ubicación de la calicata C-01.....	58
Figura 38 Toma de muestra de la calicata C – 01.....	58
Figura 39 Interior de la calicata C – 01	59
Figura 40 Indicios de flujos de detritos cercanas a la calicata C-01	60
Figura 41 Restos de excavación del badén como medida de mitigación propia	60
Figura 42 Ubicación de la calicata C – 02.....	61
Figura 43 Entorno de muestra de la calicata C – 02	61
Figura 44 Toma de muestra de la calicata C – 02.....	62
Figura 45 Huella de detritos y viviendas destruidas en alrededores de la calicata C – 02.....	62
Figura 46 Línea de quebrada seca desde la parte media del sector San Carlos.....	63
Figura 47 Huella de detritos y bolonería cercana a la calicata C-02.	63
Figura 48 Ubicación de la calicata C – 03	64
Figura 49 Subida a la parte alta del sector.....	65
Figura 50 Toma de muestra de la calicata C – 03.....	65
Figura 51 Roca meteorizada	66
Figura 52 Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes.....	71
Figura 53 Perfil Longitudinal de San Carlos.	75
Figura 54 Hidrograma histórico. Precipitación Max. 24h	79
Figura 55 Hidrograma histórico.....	80
Figura 56 Red de estaciones utilizadas a escala nacional para la elaboración de PISCOp con porcentajes de datos por estación considerando el período 1981-2016.....	81
Figura 57 Ingreso del KML del área de estudio al sistema ANDREA.....	82
Figura 58 Resultados de precipitación mensual con el producto PISCOp	82
Figura 59 Gráfico comparativo entre distribuciones seleccionadas	88

Figura 60 Funciones de densidad probabilística comparativas entre las distribuciones seleccionadas	89
Figura 61 Precipitaciones máximas para diferentes Tr, estación Cañete.	91
Figura 62 Curva intensidad - duración - frecuencia, estación Cañete.	94
Figura 63 Curva IDF, estación Cañete.....	97
Figura 64 Valores de los parámetros a, b y c en función de R	98
Figura 65 Curva IDF, estación Cañete.....	101
Figura 66 Variación de caudales según modelo usado el método racional, estación Cañete.	104
Figura 67 Ubicación de calicatas en el sector San Carlos	105
Figura 68 Esquema referencial del flujo de detritos del sector San Carlos	117
Figura 69 Caudales máximos.....	119
Figura 70 Visualización de la escena del 06/02/2018 PeruSat-1.....	121
Figura 71 Visualización de la escena del 30/03/2018 PeruSat-1.....	121
Figura 72 Medición de puntos de amarre (Tie points) entre ambas escenas.	122
Figura 73 Error medio cuadrático del ajuste fotogramétrico.....	122
Figura 74 Generación del modelo digital de superficie.....	123
Figura 75 Modelo digital de superficie corregido.	123
Figura 76 Visualización del modelo y edición de sectores defectuosos.....	124
Figura 77 Orto imagen multiespectral del sector San Carlos.	124
Figura 78 Visualización del sector San Carlos en ArcScene 10.5.....	125
Figura 79 Modelo con parámetros de entrada en RAMMS.....	125
Figura 80 Calados máximos de la simulación.	126
Figura 81 Velocidades máximas de la simulación.....	126
Figura 82 Visualización de la simulación en 3D con ArcScene 10.5.....	127
Figura 83 Mapa de peligro del sector San Carlos.....	139
Figura 84 Encuesta de cantidad de personas por lote.	192
Figura 85 Encuesta de servicios higiénicos.	193
Figura 86 Encuesta de abastecimiento de agua.	193
Figura 87 Encuesta de tipo de alumbrado.....	194
Figura 88 Encuesta sobre conocimiento local sobre la ocurrencia pasada de desastres.....	194
Figura 89 Encuesta de capacitación en temas de prevención de riesgo de desastre natural.	195

Figura 90 Encuesta de actitud frente al riesgo natural.....	195
Figura 91 Encuesta sobre la cercanía a la zona afectada.	196
Figura 92 Encuesta sobre material predominante en las paredes.	196
Figura 93 Encuesta sobre estado de conservación.....	197
Figura 94 Encuesta sobre material predominante en los techos.	197
Figura 95 Encuesta sobre ingreso promedio familiar.	198
Figura 96 Encuesta sobre ocupación del jefe de hogar.....	198
Figura 97 Encuesta sobre actividad laboral.	199
Figura 98 Encuesta sobre ubicación del botadero de basura.	199
Figura 99 Encuesta sobre recojo de residuos sólidos.	200
Figura 100 Encuesta sobre conocimiento sobre el reciclaje.....	200
Figura 101 Lotes vulnerables del sector San Carlos Alto.....	203
Figura 102 Cuadro doble entrada para la valoración del riesgo	204
Figura 103 Nivel de riesgo en lotes	205
Figura 104 Primera ubicación de la medida de prevención.....	207
Figura 105 Segunda ubicación de la medida de prevención.....	207
Figura 106 Visualización 3D de la solución a implementar en ArcScene.....	208
Figura 107 Barrera dinámica contra el flujo de detritos Geobrugg tipo UX060L-H4.	209
Figura 108 Barreras multinivel UX en la región de Hasliberg en los Alpes berneses.....	209
Figura 109 Componentes de una barrera flexible VX instalada en Illgraben en 2005.....	210
Figura 110 Cuadro doble entrada para la valoración de consecuencias y daño	214

RESUMEN

La presente investigación tiene como objeto principal evitar los problemas de pérdidas tanto en el ámbito social, económico y ambiental en la población de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto en épocas de avenidas y en casos excepcionales como el fenómeno del niño, como resultado de las inundaciones y huaycos, todo esto mediante un análisis de susceptibilidad adecuado para la zona en estudio. La investigación fue de tipo cuantitativo, teniendo como raíz a los problemas de pérdidas tanto en el ámbito social, económico y ambiental observado en los primeros meses del año por el fenómeno El Niño, el cual es común que genere precipitaciones extremas, trayendo como consecuencia inundaciones, desbordes y flujos de detritos. Este fue en el caso de San Carlos en enero del año 2015, sufriendo grandes estragos por ser la primera vez en los 40 años de existencia del sector que experimentaba este tipo de fenómeno, lo cual se simuló mediante el software suizo RAMMS Debris flow bajo los resultados obtenidos para un tiempo de retorno de 50 años debido a la baja probabilidad de ocurrencia del evento, usando como datos los resultados de los estudios geotécnicos propios realizados en puntos clave de la zona (como la huella de flujos de detritos de eventos anteriores), estudio hidrológico (con datos proporcionados por el SENAMHI) e imágenes pancromáticas y multiespectrales del satélite peruano PeruSat -1, el cual permitió la generación de la topografía mediante el procesamiento de 3 imágenes con distintos ángulos de toma brindadas por la CONIDA, dichos productos también sirvieron para la identificación y posterior mapeo geológico – geomorfológico de la zona, siendo contrastado y verificado con las visitas, también con el levantamiento de información mediante las plataforma SIGRID, GEOCATMIN, ASF DATA VERTEX, etc. Además, se calcularon los niveles de riesgo mediante la metodología Saaty, propuesta por el CENEPRED y la ley N°22664, realizando encuestas a los pobladores de la zona para conocer las condiciones actuales y su conocimiento acerca del riesgo al que están expuestos, del cual se obtiene que la asociación de vivienda popular San Carlos Alto tiene un total de 27 lotes en un riesgo medio y 79 bajo riesgo alto. Con el resultado de la simulación en RAMMS y la evaluación de riesgos (data demográfica) se pudieron proponer soluciones adecuadas para la zona de estudio, tanto medidas estructurales y no estructurales.

Palabras clave: Flujos, peligro, vulnerabilidad, riesgo, modelamiento.

ABSTRACT

The main objective of this research is to avoid the problems of social, economic and environmental losses in the population of the Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto in times of floods and in exceptional cases such as the phenomenon of El Niño, as a result of floods and landslides, all this through an analysis of susceptibility suitable for the area under study. The research was quantitative, having as an origin the problem of losses in the social, economic, and environmental areas in the first months of the year caused by the El Niño phenomenon which brings extreme rainfall that result in floods, overflows and debris flows. This was precisely the case of San Carlos in January 2015, which suffered catastrophic damage since it had been the first time in 40 years that the area had this type of phenomenon, simulated using the Swiss software RAMMS Debris flow, under the results obtained for a return time of 50 years due to the low probability of occurrence of the event, and using as data the results of our own geotechnical studies conducted at key points in the area (such as the footprint of debris flows from previous events), hydrological study (with data provided by SENAMHI) and panchromatic and multispectral images from the Peruvian satellite PeruSat-1, which allowed the generation of topography through the processing of 3 images with different shooting angles provided by CONIDA. These products also served for the identification and subsequent geological-geomorphological mapping of the area, contrasted and verified with the visits and the information gathered through the SIGRID, GEOCATMIN, ASF DATE VERTEX, and other similar platforms.

In addition, the risk levels were calculated using the Saaty methodology, proposed by CENEPRED and Law No. 22664, conducting surveys of the inhabitants of the area to find out the current conditions and their knowledge of the risk to which they are exposed, from which it is obtained the information that the San Carlos Alto popular housing association has a total of 27 lots at medium risk and 79 at high risk. With the results of the RAMMS simulations and the risk assessment (demographic data), it is possible to present adequate solutions for the study area, both structural and non-structural measures to save the lives and properties of the inhabitants, enabling their formal registration and access to the basic services for which they long.

Keywords: Flow, hazard, vulnerability, risk, modeling.

INTRODUCCIÓN

Los flujos de detritos o huaycos son movimientos en masa originados por una precipitación fuera de los umbrales comunes, saturando los suelos ocasionando inestabilidad y una escorrentía de lodos, arrastrando así a todo material encontrado en su recorrido incluyendo material gravoso, bolonería y cualquier otro resto sólido (como desmontes, basura, entre otros) convirtiéndose en uno de los fenómenos naturales con mayor capacidad de destrucción hacia las poblaciones encontradas dentro de su área de influencia. Estos fenómenos al ser comunes en nuestro país y en algunos casos de alta recurrencia, no es posible poder mitigarlos de manera que exista un 0% de riesgo a la población. Sin embargo, existen medidas de mitigación (tanto estructurales como no estructurales) las cuales pueden reducir en gran medida las afectaciones que estos producirían. La evaluación de riesgos cumple un rol fundamental en la propuesta de las medidas mencionadas, pues permite tener un acercamiento más profundo a la realidad de la población expuesta y el entorno en el cual se desarrolla el fenómeno. Es por ello que la finalidad de la investigación es el análisis de la susceptibilidad de la asociación de vivienda popular San Carlos Alto bajo los estragos del fenómeno de flujo de detritos, usando las metodologías y pautas dadas por las entidades rectoras en estos temas. La investigación se dividió en 5 capítulos de la siguiente manera:

En el capítulo I se detalla la realidad problemática existente, así como la justificación y limitaciones encontradas a lo largo del estudio.

En el capítulo II se exponen las bases teóricas con las cuales se fundamenta la investigación, tales como los antecedentes, conceptos y definición de terminologías.

En el capítulo III se presentan los aspectos metodológicos, hipótesis de la investigación y la correlación de las variables seleccionadas.

En el capítulo IV se mencionan la instrumentación y procedimientos de recolección de data y análisis a realizar.

En el capítulo V se desarrollan los objetivos y explican detalladamente el desarrollo de la investigación. En el capítulo VI se realiza la presentación de resultados y contrastación de hipótesis planteadas

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En el Perú, existen muchas poblaciones costeras asentadas en las márgenes de los ríos y quebradas, las cuales se encuentran expuestas a uno de los fenómenos naturales más frecuentes, los huaycos. Los flujos de detritos (conocidos comúnmente en el país como huaycos) son uno de los procesos de traslado en masa más destructivos del mundo, se generan en zonas montañosas para luego depositarse en abanicos o llanuras aluviales ocupadas generalmente por asentamientos humanos (Sepúlveda, Patiño y Rodríguez, 2016). Algunos de estos asentamientos no tienen conocimiento del comportamiento hidrológico y/o de la geodinámica de estas quebradas.

Ésta es la situación de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto, la cual posee una quebrada ubicada en el medio del área de la población. Encontrándose en un constante periodo de estiaje (seca), por lo que los pobladores se han asentado en sus márgenes, ignorando el grave peligro en el que se encuentran ante una inminente activación hidrológica por un evento extremo, como es el caso del evento ocurrido en el mes de enero del año 2015 (véase Tabla 1), el cual dejó 115 personas afectadas y 7 viviendas destruidas en el distrito de San Vicente de Cañete. (COEN, 2015)

Tabla 1

Daños por huayco

Tipo de daño	Localidad San Carlos	Localidad Ramadilla
Personas damnificadas	60	15
Personas afectadas	135	-
Heridos	1	-
Viviendas destruidas	12	3
Viviendas afectadas	27	-
Camino rural afectado (km)	1	-
Áreas de cultivo afectadas (Ha)	-	10
Animales perdidos	3059	-

Nota.: Adaptado de COEN (2015)

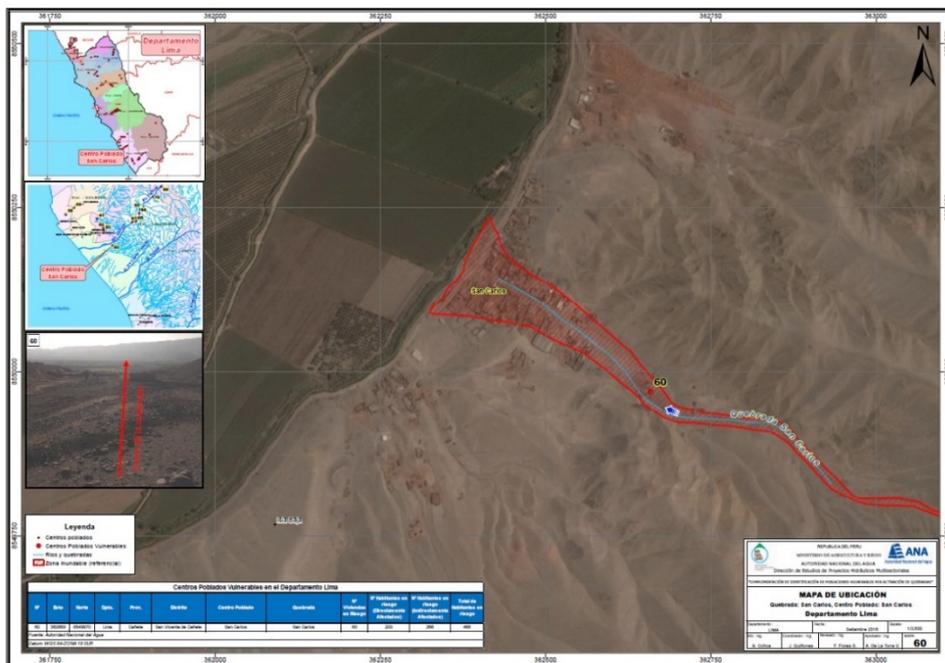
Un ejemplo de inundación cercana a la zona de estudio fue en caso del distrito turístico de Lunahuaná, el cual ante la inminente crecida del río Cañete, fue captado en cámaras (Canal N) el colapso de uno de sus principales atractivos turísticos, como lo es el puente Catapalla, quedando inservible luego de 100 años de su construcción y 50 de su último

reforzamiento, mostrando en evidencia los estragos que puede llegar a causar la mala gestión de eventos extremos y cambio climático.

El Ministerio de Agricultura (MINAGRI) y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) realizaron un informe llamado “Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2015 – 2016”, el cual tuvo como objetivo el mapeo de zonas aledañas pobladas a quebradas propensas a activarse ante precipitaciones extremas (véase Figura 1). Dentro de ese informe se incluyó a la quebrada San Carlos y su localidad como zona vulnerable, llamando así la atención de autoridades locales y provinciales para la elaboración de planes de contingencia con el objetivo de salvaguardar a los pobladores de la zona de estudio.

Figura 1

Zona inundable referencial de la quebrada San Carlos



Nota. MINAGRI – ANA (2015)

El poco conocimiento acerca de la quebrada San Carlos hace a las acciones municipales casi irrelevantes ante un evento extremo de gran magnitud, poniendo en un peligro muy alto a los pobladores que habitan el sector hidrológico.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema principal

¿Cuál es el nivel de amenaza que sufren los pobladores de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos causado por el flujo de detritos?

1.2.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las formaciones geológicas y geotécnicas encontradas en el sector San Carlos?
- b) ¿Cuáles serán los caudales en distintos tiempos de retorno en el sector San Carlos?
- c) ¿Cuál será el comportamiento ante flujo de detritos en el sector San Carlos?
- d) ¿Cuáles serán los mapas de susceptibilidad ante flujo de detritos utilizando la metodología Saaty para la zona poblada del sector San Carlos?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo principal

Analizar la susceptibilidad por flujo de detritos en la zona de descarga de la quebrada San Carlos – Cañete – Lima – Perú.

1.3.2 Objetivos secundarios

- a) Realizar una identificación, mapeo geológico y estudio de mecánica de suelos para el sector San Carlos.
- b) Realizar el estudio hidrológico y con ello calcular los caudales en distintos tiempos de retorno en el sector San Carlos.
- c) Ejecutar el modelamiento numérico y posterior simulación de flujo de detritos para analizar su comportamiento.
- d) Producir los mapas de riesgos usando la metodología Saaty propuesta por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).

1.4 Justificación del estudio

1.4.1 Conveniencia

En la actualidad, es necesario identificar las zonas vulnerables ante eventos naturales, como lo son el flujo de detritos. La presente investigación tiene como un objetivo el análisis hidrológico de la zona, con el fin de conocer su comportamiento ante un evento extremo considerando los flujos de detritos para así establecer planes de mitigación de desastres por parte de las autoridades, minimizando al máximo los daños a

los pobladores de la zona, además de establecer nuevas políticas ante el crecimiento demográfico, identificando las zonas menos vulnerables para la comunidad.

1.4.2 Relevancia social

En primera instancia, los beneficiarios directos son los pobladores de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto (aproximadamente 200 personas), pues al identificar las zonas más vulnerables por eventos extremos, podrán conocer la situación en la que se encuentran ante la activación de la quebrada, por tanto, las autoridades correspondientes podrán adoptar medidas de prevención y/o mitigación de riesgos, salvaguardando en todo momento el bienestar de los pobladores en peligro.

1.4.3 Aplicaciones prácticas

El desarrollo de la presente investigación soluciona el problema de incertidumbre de la población (véase Figura 2) sobre la activación y comportamiento de la quebrada en estudio, además de realizar un análisis multicriterio de evaluación de riesgos para identificar zonas críticas y alertar a las autoridades para tomar las medidas preventivas correspondientes.

Figura 2

Población de San Carlos



Nota. Elaboración propia.

1.4.4 Utilidad metodológica

Para concretar los objetivos de la investigación, se usaron técnicas y/o criterios propuestos por entidades estatales reguladoras, asimismo estudios técnicos del lugar, priorizando la calidad y precisión de los resultados para poder lograr obtener un modelamiento computacional en software muy acertado en cuanto a las características propias del flujo de detritos de San Carlos. Los modelamientos en software son amplia y recientemente usados para simular un fenómeno dentro de un área específica, facilitando así la toma de decisiones y medidas para su mitigación, con este producto, se podrán elaborar mapas finales rigurosos sobre la situación del área de estudio ante el flujo de detritos. Teniendo desarrollados los objetivos específicos, se puede tener un conocimiento muy aproximado a la realidad sobre la geodinámica externa de la quebrada San Carlos, lo cual es totalmente incomprendido por la población y sus autoridades ante la falta de estudios en la zona.

1.5 Importancia del estudio

La importancia de esta investigación se basa en la identificación de las zonas vulnerables ante el flujo de detritos, lo cual al generarse impactaría negativamente en los pobladores, a tal punto de poner su vida en riesgo. Los resultados de esta investigación servirán como punto de partida para una gama de proyectos y/o planes para mitigar este tipo de eventos naturales, los cuales ocurrirán en algún momento.

Además, dentro del procesamiento de datos e información obtenida, se usan distintas aplicaciones de la ingeniería civil, como lo son la topografía, geotecnia, geología, hidrología y geomática, para obtener un resultado final de calidad integrando todas estas ramas ingenieriles mencionadas.

1.6 Limitaciones del estudio

La principal limitación de la investigación es el acceso al lugar de estudio, encontrándose alejada del centro del distrito de San Vicente de Cañete y al no tener una trocha debidamente adecuada para el tránsito de vehículos, es necesario ingresar con camionetas todo terreno.

La data pluviométrica brindada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) para la estación Cañete (más cercana a la zona), sólo dispone datos hasta diciembre del 2010, lo cual imposibilita analizar a detalle el evento ocurrido el día 18 de enero del 2015.

El nulo apoyo por parte de las autoridades regionales (Municipalidad Provincial de Cañete) dificulta la obtención de información histórica de la zona.

1.7 Delimitación

1.7.1. Geográfica

- a) Por el Norte: Áreas de cultivo.
- b) Por el Sur: Lomas de cerro.
- c) Por el Este: Lomas de cerro.
- d) Por el Oeste: Lomas de cerro y áreas de cultivo.

1.7.2 Temporal

Los datos obtenidos para el desarrollo de esta investigación se disgregan de la siguiente manera:

La data pluviométrica fue obtenida en el rango de años de 1985 al 2010, debido a que no se encuentra más información en la base de datos del SENAMHI

La data geotécnica corresponde a los datos de ensayos de mecánica de suelos elaborado por la empresa contratada TECNOLABPERÚ donde se analizaron las muestras extraídas mediante calicatas en las visitas a campo realizadas entre mayo y junio del 2022.

La data demográfica viene dada por la toma de encuestas a la población de San Carlos, según los parámetros requeridos para el desarrollo de la investigación, dichas encuestas fueron tomadas entre los meses de mayo a junio del 2022.

La data satelital está comprendida entre los años 2021 al 2022, según la toma de imágenes del satélite PeruSat-1.

1.7.3 Temática

El tema de estudio de este trabajo de investigación corresponde a la línea de ingeniería hidráulica, pues se realizaron estimaciones hidrológicas y modelamientos numéricos bajo conceptos de la rama, específicamente en los flujos de detritos.

1.8 Viabilidad del estudio

Esta investigación es viable debido a:

- a) Se obtienen parámetros propios de la zona (como geología y geotecnia).
- b) Se emplea el software adecuado y todo el trabajo se realiza en base a procedimientos dictador por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).
- c) Los datos base son brindados por entidades formales como el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

El flujo de detritos o también conocido como huaico en el Perú es un fenómeno que ha causado numerosos impactos sociales y económicos en nuestro país, según INGEMMET (2015) solo en Chosica y según registros se tienen activaciones de las quebradas de Quirio, San Antonio en 1909 y 1925, estas mismas quebradas se activaron nuevamente en 1970 y 1976, en 1983 se presentó la activación de la quebrada de Cashahuacra y en 1987 se dieron cinco huaycos en la zona de Chosica, en este evento se registraron la pérdida de vida de 120 personas y 1200 viviendas afectadas, en el 2012 se volvió a registrar otro huayco en la misma zona registrando 1813 damnificados. En el caso de nuestra zona de estudio que se encuentra ubicada en el departamento de Lima, muy próximo a Ica, el CENEPRED (s.f.) nos indica que este es vulnerable a distintos desastres naturales y antrópicos, con una predominancia de desastres con origen hidrometeorológico es decir desbordamientos y deslizamientos de tierra, solo en el siglo XX se tiene un registro de cinco inundaciones todos con registros de huaycos previos a la inundación.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

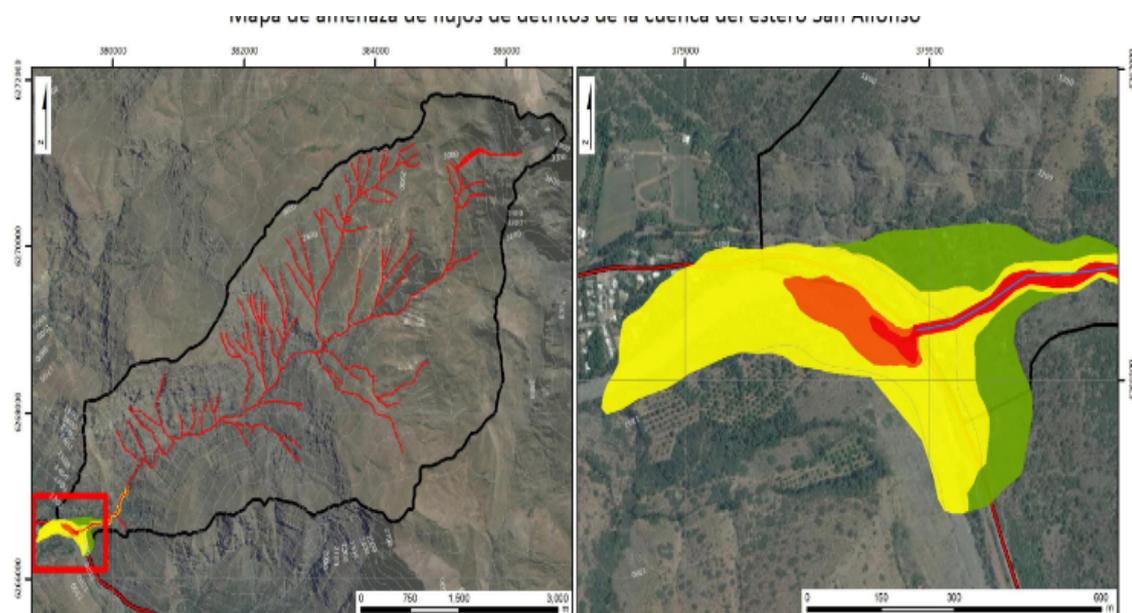
Muñoz A. (2018) en su tesis de grado plantea el desarrollo de una metodología que permita la evaluación de la amenaza de flujos de detritos con el uso de un análisis jerárquico de procesos (AHP) y con el uso del software RAMMS Debris flow, esta aplicación fue realizada en la cuenca del estero San Alfonso, en Chile. El autor describe una serie de pasos a realizar para los cuales son para la primera etapa la elaboración de una metodología capaz de evaluar la susceptibilidad de flujo de detritos en base al AHP, el cual tiene una base en comparaciones a pares utilizando la escala de Saaty, además en esta etapa el autor describe el área de estudio con finalidad de determinar los factores condicionantes; en la segunda etapa de trabajo se elaboró una metodología con capacidad de evaluación de amenaza frente a flujo de detritos, en esta etapa se incluyeron criterios de zonificación de grados de amenaza y flujos simulados por RAAMS Debris Flow; en la tercera etapa se aplicó la metodología elaborada en la primera etapa, se consideró el levantamiento de información geológica y geomorfológica apoyándose de sistemas de información geográfica; finalmente se aplicó la metodología elaborada en la segunda etapa. El autor concluye que se cumplen todos los objetivos propuestos, su metodología

es aplicable para cuencas de cualquier ambiente geológico y escala de trabajo, la descripción del área de estudio es fundamental para la aplicación de la metodología aplicada, el programa RAMMS Debris Flow es una herramienta útil para determinar las áreas de alcance de flujos (véase Figura 3).

La investigación de Muñoz es ampliamente aplicable para cualquier caso de flujo de detritos, sin embargo, se debe tener en cuenta al trabajar con la metodología del autor que cada caso del fenómeno tiene propiedades que las distinguen unas de otras, lo cual imposibilita parametrizarlas bajo un único concepto.

Figura 3

Mapa de amenaza de flujo de detritos de la cuenca del estero San Alfonso.



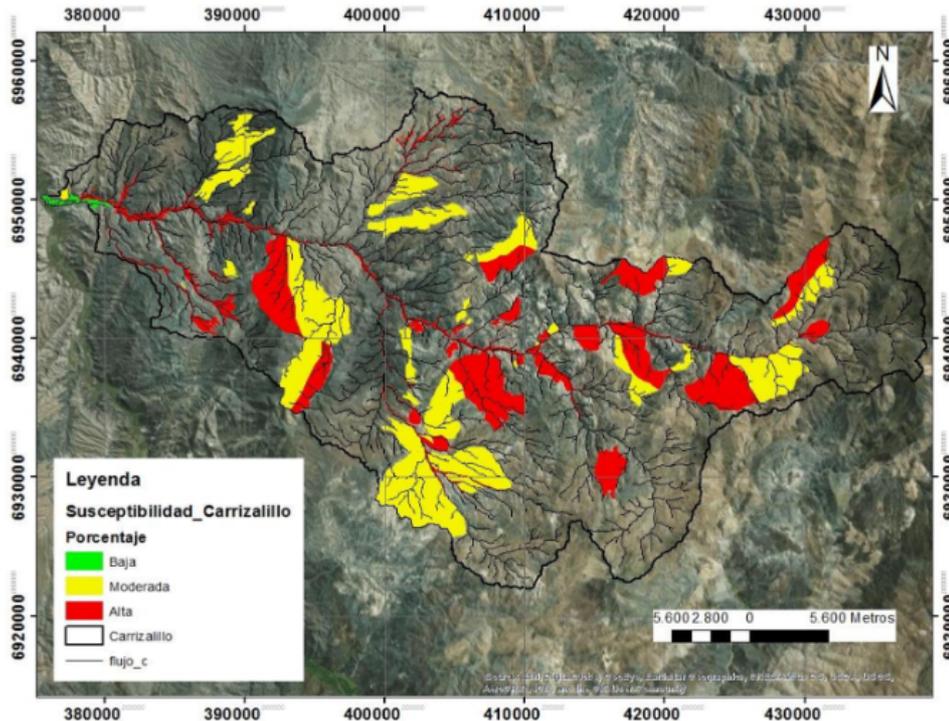
Nota. Muñoz (2018)

Bucarey N. (2018) afirma en su tesis de grado que su problemática se origina debido a intensas lluvias registradas en las regiones de Coquimbo, Atacama y Antofagasta (Chile) en el 2015, estas lluvias generaron flujos de detritos e inundaciones que afectaron diversas zonas urbanas con pérdidas de vidas humanas y económicas, es por esta razón que Bucarey realizó una evaluación de susceptibilidad de las quebradas que se activaron en las regiones mencionadas, para lograr su objetivo se identificó, describió y se realizaron análisis de factores geológicos, geomorfológicos y geotécnicos del área de estudio, caracterización de elementos geomorfológicos de las quebradas. La autora concluye con las descripciones del área de estudio, así como entregar una metodología apropiada para su zona de estudio y logro describir los peligros de dichas quebradas (véase Figura 4).

Si bien es cierto, el análisis de la susceptibilidad de las quebradas posibles a formar flujo de detritos es imprescindible para cualquier análisis y al haber ocurrido un fenómeno el cual dejó tantos estragos, se debió realizar un análisis demográfico a las áreas con mayores valores de susceptibilidad para evaluar las posibles pérdidas que ocasionarían un eventual flujo de detritos en las áreas identificadas por la autora.

Figura 4

Mapa de susceptibilidad de ocurrencia de flujo de detritos en la quebrada Carrizalillo según metodología propuesta.



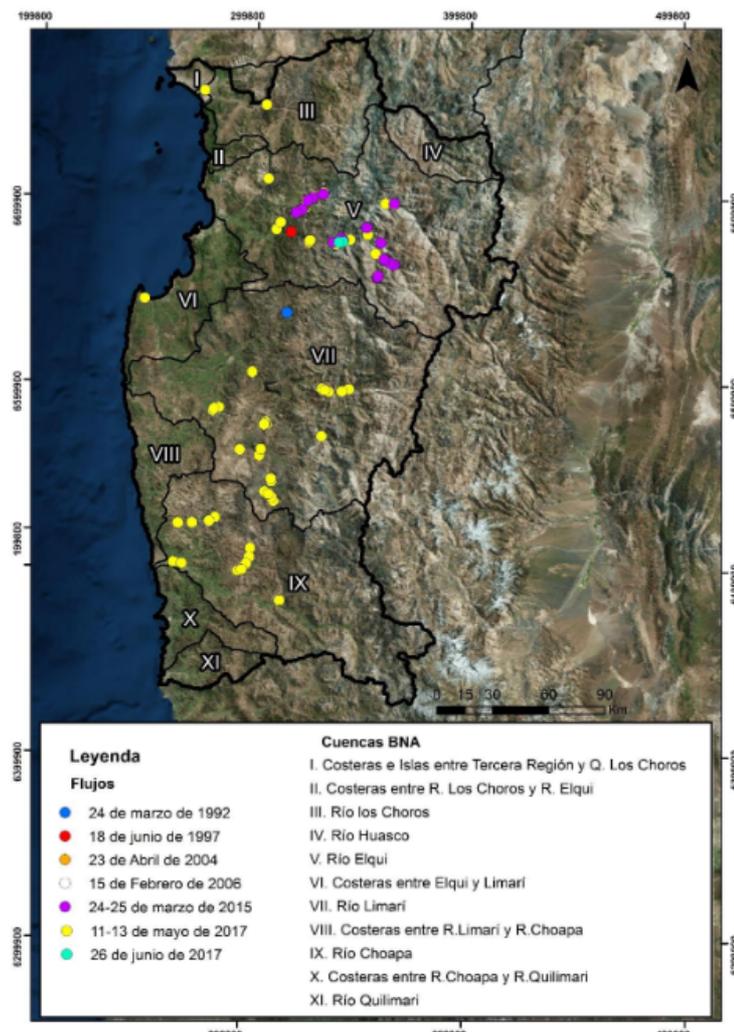
Nota. Bucarey (2018)

Mardones P. (2019) plantea en su tesis la existencia de la relación entre los flujos de detritos pertenecientes a la región de Coquimbo, para demostrar dicha correlación, realiza una construcción del catastro de remociones de masa (a partir de los datos modificados del SERNAGEOMIN) y un catastro de precipitaciones de la zona, para luego sintetizar ambos catastros en una base de datos. La regresión logística fue el método elegido por la autora para hallar la correspondencia a las variables en estudio. Luego de realizar los análisis respectivos, logró identificar la predominancia de flujos (detritos, barro, arena) sobre las demás remociones existentes, en la mayoría de los casos en las zonas cordilleranas con una particular concentración en el sector hidrológico del río Elqui para las distintas fechas de eventos. En cuanto a precipitaciones desencadenantes, se logró identificar que son intensas y en periodos de tiempo acotados de acuerdo a las fechas de

los eventos. Finalmente, y con la identificación de los tipos de precipitaciones asociados al flujo, estableció la relación correspondiente a las variables mencionadas, logrando analizar 224 casos con un porcentaje de predicción del 95.1%, siendo validados por los índices estadísticos y fundamentos geológicos.

La correlación entre fenómenos de una misma región puede ser muy provechosa en cuanto a la toma de decisiones uniformes dentro del área geográfica establecida. Sin embargo, en el caso del Perú, se debe tener en cuenta la diversidad de climas dentro de una región específica, ya que pueden existir gradientes de precipitaciones con valores muy altos, dificultando encontrar una relación adecuada con fenómenos cercanos (véase Figura 5).

Figura 5
Catastro de flujo de detritos en la región de Coquimbo.



Nota. Mardones (2019)

2.2.2. Investigaciones nacionales

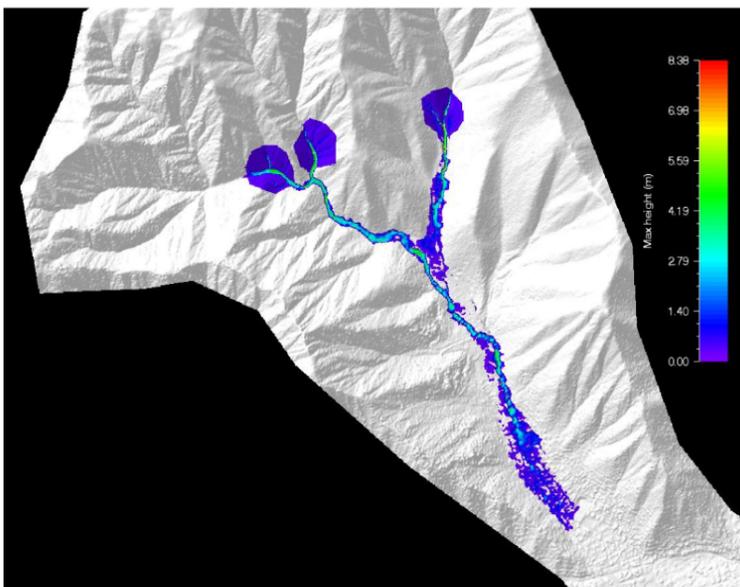
En la tesis de Santuyo R. y Zambrano C. (2019) se plantea como objetivo principal proponer alternativas para la mitigación de flujo de detritos en la quebrada Quirio-Chosica, para lograr este objetivo se plantearon realizar mapeos geológicos, estudios de mecánica de suelos, estudio hidrológico, una simulación de modelo numérico con el fin de analizar el comportamiento físico del flujo de detritos y por último elaborar su mapa de riesgo. Su investigación tiene una importante relevancia social debido a que la zona de estudio es de alto riesgo y en el año 2017 debido al fenómeno del niño se presentaron grandes pérdidas sociales y económicas en la zona.

Los autores concluyen que una alternativa de mitigación para este flujo de detritos es la colocación de cinco barreras geodinámicas que tendrán la capacidad de tener hasta 7568.81 m³ de material sólido, así mismo resaltan que esta conclusión fue posible debido a un uso correcto del software que en su caso fue el RAMMS (véase Figura 6), finalmente se determinó que la población está en zona de riesgo alto (91 manzanas) y muy alto (40 manzanas).

Los autores realizaron un análisis de susceptibilidad correcto según la normativa CENEPRED, sin embargo, es necesario considerar un análisis a nivel lote y con datos actualizados (es decir, mediante toma de encuestas) para así obtener la máxima precisión de los resultados.

Figura 6

Altura máximas en quebrada Quirio.



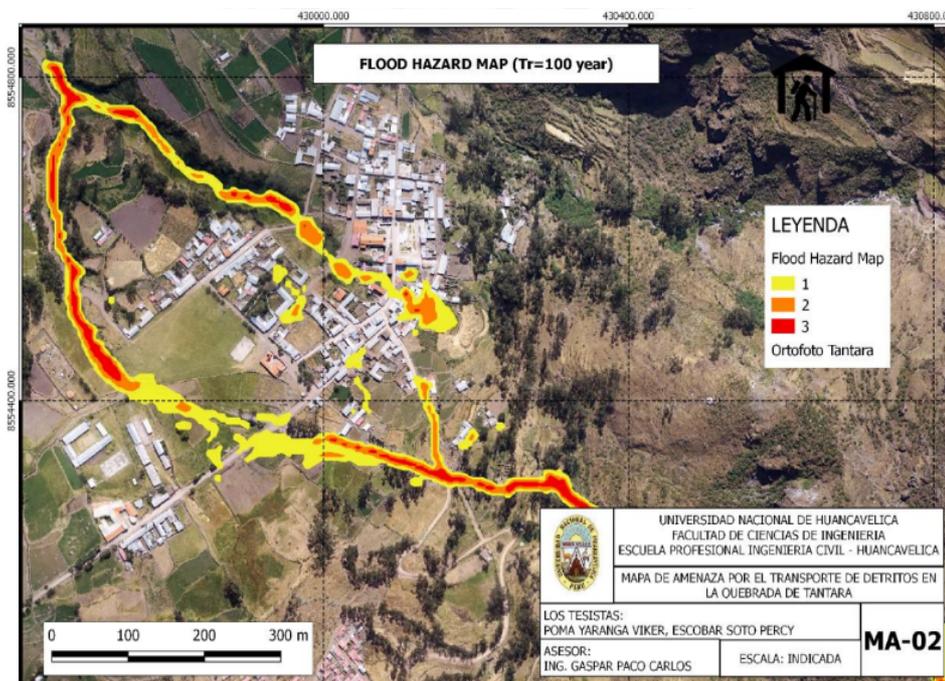
Nota. Santuyo y Zambrano (2019)

La tesis de Escobar P. y Poma V (2018) propone determinar el grado de amenaza por el flujo de detritos en la quebrada de Tantará partiendo de una simulaci3n dinámica bidimensional y considerando los parámetros de análisis de FEMA (véase Figura 7), la activaci3n de esta quebrada en el 2013 ocasiono daños en 30 viviendas y 5 hectáreas de terreno agrícola, así como la destrucci3n de la infraestructura de riego Chuymac – Pacchacc. Para lograr el cumplimiento del objetivo principal los autores analizaran la incidencia de la concentraci3n volumétrica en el volumen de salida de flujo de detritos, así como la variaci3n de la velocidad de flujo de detritos y por último examinar el comportamiento de la profundidad del flujo frente al aumento del valor n de Manning. Los autores concluyen que la quebrada tiene un nivel amenaza de intensidad alta y se recomienda que la municipalidad del lugar realice obras de protecci3n como diques y planear una reubicaci3n de viviendas.

Los modelamientos numéricos brindan resultados muy acertados con la realidad, sin embargo, estos deben ser calibrados con evidencias en campo y/o registros hist3ricos del fen3meno. Por otra parte, la presentaci3n de alternativas de mitigaci3n debe ser fundamental en investigaciones de la presente línea.

Figura 7

Mapa de amenaza por el flujo de detritos en la quebrada de Tantará.



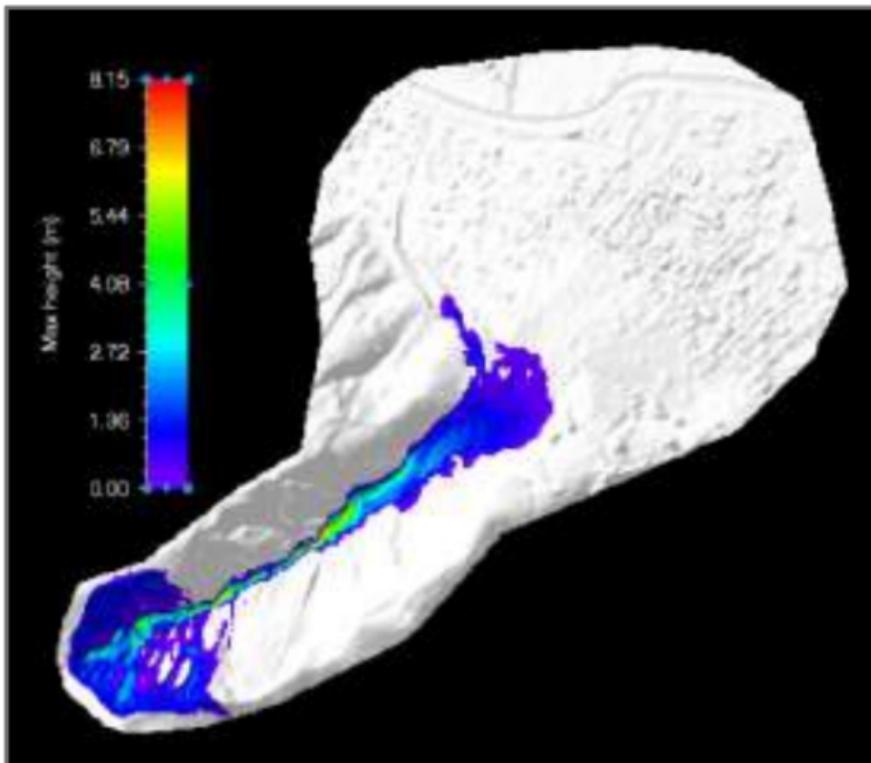
Nota.: Escobar y Poma (2018)

La tesis de Ramírez F. y Quintana C. tiene como objetivo principal el análisis de las características que influyen en un suceso de flujos de detritos en la quebrada Hatun Huayco en Cusco para esto es necesario el cálculo de precipitación máxima, características del suelo y evaluación de los parámetros topográficos de la zona, en esta investigación se realizaron vuelos con dron para el levantamiento topográfico, para el procesamiento de datos se usó el Arc GIS, para realizar el modelamiento matemático los autores usaron RAMMS Debris Flow (véase Figura 8). Los autores concluyeron que se tiene un volumen de flujo de detritos de 28060 m³, lo cual en la escala de intensidad de deslizamiento se clasifica como intensidad alta, a su vez el autor da como concluidas con éxito cada hipótesis planteada para sus preguntas iniciales.

El modelamiento propuesto por el autor es notablemente relevante, pues se utilizó una topografía de gran calidad para la simulación. Sin embargo, es recomendable la calibración del modelo según registros del fenómeno para realizar la evaluación correcta de las estructuras protectoras y mitigadoras.

Figura 8

Flujo de detritos en quebrada Hatun Huayco.



Nota. Ramirez & Quintana (2021)

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Hidrología

Es una de las ciencias de la tierra la cual tiene como objeto de estudio los cuerpos de agua, el cual analiza su origen, circulación, distribución y propiedades, teniendo en cuenta su entorno y aprovechamiento de los seres vivos (Villón, 2004). La hidrología también es responsable de los estudios para obras hidráulicas tales como represas, irrigaciones, puentes, carreteras, defensas ribereñas, gestión de desastres naturales, entre otros.

a) Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es aquel territorio delimitado topográficamente por una línea divisoria, la cual une los puntos más altos formados por los cerros, dentro de esta área, toda el agua proveniente de las lluvias se concentra una serie de quebradas las cuales se unen a un río o colector principal, drenando en un punto específico (véase Figura 9).

Dentro de la cuenca encontramos un conjunto de suelos, flora, fauna y condiciones climáticas especiales, las cuales permiten realizar una identificación y posteriormente estudio para su correcta gestión y aprovechamiento. Teniendo en cuenta la cantidad de agua producto de las precipitaciones y su ubicación: “La cuenca hidrográfica puede dividirse en espacios definidos por la relación entre el drenaje superficial y la importancia que tiene con el curso principal” (Palacios, 2016, p. 8). Para la identificación de dichas divisiones, es necesario analizar los afluentes conectados al río principal. Si al río principal (primario) llega un afluente (secundario), el área de influencia se denomina subcuenca y si al secundario llega otro afluente (terciario), se denomina microcuenca (Palacios, 2016).

Figura 9

División de una cuenca hidrográfica



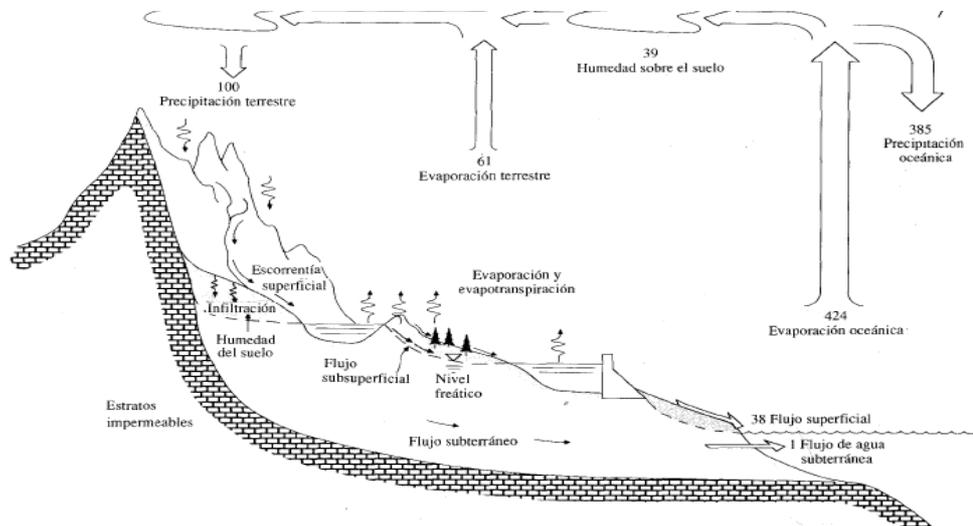
Nota. Palacios (2016).

b) Ciclo hidrológico

Dentro de cada cuenca, existe un sistema de transformación del agua existente, a la cual se le conoce como ciclo hidrológico, el cual “Se compone de varios subsistemas conectados por medio de la transferencia de agua en sus distintas fases (véase Figura 10). Grandes cantidades de agua como vapor, líquido o hielo, se encuentran continuamente en movimiento entre todas las esferas del sistema climático” (Moreno, 2018, p. 12). Gracias a este sistema, se da la existencia de las distintas formas de agua existentes en el planeta. “El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología. Este ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua” (Chow, 1994, p. 3).

Figura 10

Ciclo hidrológico del agua

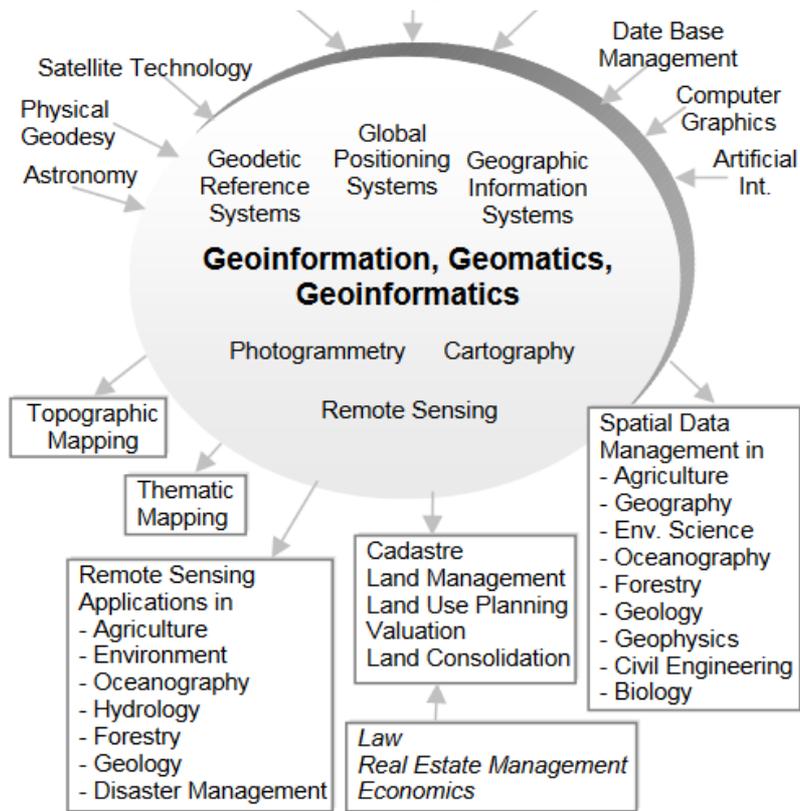


Nota. Chow (1994)

2.3.2. Geomática

Son un conjunto de tecnologías y/o componentes que permiten capturar, administrar, modelar, analizar y graficar información geográfica para la resolución de problemas de planificación y gestión. Blanco y Pascual (2018) definen la tecnología geomática como una técnica para gestionar, recopilar, analizar y difundir información referenciada espacialmente. Dentro de la geomática podemos encontrar las ciencias cartográficas, teledetección, ordenamiento territorial, topografía, análisis de redes y un sinnúmero de utilidades más (véase Figura 11).

Figura 11
Disciplinas de desarrollo de la geomática



Nota. Konecny (2002)

a) Modelo digital de elevaciones

Hawker, Bates, Neal y Rougier (2018) los definen como una representación del terreno en forma cuadrículada (píxeles), cada celda conlleva un valor distinto de altitud sobre un sistema de referencia espacial. La precisión y resolución de la imagen está directamente relacionada al tamaño del píxel, esto quiere decir que, a un tamaño de píxel más pequeño, se tendrá una representación más nítida y precisa a la realidad. Los autores también afirman que estos modelos pueden ser generados a partir de levantamientos topográficos, digitalización de mapas impresos existentes, tecnología satelital y usando técnicas de detección remotos.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México (INEGI) explica que estos modelos permiten caracterizar las formas de relieve y/o objetos presentes en el mismo, además que la precisión de dichos modelos varía de acuerdo del método usado para su generación, haciendo mención a la tecnología Laser Imaging Detection and Ranging (LIDAR) como la más adecuada y precisa para la elaboración de estos modelos, por ofrecer valores submétricos (representación sistematizada del terreno).

Pueden ser representados por curvas de nivel, red irregular de triángulos (TIN) y también en formato ráster.

b) Modelo digital de superficie

Los modelos digitales de superficie representan todo lo encontrado en el área de estudio, estos objetos pueden ser árboles, edificaciones, infraestructura y topografía. “Un modelo de superficie digital es una importante infraestructura geoespacial utilizada en varios campos, como generación de ortoimágenes, análisis 3D y modelamiento ciudadano. Por lo general, se representa como datos cuadrículados, compuesto de celdas regularmente espaciadas con valores de elevación” (Kim, Rhee y Kim, 2018, p. 1). Teniendo en cuenta la importancia y la gran gama de utilidades de estos modelos, los autores proponen la metodología LIDAR y UAV (aeronave no tripulada) para la obtención de información.

2.3.3. Movimientos de masa

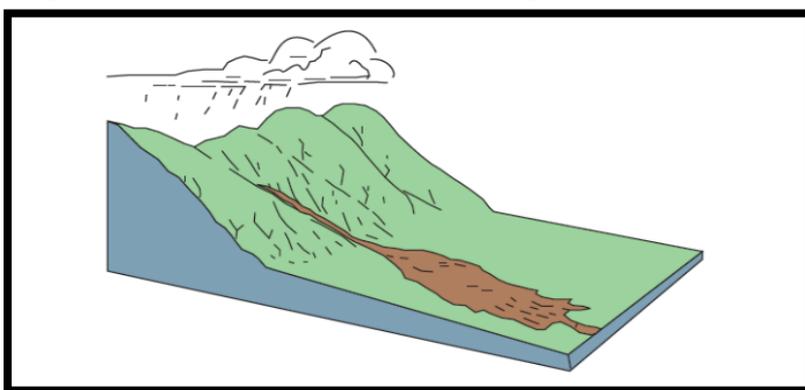
Son procesos de traslado de volúmenes, los cuales “están compuestos de agua, roca suelo y vegetación y que es desencadenado por precipitaciones intensas y/o frecuentes” (SENAMHI, 2019, p. 24). Estos flujos representan un grave peligro para la vida y propiedad, debido a su gran velocidad y ocurrencia inesperada (véase Figura 12).

Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes (véase Figura 13). “Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos” (Bucarey, 2018, p. 4).

Generalmente, los asentamientos humanos (sobre todo en la región costera y andina) se encuentran en los valles de los ríos, donde son susceptibles a estos movimientos.

Figura 12

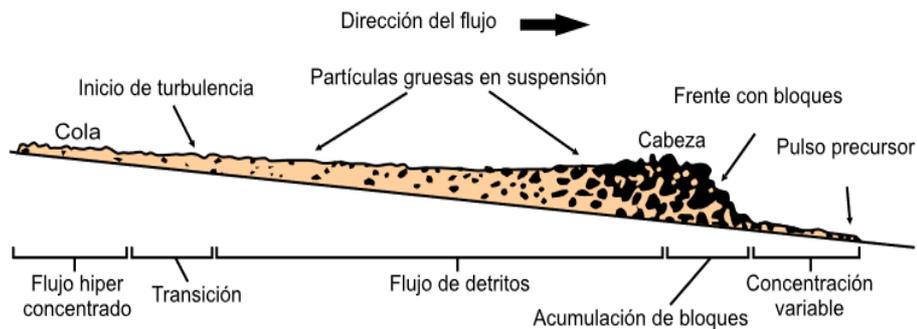
Esquema de un flujo de detritos en una quebrada



Nota. USGS

Figura 13

Corte esquemático típico de un flujo de detritos



Nota. SERNAGEOMIN (1986)

a) Factores desencadenantes de los flujos de detritos

Las precipitaciones intensas son un factor necesario para el flujo de detritos, pero sola esta condición no basta para desencadenarla, Sepúlveda (1998) afirma que deben existir otros factores de la zona, los cuales desarrollan una condición potencialmente inestable, generando la remoción de masas del suelo. Algunos de estos factores son:

Morfología: Los flujos de detritos son procesos naturales, iniciados por la fuerza gravitatoria, viéndose ampliamente favorecidos por las laderas empinadas y/o pendientes pronunciadas a lo largo de la quebrada. Las pendientes mayores a 25° en las cabeceras de las cuencas son propicios a generar remociones de masa, inclusive se pueden generar en pendientes no mayores a 15° (Sepúlveda, 1998). Los parámetros geomorfológicos de las cuencas son determinantes ante una evaluación de flujo de detritos.

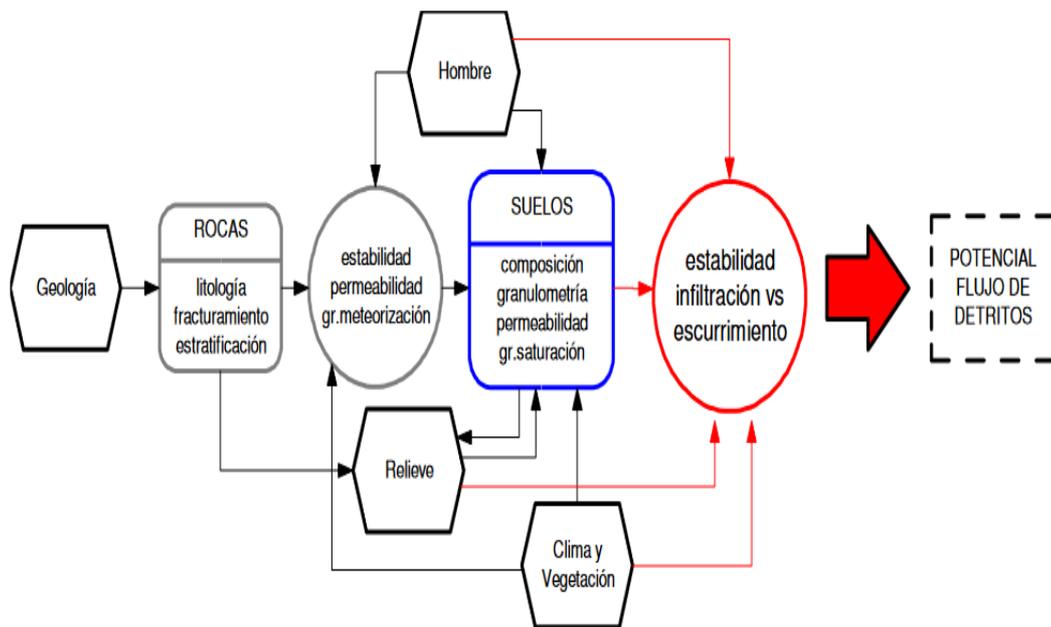
Geología: Para darse la remoción de masas, es necesario que existan volúmenes de suelo propensos a ser removidos por algún factor externo. “En este sentido, la geología de la zona controla en gran parte la existencia de depósitos de sedimento o suelos residuales generados por meteorización in situ” (Sepúlveda, 1998, p. 9). Las características geotécnicas también cumplen un rol fundamental ante el flujo de detritos. Bucarey (2018) refiere a que los distintos tipos de depósitos (aluviales, coluviales, volcanoclásticos, glaciales y de escombros de falda) son lugares con permeabilidad media que infiltran fácilmente y al saturarse, el agua escurre con una gran energía, produciéndose así las remociones de masa, además de considerarse las fallas y/o fracturas en las rocas y material erosivo presente en la zona. Un nivel freático alto y suelos licuables son otras condiciones geotécnicas a tener en cuenta dentro de los análisis correspondientes (véase Tabla 2).

Clima y vegetación: Los ambiente secos y áridos (o semiáridos) son comunes para el flujo de detritos, pues poseen una capacidad rápida de infiltración, las lluvias en estas zonas son escasas pero intensas y de corta duración. Dentro de estos climas no es común la vegetación, por lo cual el suelo y rocas quedan expuestos a la erosión haciéndolos propensos a ser removidos por la escorrentía (Bucarey, 2018). La costa peruana, al tener estos climas áridos, reúnen las condiciones necesarias para el flujo detrítico.

Factor antrópico: El establecimiento humano en las cuencas genera fuertes impactos en el ciclo hidrológico, aumentando las probabilidades de la remoción de masas. “A ello hay que sumarle obstáculos en las redes de drenaje, o material de desecho que pueda incorporarse al flujo, provenientes de los centros urbanos, y obras de minería o ingeniería” (Bucarey, 2018, p. 6). La deforestación indiscriminada también forma parte de este factor, el suelo descubierto es fácilmente saturable, aumentando la escorrentía del lugar (véase Figura 14).

Figura 14

Relaciones entre los factores condicionantes del flujo de detritos



Nota. Sepúlveda (1998)

Tabla 2*Tipos e interacciones de los movimientos*

Tipo de movimiento	Roca	Suelo
Falla	Falla de roca/ Hielo	Falla de roca/ detritos/ limo
Derrocamiento	Derrocamiento de bloques rocosos Derrocamiento de flexurales rocosos	Falla de grava/ arena/ limo
Deslizamiento	Deslizamiento rotacional de roca	Deslizamiento rotacional de arcilla/ limo
	Deslizamiento planar de roca	Deslizamiento planar de arcilla/ limo
	Deslizamiento de roca en cuña	Deslizamiento grava/ arena/ detritos
	Deslizamiento compuesto de roca	Deslizamiento compuesto de arcilla/ limo
Propagación	Deslizamiento irregular de roca	
	Propagación de ladera de roca	Licuefacción de arena/limo Propagación de arcilla sensitiva
Flujo	18. Avalancha de roca/ hielo	Flujo seco de arena/ limo/ detritos
		Deslizamiento por flujo de arena/ limo/ detritos
		Deslizamiento por flujo de arcilla sensitiva
		Flujo de detritos
		Flujo de lodo
		Inundación de detritos
		Avalancha de detritos
Deformación de ladera	Deformación de ladera montañosa	Fluencia del suelo
	Deformación de ladera rocosa	Soliflucción

Nota. Modificado de Hungr, Leroueil y Picarelli (2013).

Santujo y Zambrano (2019) hacen referencia a la tabla propuesta por Cruden y Varnes (1996) sobre la descripción del rango de velocidades de los distintos tipos de remoción de masas, debido a su gran relación con la amenaza e intensidad que pueden presentar (véase Tabla 3).

Tabla 3*Escala de velocidades de remociones de masa*

Clases de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad típica	Respuesta humana
7	Extremadamente rápida	5×10^3	5 m/s	Nula
6	Muy rápida	5×10^1	3 m/min	Nula
5	Rápida	5×10^{-1}	1.8 m/h	Evacuación
4	Moderada	5×10^{-3}	13 m/mes	Evacuación
3	Lenta	5×10^{-5}	1.6 m/año	Mantenimiento
2	Muy lenta	5×10^{-7}	16 mm/año	Mantenimiento
1	Extremadamente lenta	-	-	Nula

Nota. Cruden y Varnes (1996).

2.3.4. Modelado numérico RAMMS debris flow

Para el desarrollo de esta investigación, se usará el software de modelo numérico tridimensional RAMMS en su módulo debris flow (flujo de detritos). RAMMS es un programa ampliamente utilizado en simulaciones de flujo de detritos en aplicaciones prácticas y con fines de investigación (Bezak, Sodnik y Mikoš, 2019). Este software fue diseñado para la Investigación de Nieves y Avalanchas del Instituto Federal Suizo ante la necesidad de evaluar los peligros naturales y las alternativas de mitigación existentes, los modelos

RAMMS requieren una representación digital precisa del terreno para la correcta simulación de flujos.

En el manual del software, elaborado por Bartlet et al. (2017), se explica que dentro del software se usan los modelos de fricción de Voellmy, el cual divide la resistencia friccional en dos partes: la fricción de Coulomb (μ) y una resistencia velocidad-cuadrado de resistencia o también fricción visco-turbulenta (ξ) (véase Figura 15), las cuales se rigen de la siguiente fórmula:

$$S = u * p * H * g * \cos \emptyset + \frac{p * g * u^2}{\varepsilon}$$

Donde:

ρ =densidad de los granos

g =aceleración gravitacional

h =altura del flujo

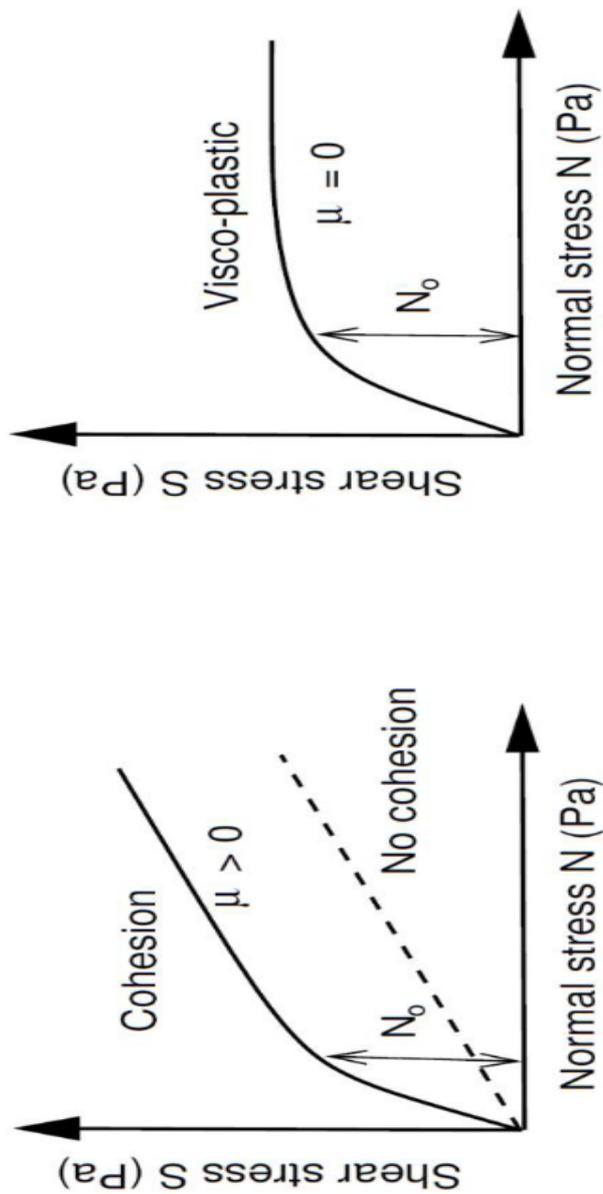
ϕ =ángulo de inclinación

u =velocidad del flujo en las direcciones x e y

ξ = Coeficiente de Chezy

Figura 15

Relación entre el esfuerzo normal (N) y esfuerzo cortante (S)



Nota. WSL (2017)

Dado que muchos materiales incluidos en los flujos de detritos no muestran una relación lineal simple ($\mu = \text{constante}$) como el barro y nieve, fue necesario modelar el límite plástico (N_0) sirviendo como un límite elástico del material y el factor μ como una variable de endurecimiento. Realizando las modificaciones respectivas, el WSL llegó a la ecuación dos, incluida en el software RAMMS a partir de la versión 1.6.20.

$$S = u * N + \frac{p * g * u^2}{\epsilon} + (1 + u) * N_0 - (1 - u) * N_0 * e^{\frac{N}{N_0}}$$

Donde:

N_0 =cohesión del material que fluye

Este límite elástico, sirve para aumentar el esfuerzo cortante (S, Shear Stress) para presiones normales (N, Normal Stress) más altas, a pequeñas alturas de flujo, S aumenta rápidamente al valor de N_0 . De manera contraria, si el coeficiente de endurecimiento (μ) es 0, se tendrá un comportamiento viscoplástico, tal cual se observa en la Figura 7.

a) Parámetros de entrada

Por lo expuesto, el software RAMMS resulta muy versátil para el modelamiento del flujo de detritos en general, para realizar una simulación precisa, necesita datos de entrada adecuados. Santuyo y Zambrano (2019) afirman:

Para realizar simulaciones en el software RAMMS, se tiene que determinar algunos datos de ingreso, tales como: un DEM, el área de liberación de hidrogramas, volumen y densidad de mezcla y parámetros de resistencia del flujo (μ , ξ y C). (p. 29)

Los autores realizaron una compilación y explicación clara de los datos de entrada al software, como se puede ver en la Tabla 4.

Datos de entrada necesarios para simular en RAMMS

Datos de entrada	Descripción
Modelo de elevación digital (DEM)	Contiene la información topográfica necesaria para realizar simulaciones. Debe ser cargado en su formato ES
Área de liberación de flujo o hidrograma	La implementación de uno u otro, se define dependiendo del tipo de flujo que se esté estudiando y si es canalizado o no. Los límites de corrientes preexistentes, y los no canalizados se generan de laderas y no siguen los cauces preestablecidos. Para los primeros, se emplean hidrogramas, mientras que, para los segundos, es mejor emplear áreas de liberación.
Volumen de flujo $\forall t$ (m ³)	Se puede obtener directamente a partir de datos basados en la experiencia profesional y sirve para adecuar los
Densidad de flujo ρ [kg/m ³]	Se puede obtener a partir de mediciones directas o mediante la aplicación de ecuaciones (Ver tabla 6)
Trayectoria o alcance de flujo	Solo será utilizado cuando se requiera retro analizar un evento pasado, para determinar los parámetros de resistencia. Los parámetros puede ser partir de antecedentes, trabajo en terreno y/o análisis de imágenes satelitales históricas.
Parámetro de fricción μ [adimensional]	Para su calibración, se puede comenzar aproximándolo a la tangente del ángulo de reposo de los depósitos de sedimentos. Otra opción es utilizar los valores de flujos ocurridos en otras zonas, que se encuentren dentro del mismo contexto hidrometeorológico.
Parámetro de fricción ξ [m ² /s]	Para su calibración, se puede estimar a partir del retro análisis de un fenómeno ocurrido en el área de estudio. Se consideran las alturas y velocidades del flujo. Otra opción es utilizar los valores de flujos ocurridos en otras zonas, que se encuentren dentro del contexto geomorfológico, climático e hidrometeorológico. A una mayor cantidad de finos en un flujo, se da una mayor resistencia.
Yield stress C [Pa]	Para su calibración, se obtiene utilizando tablas que relacionen la concentración de finos de un flujo con su tensión de corte. En la entrada se pueden hacer simulaciones para ajustar este parámetro, considerando que, a mayor cantidad de finos, mayor es el yield stress. Si se tienen datos de flujos ocurridos en otros lugares, que se encuentren dentro del mismo contexto geológico, geomorfológico, climático e hidrometeorológico, el parámetro (i. e. $C > 0$ Pa), los parámetros μ y ξ deben ser verificados nuevamente.

De igual manera, los parámetros μ , ξ y C , tienen rangos sugeridos por el WSL, los cuales Muñoz (2018) compiló en la Tabla 5.

Tabla 5

Rangos recomendados para los parámetros μ , ξ y C

Parámetros		Rangos	
μ		0,05-0,4	
ξ [m ² /s]	Flujos granulares	100-200	
	Flujo de barros	20-1000	
C [Pa]	Flujo de detritos	0-2000	
	Avalanchas	Húmeda	0-100
		Secas	100-300

Nota. Muñoz (2018) modificado de WSL.

La WSL en el manual del software RAMMS Debris flow también define los resultados de la simulación, entre los cuales se tienen:

- a) Volumen depositado en algún periodo de tiempo del flujo y su área.
- b) Altura, velocidad, presión del impacto y tasa de arrastre (kg/m²).
- c) Perfiles y secciones del flujo de detritos.
- d) Animaciones finales de la simulación de flujos.

b) Propiedades de la mecánica de movimiento del flujo de detritos

Los flujos de detritos cuentan con propiedades mecánicas importantes, los estudios de Sepúlveda (1998) citados por Muñoz (2018) muestran la Tabla 6.

El rango típico de velocidades de los flujos de detritos es entre 1 y 12 m/s, pero se han registrado detritos puede estimarse en zonas de curva del canal. En estos sectores, la superficie del flujo alcanza que en el interno. Esto queda reflejado en los depósitos laterales o marcas de olas. La velocidad en $v = (r \times g \times \cos \beta \times \tan \delta)^{1/2}$ (Selby, 1993)

Velocidad

r: radio de curvatura

g: gravedad

β : pendiente del canal

δ : inclinación entre las cimas de los levées externo e interno

Asumiendo que las pérdidas por fricción son despreciables en superficies orientadas perpendicular a la velocidad como:

$$v = (2 \times g \times \Delta h)^{1/2} \text{ (Modificada de Pierson, 19)}$$

g: gravedad

Δh : diferencia de altura de flujo

Para C_v entre 20 y 50%, la densidad del flujo varía entre 1,33 y 1,80 g/cm³, mientras la viscosidad de escurrimiento en este rango es de transición turbulento - laminar. Cuando las concentraciones superan 50 g/cm³ y la viscosidad puede superar largamente los 200 Poise. Se puede estimar la densidad y viscosidad de la mezcla en la siguiente forma:

Viscosidad y densidad

$$\eta_d = \eta_w \cdot (1 + 2.5 C_v) \text{ (Einstein, 1909)}$$

$$\rho_d = \rho_w \cdot (1 - C_v) + \rho_s \cdot C_v \text{ (Solís, 1995)}$$

η_d : viscosidad de la mezcla

η_w : viscosidad del agua

C_v : concentración volumétrica

ρ_d : densidad de la mezcla

ρ_w : densidad del agua

ρ_s : densidad de sedimentos

La capacidad erosiva del flujo en el canal es proporcional al esfuerzo de corte que es ejercido por el flujo:

$$\tau = \rho F \cdot g \cdot R \cdot \sin \beta$$

Erosión del canal

τ : esfuerzo de corte

g: gravedad

ρF : densidad del fluido

R: radio hidráulico

β : pendiente del canal

Energía de impacto

El flujo lleva una energía cinética dada por la relación:

$$E = 1/2 \cdot m \cdot v^2$$

m: masa de la mezcla

v: velocidad de la mezcla en el impacto

c) Aplicaciones de RAMMS debris flow en investigaciones mundiales

RAMMS inicialmente fue desarrollado para el estudio y simulación de avalanchas en Suiza, pero por su versatilidad y gran precisión fue implementado en distintas investigaciones de todos los continentes.

A continuación, se presentan algunos artículos mundiales con el uso del software:

“Impact of a Random Sequence of Debris Flows on Torrential Fan Formation” (Impacto de una secuencia aleatoria de flujos de detritos en la formación de abanicos torrenciales). Se presentaron los resultados de simulaciones numéricas usando el software RAMMS Debris-Flow, en la que se investigó el impacto de una secuencia aleatoria de flujo de detritos en formación de abanicos torrenciales usando las propiedades reológicas de los flujos transportados en volumen constante. En términos generales, se llegaron a obtener 62 eventos de flujo de detritos con magnitudes entre 100 a 20000 m³ seleccionados, generando un volumen total de 225000 m³. La secuencia de los flujos fue generada aleatoriamente y se compararon las características después de las 62 simulaciones, lo cual posteriormente se analizó estadísticamente, obteniendo un nivel de significación de Mann-Whitney y pruebas t de 0.05. Como insumo principal de calibración se tomó la topografía de un abanico torrencial real de Eslovenia, formada por el torrente Suhelj. (Bezák, Sodnik y Mikoš, 2019)

“Modelling the 2012 Lahar in a Sector of Jamapa Gorge (Pico de Orizaba Volcano, Mexico) using RAMMS and Tree-Ring Evidence” (Modelado del Lahar 2012 en un Sector de la Quebrada Jamapa (Volcán Pico de Orizaba, México) usando RAMMS y evidencia de anillos de árboles). Fue un enfoque multidisciplinario basado en la evidencia de campo (árboles) y el modelo numérico RAMMS de un fenómeno post eruptivo ocurrido en el 2012 en la localidad del norte del volcán Pico de Orizaba (México). Usando un modelo digital de elevación (DEM) y la calibración según rastros encontrados en árboles se obtuvo un pico de descarga de 78 m³s⁻¹ para el evento, lo cual fue probablemente desencadenado por las lluvias torrenciales del huracán “Ernesto”. Se concluyó que con el modelado de software RAMMS y una calibración (en este caso, árboles marcados), se puede obtener la frecuencia y magnitud de los lahares de los volcanes, dando posibilidad a implementar las medidas de reducción de riesgo de desastres en las regiones volcánicas subtropicales. (Franco-Ramos et al., 2020)

2.3.5. Evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) elaboró el *Manual para la evaluación de riesgos originados por*

fenómenos naturales, 2da versión (2015) en el que se detallan los pasos y procesos para la evaluación de riesgos y su importancia, la cual radica en:

Realizar la identificación de actividades y acciones para la prevención de riesgos (existentes y/o nuevos), los cuales deben ser incorporados en los Planes de Prevención y Reducción de Desastres Naturales.

Formular medidas de prevención y reducción de riesgo de desastres, tanto estructurales como no estructurales a cargo de las distintas intendencias.

Adjuntar la Gestión de Riesgo de Desastres, tanto en la inversión pública y privada en los tres niveles del gobierno, permitiendo su sostenibilidad a través del tiempo.

Servir de apoyo a la gestión ambiental, además de a la planificación, ordenamiento y acondicionamiento territorial.

Contribuir a la toma de decisiones de las autoridades encargadas, brindando una calidad de vida adecuada a la población vulnerable. (CENEPRED, 2015)

a) Evaluación cuantitativa y cualitativa

Informe Cualitativo de la gestión de riesgos: Ante la inexistencia de información del fenómeno, el informe se debe basar en la experiencia y observaciones en campo de los peligros, elementos expuestos y vulnerabilidades del área en estudio. (CENEPRED, 2015)

Informe Semi Cuantitativo de la gestión de riesgos: Está basado en la recopilación de información pasada y/o estudios técnicos anteriores con relación directa o indirecta con el fenómeno natural en estudio, los cuales permiten ser incorporados en el informe de evaluación de riesgos según su utilidad. (CENEPRED, 2015)

Informe Cuantitativo de la gestión de riesgos: Este tipo de informe está compuesto por diversos tipos de estudios técnicos in situ, generando así información actualizada de la situación de la zona, permitiendo una visión más clara de los peligros, elementos expuestos y vulnerabilidades presentes. (CENEPRED, 2015)

La clasificación de peligros se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7
Tipos de análisis cuantitativos de peligros

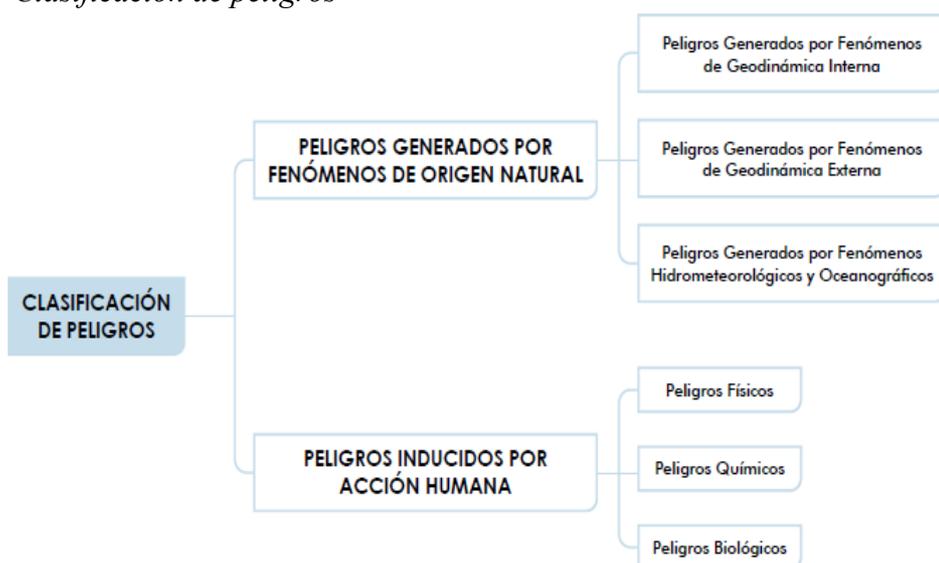
Recurrencia y variabilidad espacial del fenómeno	Tipo de fenómeno	Magnitud del sismo
Impactan siempre en la misma área	Análisis de frecuencia en función o no de la magnitud.	Inundaciones
	Simulaciones a través de métodos probabilísticos o determinísticos.	Deslizamientos
Impactan en áreas diferentes	Espacial en función o no de la magnitud.	Tsunamis
	Espacial y frecuencia en función o no de la magnitud.	Lahares
	Simulación/modelización con métodos determinísticos y/o probabilísticos.	Terremotos
Impactan una vez solamente	Simulación/modelización con métodos determinísticos y/o probabilísticos.	Flujos de lava
		Desastres

Nota. CENEPRED (2015) adaptado de SNET (2014).

b) Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales

Según el origen del peligro, se puede dividir en los ocasionados naturalmente y en los inducidos por la acción humana, para lo cual se debe caracterizar a cada uno de ellos (véase Figura 16) según corresponde.

Figura 16
Clasificación de peligros

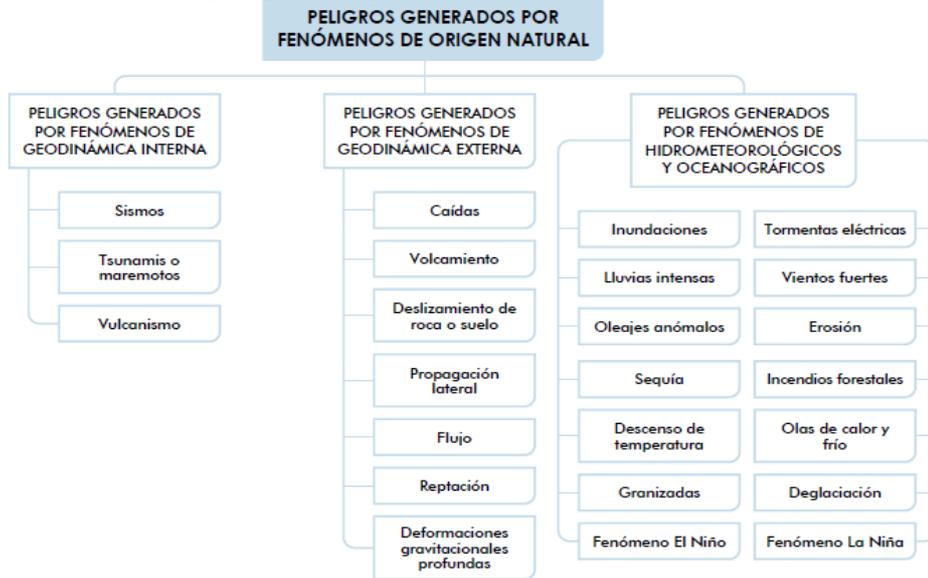


Nota. CENEPRED (2015)

En el caso de la clasificación de los fenómenos naturales, se pueden subdividir en los siguientes campos (véase Figura 17).

Figura 17

Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales



Nota. CENEPRED (2015)

2.3.6. Análisis y evaluación de la peligrosidad

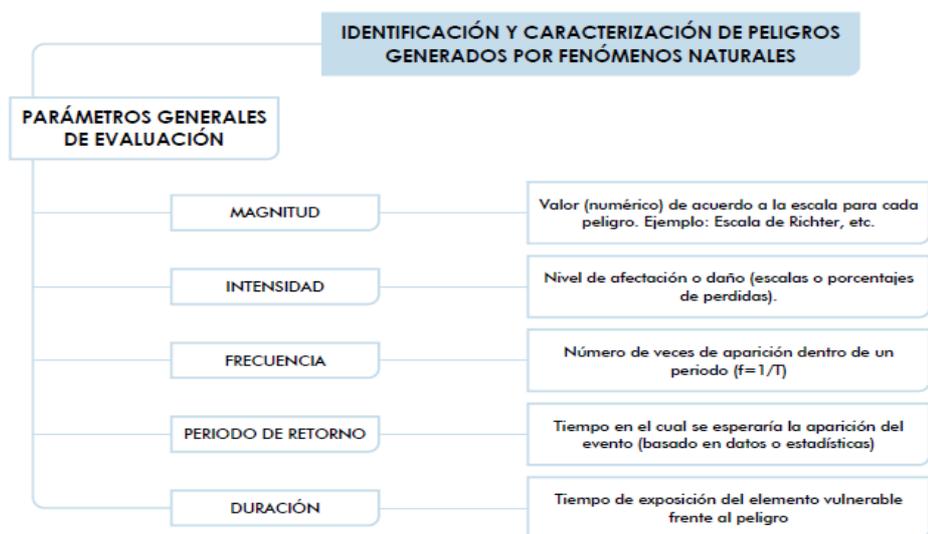
El capítulo 2 del *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión, CENEPRED (2015)* determina que la evaluación del peligro conlleva a la estimación o valoración de la ocurrencia de un fenómeno, teniendo como base su mecanismo generador, el seguimiento del sistema perturbador y/o el registro de sucesos en el tiempo dentro de la zona afectada. Realzando así las etapas e importancia de un correcto análisis y posterior monitoreo del fenómeno evaluado. Dentro de este análisis, se encuentran las siguientes etapas:

a) Peligros generados por fenómenos de origen natural

Teniendo en cuenta los parámetros generadores del fenómeno natural y su área de influencia, se deben evaluar según la siguiente estructura (véase Figura 18).

Figura 18

Parámetros para la identificación y clasificación del peligro



Nota. CENEPRED (2015)

Estos parámetros facilitan las identificaciones correspondientes de los peligros y su evaluación. Santuyo y Zambrano (2019) señalan que:

Para evaluar el peligro, es necesario identificar un escenario que no es una predicción ni un pronóstico específico; sino una descripción de lo que puede ocurrir con un antecedente ocurrido en una realidad pasada, de la cual se cuentan con datos que se pueden obtener de instituciones técnicas–científicas relacionadas a campos afines como geología, hidrología, oceanografía, meteorología, etc. (p. 40)

Según esta definición, las entidades encargadas de brindar estos datos y/o bibliografía son el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto Geofísico del Perú (IGP), CENEPRED, entre otros.

b) Parámetros de evaluación del fenómeno

El Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) fue desarrollado por Thomas Saaty (1980), el cual permite resolver problemas multicriterio mediante un modelo jerárquico, permitiendo estructurar el problema en forma ordenada y visual para una toma de decisiones más clara. Dentro del análisis de movimiento de masas, el CENEPRED (2015) recomienda que cada parámetro del problema tenga una media de cinco descriptores. La metodología SAATY permite calcular el peso ponderado de cada parámetro de tal manera que la sumatoria resulte 1, en cuanto a la asignación de pesos es completo criterio del

evaluador, siendo el parámetro más importante el de mayor peso colocado (Santuyo y Zambrano, 2019). En ese contexto, la información levantada de campo tomará un rol vital en la elaboración de los cuadros y asignaciones de peso a cada parámetro a evaluar.

c) Evaluación de susceptibilidad

La susceptibilidad es la predisposición de la ocurrencia de fenómenos sobre un área determinada. dicha susceptibilidad se ve afectada por los factores condicionantes y los factores desencadenantes (véase Tabla 8).

Factores condicionantes: Son aquellos factores propios de la zona en estudios, las cuales pueden contribuir de manera propicia o no al desarrollo del fenómeno natural, algunos de estos factores pueden ser la geología, geomorfología, fisiografía, hidrología y edafología. (CENEPRED, 2015)

Factores desencadenantes: Son aquellos factores detonadores de algún fenómeno natural en específico, generando peligros en su área de acción. (CENEPRED, 2015)

Tabla 8

Ejemplo de factores condicionantes para un análisis de susceptibilidad de remociones en masa

Factor	Condición de influencia o categorías
Geomorfología	Morfologías y sus procesos morfogenéticos asociados
Pendiente	Pendiente de laderas y pendiente de canales de drenaje
Geología	Características geológicas del área de estudio
Geotecnia	Características geotécnicas del material
Antecedentes	Aluviones declarados en las cuencas
Vegetación	Densidad de vegetación
Nieve	Acumulación de nieve
Orientación	Exposición al Sol
Antrópico	Desestabilización artificial de laderas y obstrucción de canal de drenaje
Morfometría	Hipsometría, pendiente, densidad de drenaje, entre otros
Elevación	Procesos desestabilizadores asociados con la altitud
Curvatura	Superficie cóncava, plana o convexa

Nota. Muñoz (2018) modificado de Lara (2007).

d) Definición de escenarios

Teniendo en cuenta los parámetros condicionantes y desencadenantes del fenómeno, se determina la ocurrencia de riesgo ante dicho evento y sus probabilidades dentro del área de estudio para realizar el mapeo correspondiente a las zonas afectadas.

e) Estratificación del nivel de peligrosidad de acuerdo a umbrales

Los umbrales a tener en cuenta son el nivel de peligrosidad social, económico y ambiental. “Una vez obtenidos los parámetros de evaluación con sus respectivos

descriptores se procede a aplicar el método de análisis multicriterio SAATY para así establecer los niveles de peligro. (Bajo, medio, alto y muy alto) con sus respectivos valores” (Santuyo y Zambrano, 2019, p. 41). Teniendo en cuenta los valores de peligro obtenidos, se pueden tomar acciones pertinentes para salvaguardar a los pobladores e infraestructuras involucradas.

f) Niveles de peligrosidad

Los niveles de peligrosidad están clasificados en muy alto, alto, medio y bajo; los rangos para categorizar cada elemento dentro de estos niveles deben ser el resultado de análisis de la matriz de peligro y/o condiciones de la población afectada. Todo en base a la metodología propuesta por el CENEPRED.

g) Mapa de peligrosidad

El mapa de peligrosidad debe mostrar las áreas correspondientes a cada nivel de peligro, para identificar los umbrales afectados.

2.3.7. Evaluación de vulnerabilidad por fenómenos naturales

La centralización del Perú ha traído consigo un exponencial aumento en la población en Lima (en su mayoría inmigrantes de provincias del interior del país) superando su capacidad, como consecuencia de ello y ante la falta de recursos, los pobladores optaron por realizar construcciones en lugares inadecuados (cerros, laderas de los ríos) trayendo consigo una alta tasa de peligrosidad para ellos mismos.

Ante ello, la Ley N°29664 del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N°048-2011-PCM) define a la vulnerabilidad como “la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza”

a) Análisis de los factores de vulnerabilidad

Exposición: Tiene relación directa con la población encontrada dentro de la zona de afectación. Está generada por una mala relación con el ambiente, colapso de los planes de crecimiento demográfico y urbanístico y políticas económicas no sostenibles, a mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad (CENEPRED, 2019). En el caso de la quebrada San Carlos (véase Figura 19), los pobladores (agricultores y ganaderos) son los principales expuestos ante un fenómeno de flujo de detritos.

Figura 19

Población vulnerable en el AA.HH. San Carlos



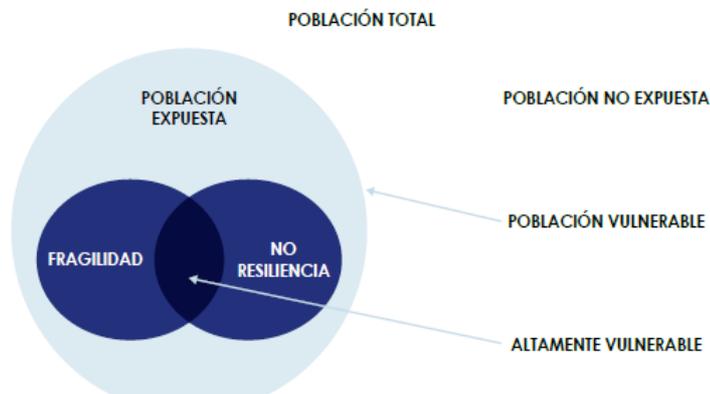
Nota. Elaboración propia.

Fragilidad: Engloba las debilidades y/o condiciones desfavorables a un grupo humano expuesto a cierto peligro. “En general, está centrada en las condiciones físicas de una comunidad o sociedad y es de origen interno, por ejemplo: formas de construcción, no seguimiento de normativa vigente sobre construcción y/o materiales, entre otros. A mayor fragilidad, mayor vulnerabilidad.” (CENEPRED, 2019, p. 122). Y eso se puede observar en el área de estudio, pues la totalidad de las viviendas fueron construidas informalmente y con materiales no recomendables para la zona (véase Figura 20).

Resiliencia: Conlleva a los niveles de asimilación y recuperación del grupo humano afectado por un fenómeno. “Está asociada a condiciones sociales y de organización de la población. A mayor resiliencia, menor vulnerabilidad. (CENEPRED, 2019, p. 123).

Figura 20

Distribución de la población en términos de vulnerabilidad



Nota. CENEPRED (2015)

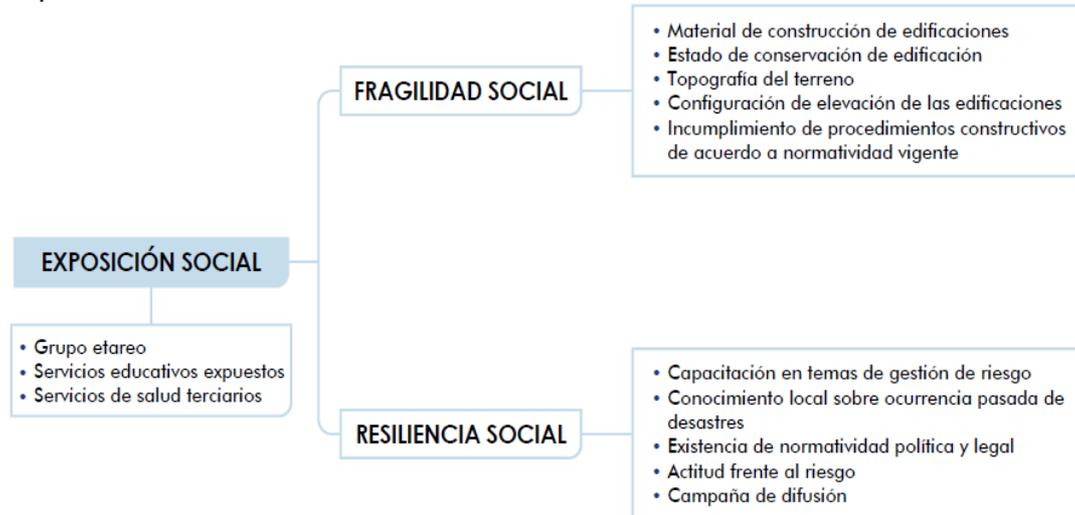
b) Análisis de elementos expuestos

Dimensión social: Comprende la identificación de la población vulnerable y no vulnerable dentro del área de ocurrencia del fenómeno, tal como se muestra en la Figura

21.

Figura 21

Exposición social

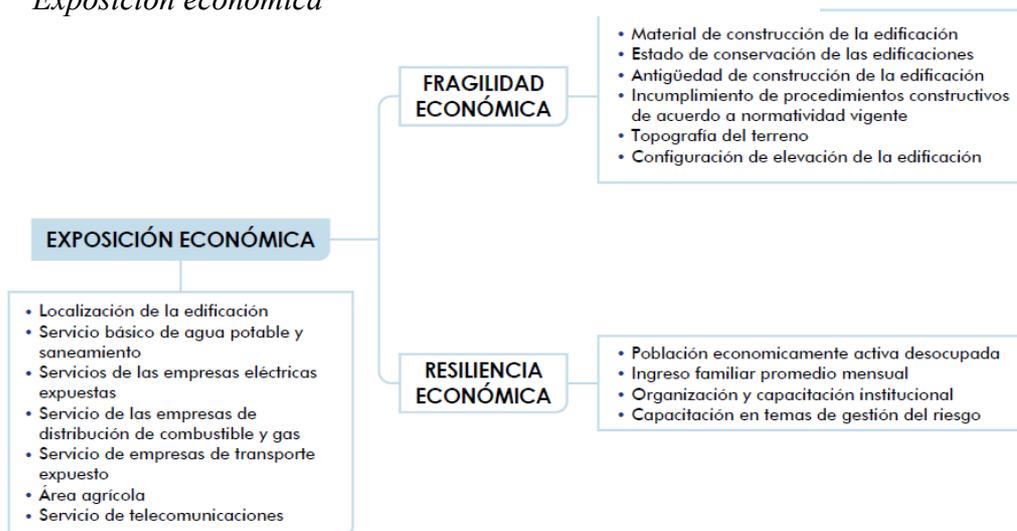


Nota. CENEPRED (2015)

Dimensión económica: Engloba a las actividades económicas e infraestructura vulnerable como no vulnerable dentro del área de ocurrencia del fenómeno (véase Figura 22).

Figura 22

Exposición económica

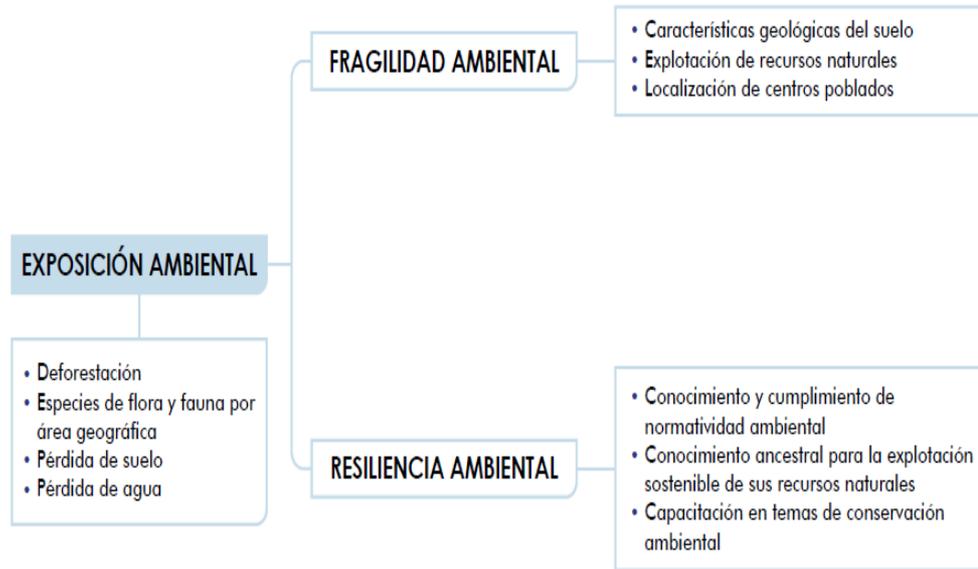


Nota. CENEPRED (2015)

Dimensión ambiental: Abarca a los recursos naturales renovables como no renovables, identificándolos como vulnerable o no vulnerable dentro del área de ocurrencia del fenómeno (véase Figura 23).

Figura 23

Exposición ambiental



Nota. CENEPRED (2015)

c) Determinación de los niveles de vulnerabilidad

Los niveles de vulnerabilidad están en función a los resultados de las encuestas a los pobladores de la zona, en cuanto al material predominante de sus casas, ubicación, número de pisos, uso de la vivienda y capacitación de los habitantes sobre la cultura de prevención de riesgos.

d) Mapa de vulnerabilidad

Realizada la identificación de elementos expuestos, se procede a elaborar el mapeo correspondiente para su posterior análisis, los elementos no vulnerables quedan descartados.

2.3.8. Estimación de riesgos por fenómenos naturales

Teniendo en cuenta los mapeos correspondientes al peligro y vulnerabilidad de los elementos expuestos al fenómeno natural en estudio, se puede calcular el riesgo del área en estudio. El CENEPRED (2015) afirma:

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 se expresa que el riesgo es una función $f()$ del peligro y la vulnerabilidad. (p. 147)

En base a los conceptos mencionados, se plantea la siguiente fórmula:

$$R_{ie|t} = f(P_{ij}V_e)|_t$$

Donde:

R: Riesgo

f: En función

Pi: Peligro con la intensidad mayor o igual a i durante un periodo de exposición t

Ve: Vulnerabilidad del elemento expuesto

a) Identificación de zonas de riesgo potencial significativo

El CENEPRED (2015) elaboró la propuesta de un cuadro doble entrada, a fin de determinar los rangos de riesgo según los valores previos conocidos de peligro y vulnerabilidad, tal como se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Modelo de cuadro doble entrada para identificación de riesgos

PMA	0.503	0.034	0.067	0.131	0.253
PA	0.260	0.018	0.035	0.068	0.131
PM	0.134	0.009	0.018	0.035	0.067
PB	0.068	0.005	0.009	0.018	0.034
		0.068	0.134	0.260	0.503
		VB	VM	VA	VMA

Nota. CENEPRED (2015)

b) Niveles de riesgo

Están compuestos por el riesgo muy alto no mitigable, riesgo muy alto, riesgo alto, riesgo medio y bajo; los cuales dependen de las características de la población y de la magnitud del fenómeno.

c) Mapa de riesgo

Identificados los niveles de riesgo, sirven de apoyo para la planificación y ordenamiento territorial, los mapeos de los niveles de riesgo son generados a partir de los análisis de los mapas de peligro y vulnerabilidad elaborados previamente.

d) Medidas de prevención y reducción de desastres

Son acciones realizadas a fin de impedir desastres y/o mitigarlos, todo esto antes de que ocurran. Dentro de los cuales encontramos:

Medidas estructurales: Están referidas a las obras ingenieriles (construcción o refuerzo) a fin de evitar y/o mitigar los fenómenos identificados.

Medidas no estructurales: Son aquellas medidas que no suponen una construcción física, sino el conocimiento (prácticas y capacitación) para reducir el riesgo y sus impactos.

2.4. Definición de terminología básica

- a) Precipitación: Es toda forma de humedad generada en las nubes que llega a la superficie terrestre, lo componen las lluvias, granizadas, garúas y nevadas.
- b) Escorrentía directa: La compone aquella precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo, sino fluye hasta encauzarse y formar quebradas.
- c) Tiempo de concentración: Es el tiempo mínimo requerido para que toda la escorrentía llegue de forma simultánea al punto de aforo.
- d) Caudal: En base a la escorrentía se generan volúmenes de agua que fluyen en las quebradas, lo que es conocido como caudal. Existen muchas maneras de calcularlo, para el presente estudio se usarán las propuestas por el MTC.
- e) Sedimentos: Partículas procedentes de la meteorización de rocas y/o suelos que son trasladadas por medio de agua o viento.
- f) Flujo de detritos (debris flow): Son flujos de material no consolidado con grandes cantidades de material grueso, capaces de fluir rápidamente a través de canales preexistentes como quebradas u obras de arte.
- g) Modelamientos numéricos: Son aquellos modelamientos cuya función consiste en resolver ecuaciones matemáticas para explicar algún fenómeno.
- h) Peligro: Es aquella posibilidad de ocurrencia de algún fenómeno natural determinado.
- i) Vulnerabilidad: Es la susceptibilidad de la población a sufrir daños por algún peligro identificado.
- j) Riesgo: Magnitud de impacto o daño del fenómeno en la población.

2.7. Hipótesis o supuestos teóricos

2.7.1. Hipótesis general

El análisis de susceptibilidad permite identificar el nivel de amenaza por flujo de detritos percibido por los pobladores de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto.

2.7.2. Hipótesis específicas

- a) El desarrollo de estudios de mecánica de suelos e investigaciones geológicas posibilita identificar las características geotécnicas y geológicas del sector San Carlos.
- b) El desarrollo de un estudio hidrológico de máximas avenidas para distintos tiempos de retorno permite conocer los caudales respectivos para la quebrada San Carlos.
- c) El desarrollo del modelado numérico permitirá conocer la interacción del flujo de detritos en el sector hidrológico de la quebrada San Carlos.
- d) El desarrollo de los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo permitirá realizar un análisis de susceptibilidad ante flujo de detritos en el sector San Carlos.

2.8. Variables

2.8.1. Sistema de variables

- a) Variable dependiente (V.D): Análisis de susceptibilidad
- b) Variable independiente (V.I): Flujo de detritos

2.9. Definición conceptual

2.9.1. Variable dependiente - Análisis de susceptibilidad:

Para la definición de esta variable, se tiene en cuenta la definición propuesta por el CENEPRED (2015): “La susceptibilidad está referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda u ocurra sobre determinado ámbito geográfico (depende de los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno y su respectivo ámbito geográfico)” (p. 106). El análisis de susceptibilidad viene dado por la evaluación del peligro, riesgo y vulnerabilidad con sus mapeos y estimaciones correspondientes de la población de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto ante el flujo de detritos en la zona.

2.9.2. Variable independiente - Flujo de detritos:

Este concepto ha sido ampliamente mencionado en esta investigación, para lo cual podemos citar a Hauser (2000): “El término ‘remociones de masa’ se refiere a procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos en

diversas proporciones, generados por una serie de factores” (p. 11). El flujo de detritos está sujeto a los factores condicionantes (geología, pendientes, geomorfología, etc.) y los factores desencadenantes (precipitación, nevadas, el hombre, etc.)

2.10. Definición operacional

La operación de variables busca realizar un análisis de impacto en la población (V.D) ante el fenómeno del flujo de detritos (V.I).

2.10.1. Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables de la investigación se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9
Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Flujo de detritos (V.I)	Geología	Formaciones rocosas	und
	Geotecnia	Clasificación, peso específico	adi, kg/m ³
	Hidrología	Precipitaciones, caudales	mm, m ³
	Velocidades	Velocidad del flujo de detritos	m/s
	Volumen	Volumen alcanzado por el flujo	m ³
Análisis de susceptibilidad (V.D)	Peligro	Periodo de retorno	años
	Vulnerabilidad	Material de las casas	%
	Riesgo	Peligro, vulnerabilidad	---

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Método de la investigación

En cuanto a metodología, se usó un modelo inductivo, debido a los antecedentes relatados por la población sobre el desborde de la quebrada ante un flujo inusual de caudal sólido y líquido. Las precipitaciones de corta duración y frecuencia, pero de alta intensidad son comunes en estas zonas, lo cual desencadena una inesperada activación de la quebrada, incluyendo remociones de masas. Explicadas las causas, se realizó la evaluación de riesgos respectiva para identificar a los lotes susceptibles a sufrir daños según la metodología Saaty propuesta por el CENEPRED (2015).

3.2. Tipo y nivel de la investigación

La presente investigación es de tipo descriptivo, según las definiciones de Hernández, Fernández y Baptista (2014): “Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (p. 92). El flujo de detritos en la quebrada San Carlos es el principal objeto de estudio, por lo cual se deberá realizar una caracterización precisa de la zona en ámbitos como la geología, geotecnia, hidrología, topografía y catastro, para lograr establecer el nivel de amenaza a la que están expuestos los pobladores vulnerables. Es a la vez explicativo porque no está limitada a la descripción de conceptos y/o fenómenos ni su relación, sino que están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). El origen de los flujos de detritos se ve influenciada por el tipo de suelo predominante en la zona, por lo cual no solo se realizará una investigación bibliográfica de las propiedades geotécnicas y geológicas de la zona, sino que se harán ensayos de mecánica de suelos mediante calicatas para obtener las características precisas del sector en estudio. Además de identificar a la precipitación como el factor desencadenante de estos flujos, se hizo un estudio hidrológico según la información disponible en la estación más cercana (Estación Cañete) para así explicar el origen y la composición de los flujos de detritos.

Esquema de variables

M → V. I → V. D

M: Muestra.

V.I: Variable independiente.

V.D: Variable dependiente.

3.3. Diseño de la investigación

Debido al objeto de estudio y su finalidad, la investigación es del tipo no experimental “lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 152). Dicho fenómeno viene dado por el flujo de detritos en el AA. HH San Carlos, el cual será modelado y simulado numéricamente para conocer sus características e impacto en la población vulnerable.

Como se analizó una serie de datos temporales, tanto para la data hidrológica y geológica, cumple los requisitos para ser catalogada como longitudinal.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población corresponde a los fenómenos de flujos de detritos ocurridos y/o por ocurrir para las precipitaciones máximas estimadas.

3.4.2. Muestra

La muestra es el volumen de remoción de masas estimado por la simulación en el software RAMMS que pone en riesgo a los pobladores del AA. HH San Carlos.

3.5. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

3.5.1. Bibliografía

Los documentos y/o información obtenida sobre la zona en estudio, de las áreas de topografía (general), hidrología, geología, geotecnia fueron recabadas de geoportales de entidades como MINEDU, SENAMHI, ANA, INGEMMET, INEI, ZEE, CENEPRED, MINAM y USGS.

3.5.2. Encuestas

Las encuestas tuvieron un rol fundamental dentro de la investigación, pues proporcionarán información demográfica de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto, sobre el conocimiento y/o cultura de prevención de riesgos naturales, servicios básicos e información de las casas donde habitan. Todo esto para realizar un análisis minucioso de la vulnerabilidad de la población. El tipo de encuesta elegida fue del tipo descriptiva, pues estas encuestas buscan describir en qué situación se encuentra determinada población de muestra.

3.5.3. Observación

La observación del fenómeno del flujo de detritos de eventos pasados, estado actual de la población y condiciones del terreno darán una mejor confiabilidad de los resultados de simulación obtenidos, así como también la correcta elaboración del análisis

multicriterio de Saaty. Teniendo todo este concepto se puede deducir que se hará uso de la técnica de observación indirecta porque no se está en contacto directamente con el fenómeno.

3.6. Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos

En principio, toda la información se obtuvo de entidades formales como las mencionadas y con apoyo de los dirigentes de la zona. En cuanto a los estudios propios como el de mecánica de suelos e hidrología, serán respaldados por profesionales expertos en las ramas.

3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

- a) Realizar la identificación general y topográfica de la zona mediante los softwares Google Earth Pro y ArcMap 10.5.
- b) Solicitar información a entidades formales para una mejor calidad de trabajo.
- c) Elaborar los mapeos geológicos, topográficos, geomorfológicos y catastrales para identificar a la población vulnerable.
- d) Realizar estudios de mecánica de suelos, hidrológico y demográfico del sector San Carlos.
- e) Simular el fenómeno de flujo de detritos en el software RAMMS debris flow y posteriormente calibrarlo, identificando las áreas afectadas.
- f) Determinar los niveles de peligrosidad según metodología Saaty, así como elaborar las matrices de vulnerabilidad y riesgo.
- g) Realizar los mapeos finales de peligro, vulnerabilidad y riesgo según los factores previamente mencionados.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

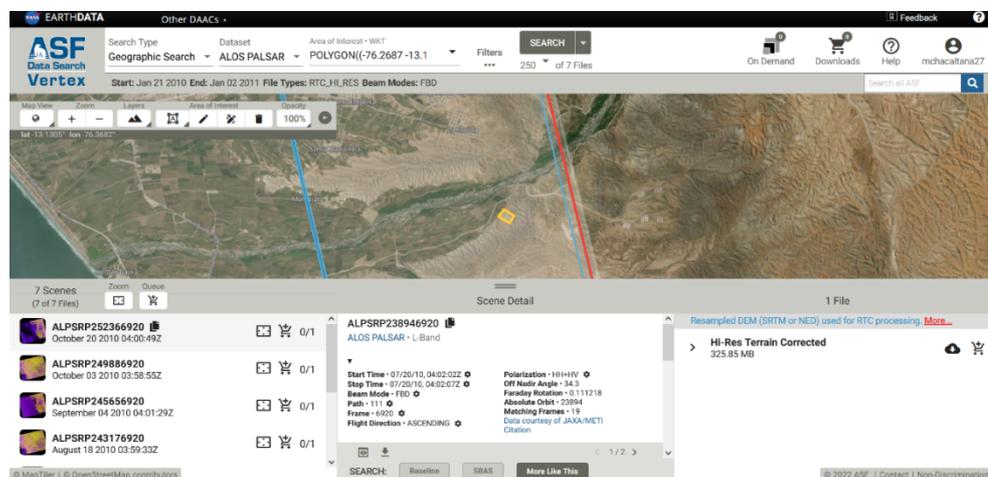
4.1. Recopilación de datos

4.1.1. Identificación de gabinete

Para la identificación, se trabajó con la imagen ALOS PALSAR tal como se muestra en la Figura 25, proveída por el geoportal Alaska Satellite Facility (ASF – NASA). Se eligió este modelo digital de elevación (véase Figura 26) porque ofrece una de las mejores resoluciones en cuanto a tamaño de celda (cellsize: 12.5 metros) en comparación a las imágenes de radar (cellsize: 30 metros).

Figura 25

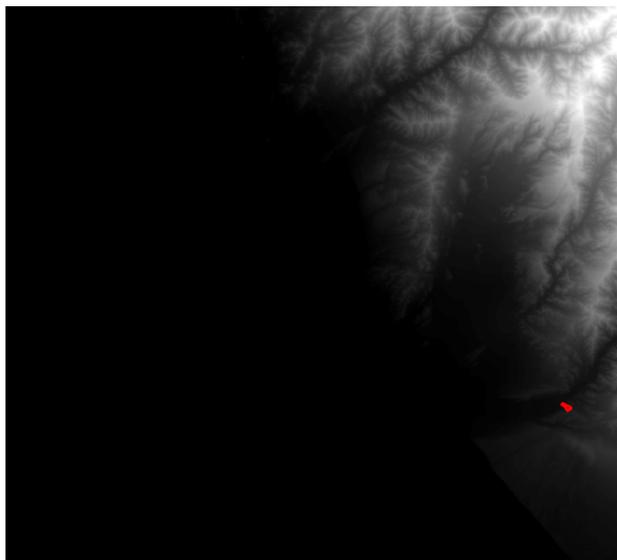
Descarga del DEM mediante ASF Data Search Vertex



Nota. Elaboración propia.

Figura 26

Imagen ALOSPALSAR descargada



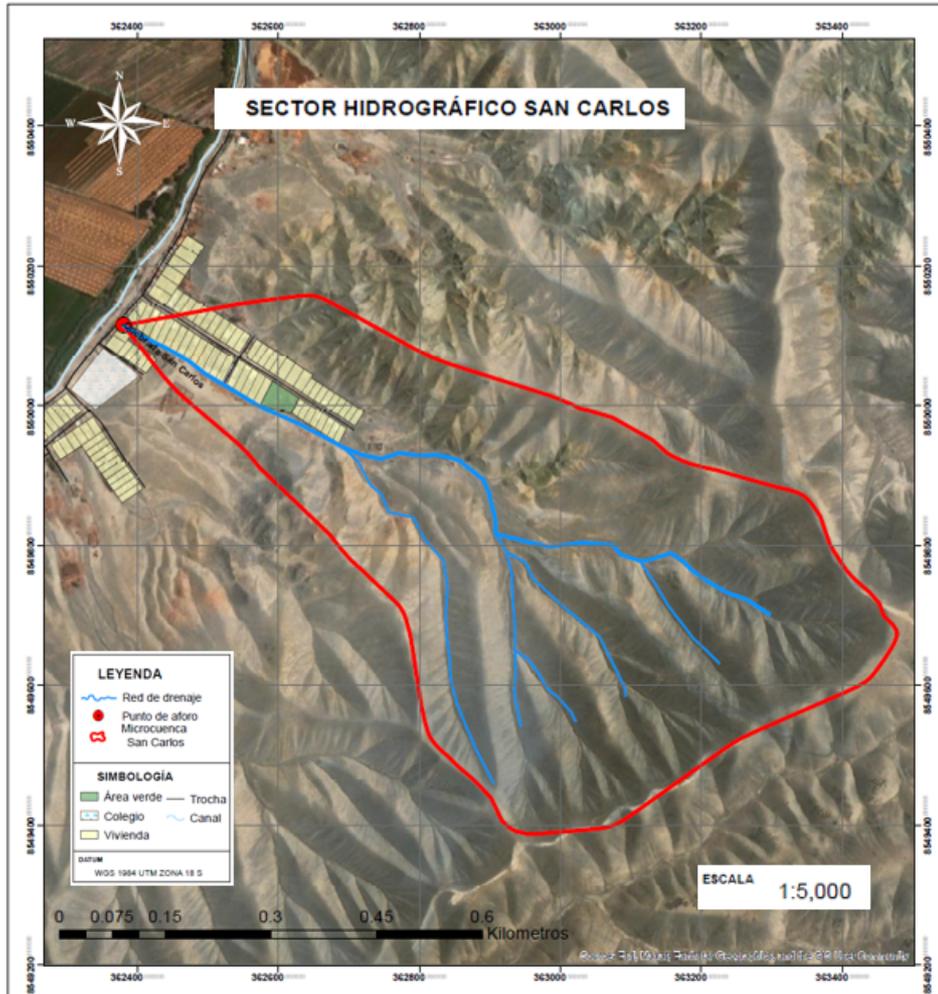
Nota. Elaboración propia.

a) Delimitación

Teniendo la imagen del satélite (AP_23894_FBD_F6920_RT1) y cargada al entorno de ArcMap 10.5, se procedió a delimitar la zona de estudio según lo mostrado en la Figura 27 con la extensión ArcHydro Tools, realizando las correcciones en cuanto a los afluentes con base en la imagen satelital, brindando el siguiente resultado:

Figura 27

Delimitación hidrográfica del sector San Carlos Alto

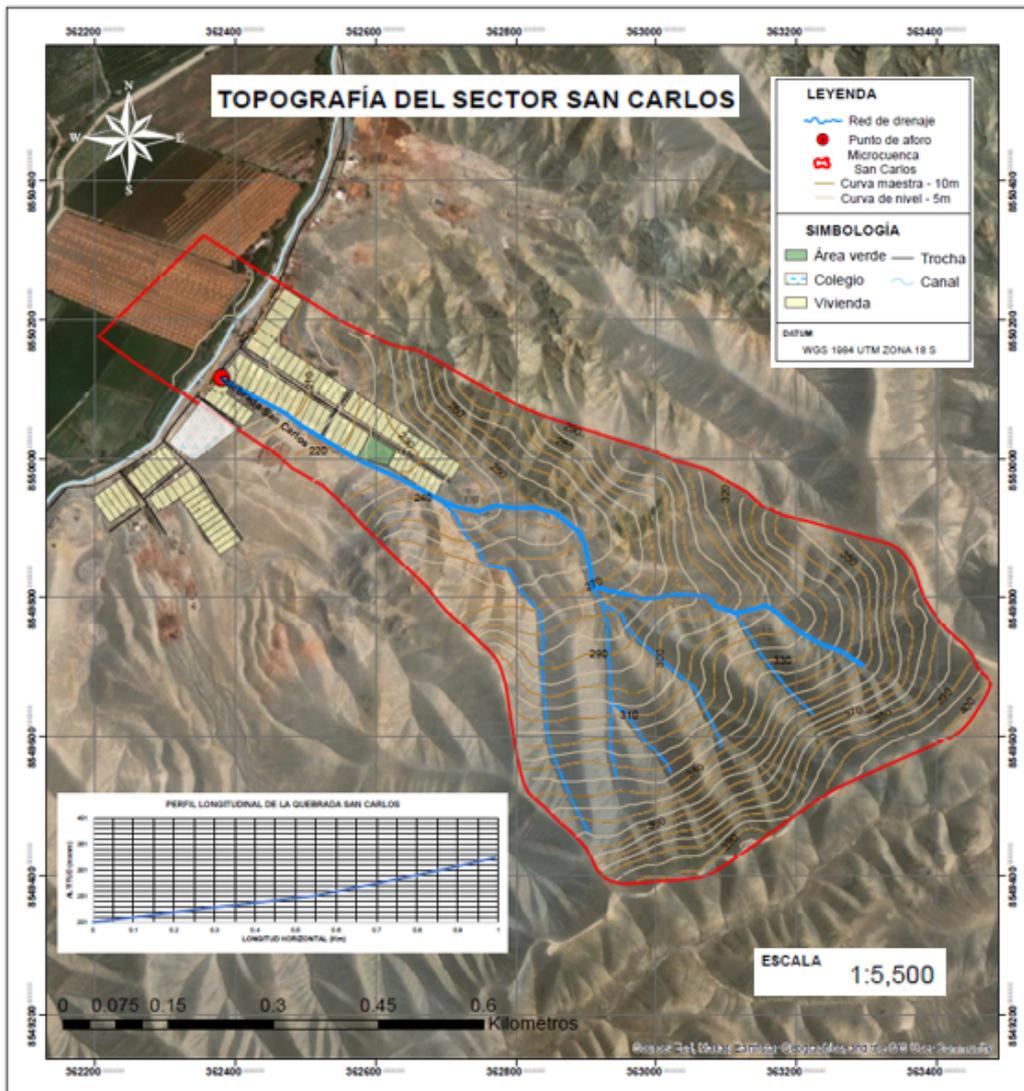


Nota. Elaboración propia.

b) Topografía

Con el sector hidrográficamente delimitado, se hizo uso de la herramienta Contour para trazar las curvas de nivel principales y secundarias, con una equidistancia de 10m y 5m respectivamente (véase Figura 28), con lo cual se pudo identificar las elevaciones importantes como cotas del río principal y de la población.

Figura 28
Topografía del sector San Carlos Alto

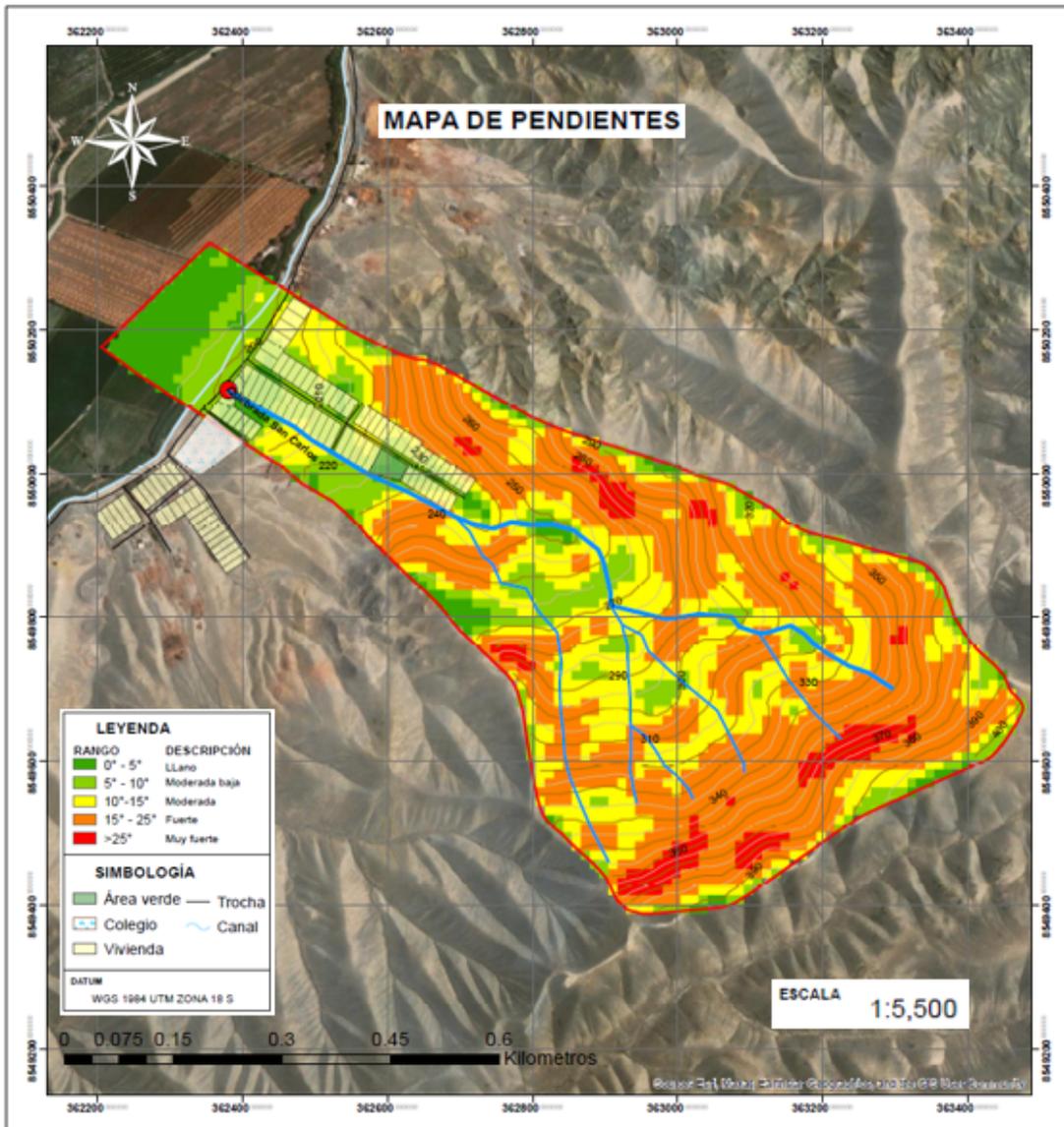


Nota. Elaboración propia.

c) Pendientes

Las pendientes fueron halladas mediante la herramienta Slope (en porcentaje) con el modelo digital de elevaciones previamente recortado al área de estudio (véase Figura 29). Las pendientes mínima y máxima en porcentaje fueron de 0 a 64.6% respectivamente:

Figura 29
Ráster de pendientes en porcentaje del sector San Carlos Alto

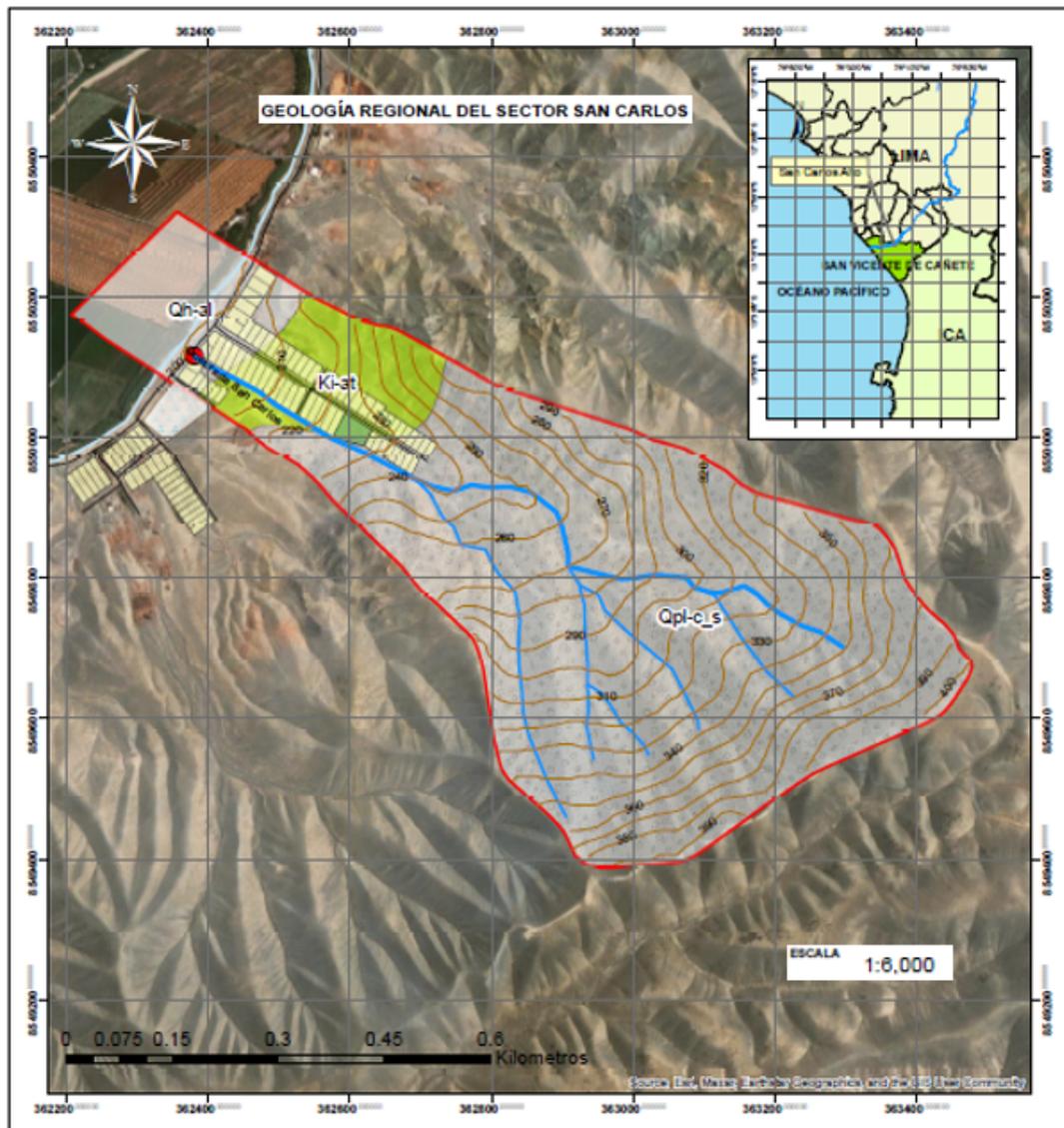


Nota. Elaboración propia.

d) Geología regional

Para la identificación regional de la geología presente en la zona, se realizó la búsqueda de la zona de estudio en el geoportal del Instituto Geológico, Mínero y Metalúrgico (INGEMMET) donde se encontró a la hoja 27-k4 (1:50 000) a la cual se le recortó la zona de estudio (véase figura 30).

Figura 30
Geología regional según INGEMMET



Nota. Elaboración propia.

Formación Cañete Superior (Qpl-c_s): Es la formación predominante (89.8%) en el sector San Carlos Alto, así como en toda la zona. El INGEMMET (1993) afirma: “Se puede describir como un conjunto litológico de conglomerados semiconsolidados con clastos redondeados y sub-redondeados de litología variada, en una matriz areno – limosa y con algunos sedimentos areno – limosos” (p. 66). En ese sentido la información brindada por la entidad fue corroborada mediante la visita a campo, encontrando sedimentos arenosos a lo largo de toda la subida a la parte alta del sector, dicha formación se encontraba meteorizada dando como resultado el volcamiento de algunas piedras grandes de la zona de cabecera de la quebrada, ésta formación es continental y representa

los conos de deyección aluvional más antiguos; en edad se le asigna la eratema Cenozoica, sistema Neógeno y serie Pleistoceno.

Formación Atocongo (Ki-at): Se encuentra ocupando la parte media del sector (11.06%) y la zona donde habita la mayor parte de la población. Esta formación consiste de calizas de un color gris en capas gruesas y está ubicada en las zonas costeras como Asia, Cerro Azul, Quilmaná y Cañete, además presenta en algunos casos una secuencia calcárea hasta grandes profundidades, compuesta por una unidad basal de calizas areniscas grises (INGEMMET, 1993). Fue reconocida en campo de acuerdo a su color oscuro, distintivo de las formaciones colindantes y a los sedimentos presentes, en edad se le asigna la eratema Mesozoica, sistema Cretáceo y serie Inferior.

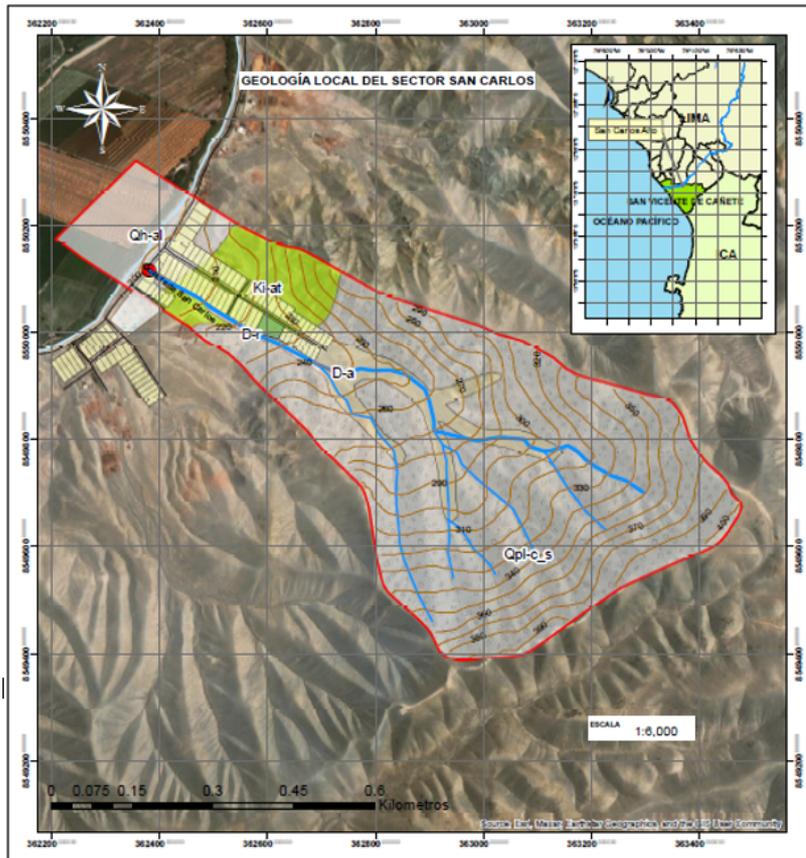
Formación Depósitos Aluviales (Qh-al): Ocupa la parte baja o de descarga del sector San Carlos Alto donde se encuentran campos de cultivo de frutas. Estos depósitos están ampliamente distribuidos en las pampas costeras, representado por los conos de deyección de los ríos Chincha, Cañete, Pocotó, entre otros; consistiendo por gravas, arenas y material limo arcilloso con gravas redondeadas de composición variada (INGEMMET, 1993). En la visita a campo se observó que esta zona era rica en material orgánico, por lo cual fue aprovechado para la práctica de agricultura por parte de los pobladores de la zona.

Todas las formaciones fueron contrastadas con información de campo y verificadas mediante la imagen procesada del satélite peruano PeruSAT-1.

e) Geología local

Para la identificación de la geología local se tomaron todas las formaciones obtenidas del análisis de geología regional, pero con la diferencia del añadido de dos nuevas formaciones encontradas en campo, lo cual fue plasmado en la Figura 31.

Figura 31
Geología local de sector San Carlos Alto



Nota. Elaboración propia.

Formación Depósitos Recientes (D-r): Corresponden al badén y a sus restos de excavación por parte de la población, los cuales se han asentado a los bordes del mismo. Dichos restos no han sido recogidos ni llevados a un centro de acopio de desmonte desde la actividad (2017) y forman parte de la población, por lo cual ha sido reconocido como la formación más peligrosa por su inestabilidad.

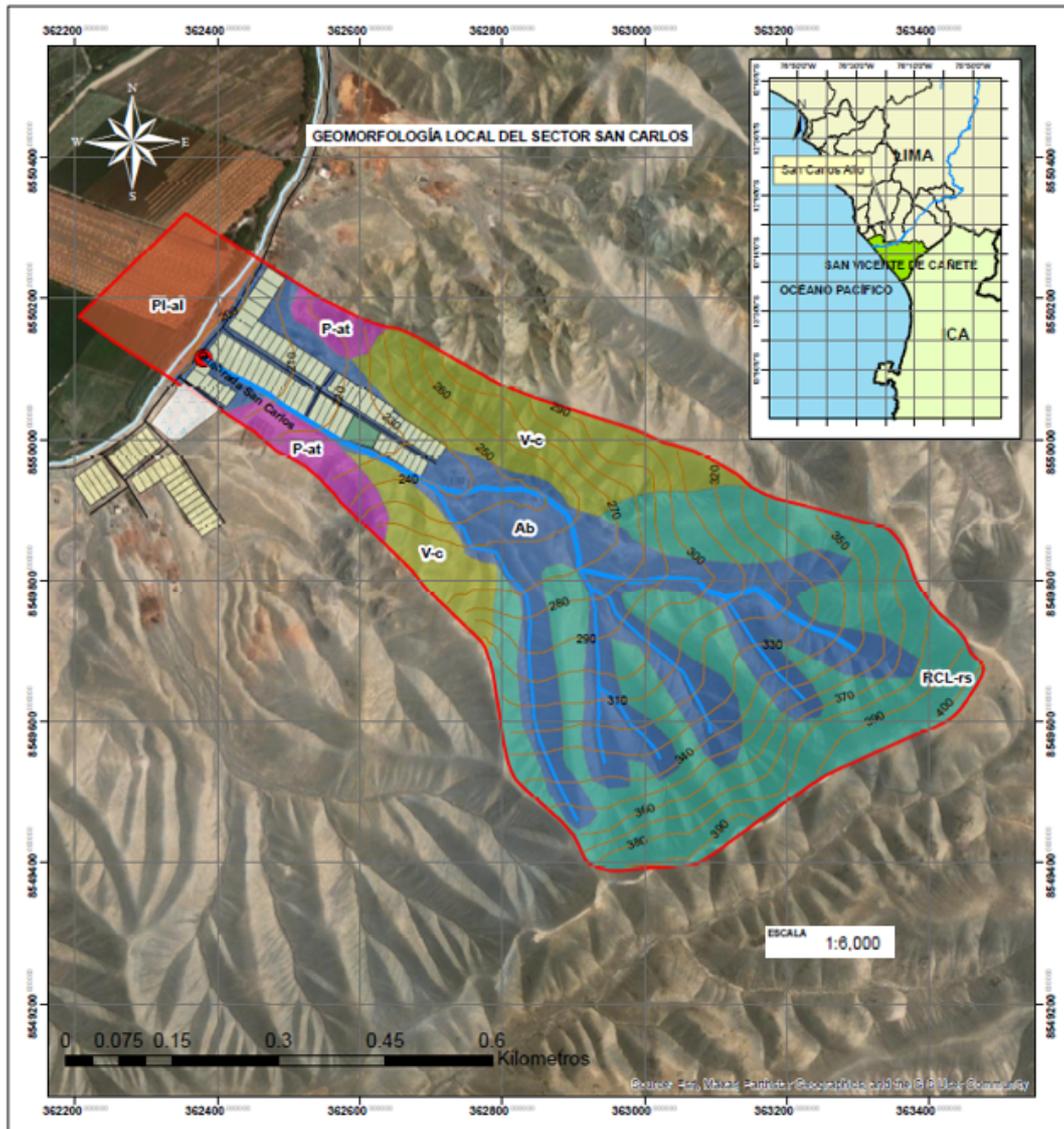
Formación Depósitos Antiguos (D-a): Lo conforma todas las huellas de detritos correspondientes a eventos pasados, la población ha removido estos restos desde la zona de descarga hasta el final de la lotización, por lo cual se vio conveniente considerarlo como una formación. En la inspección de campo, se encontraron capas de material gravoso correspondiente a los fenómenos de muchos años anteriores (incluso antes de la actividad humana en la zona).

f) Geomorfología local

Para identificar las formaciones geomorfológicas se hizo uso de imágenes satelitales de Google Earth Pro y PeruSAT-1, el mapa geomorfológico nacional del INGEMMET y

bases de datos disponibles en el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID), obteniendo el mapa mostrado en la Figura 32

Figura 32
Geomorfología local del sector San Carlos Alto



Nota. Elaboración propia.

Colina lomada en roca sedimentaria (RCL-rs): Fue identificado como todas las zonas del sector donde discurre la precipitación de acuerdo a las huellas existentes. “Es un relieve modelado en rocas sedimentarias reducidos por procesos denudativos, conforman elevaciones alargadas, estas geformas se identificó al suroeste del sector afectado por el movimiento de la zona urbana” (INGEMMET, 2021, p. 15). Principalmente se encuentra en la cabecera de la parte más alta de la quebrada.

Abanico de piedemonte (Ab): Se identificó por su cantidad de aporte de material detrítico (grandes huellas de eventos pasados), además de sus pendientes, morfología y ubicación. Es una forma de relieve (depósitos) cuyo origen radica en los piedemontes y está asociado a las descargas de sedimentos de un curso de agua (INGEMMET, 2021). Dado que el sector presenta una corriente líquida efímera, todo el material de detritos proviene de la meteorización de la roca y transporte eólico.

Vertiente o piedemonte aluvio – torrencial (P-at): Identificado a partir de las condiciones del terreno en la cual se encontraban. El INGEMMET (2021) afirma: “Son el resultado de la acumulación de material movilizado a manera de flujos de detritos canalizados y no canalizados” (p. 16). En dichas zonas se encontraron pequeñas huellas de huaycos de eventos muy antiguos, además de gran cantidad de piedras transportadas por acción eólica.

Llanura o planicie aluvial (Pl-al): Identificado a partir del uso de suelo y pendiente. Son ubicados cerca del cauce y llanura de inundación fluvial, además de ser planos (pendiente de 1° a 5°) con una extensión limitada a los valles (INGEMMET, 2017). Tal como se indicó en su geología, estos campos están completamente abarcados por la agricultura de los pobladores, debido a la gran cantidad de material orgánico y poca pendiente.

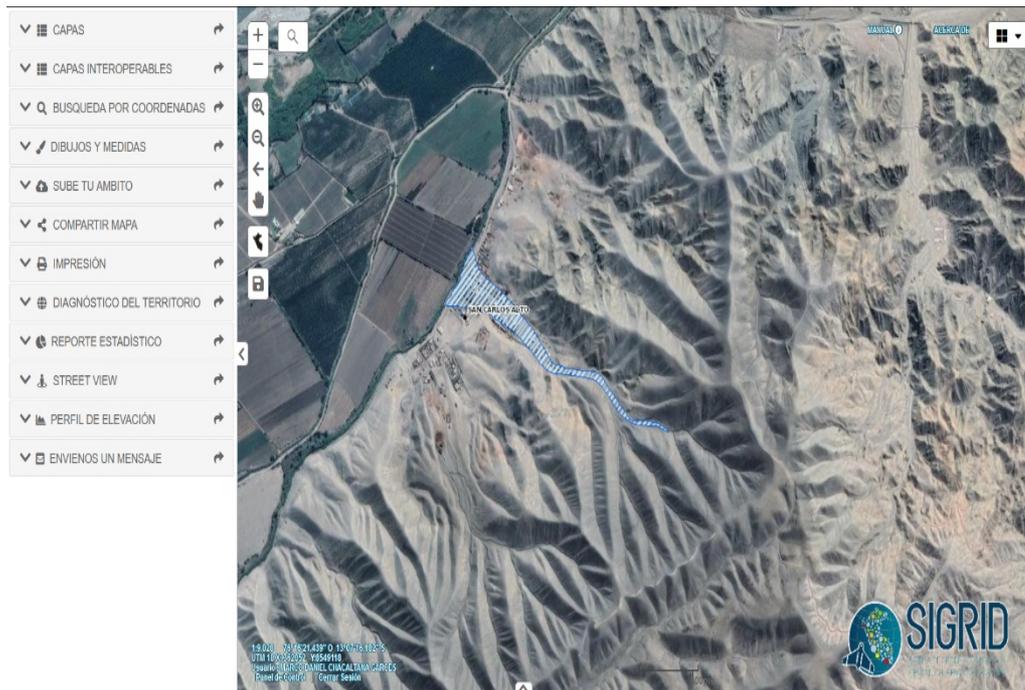
Vertiente coluvial de detritos (V-c): Corresponde a las zonas accidentadas con gran cantidad de material gravoso. Están originadas por la acumulación de depósitos inconsolidados (presentes en laderas de montañas) en forma de taludes o detritos de edad reciente (INGEMMET, 2019). Representan un área colindante a la población, pero debido al tamaño de las piedras depositadas, no generan un peligro considerable para las casas.

g) Plataforma SIGRID

La plataforma del Sistema de Información para la Gestión de Riesgo de Desastres (SIGRID) muestra en su entorno todos los antecedentes de eventos y/o estudios realizados a las zonas, con lo cual se pudo ubicar rápidamente el sector San Carlos (véase Figura 33).

Figura 33

Identificación de información mediante la plataforma SIGRID



Nota. Elaboración propia.

Lo cual fue muy útil para rápida identificación de información sobre el sector y sus investigaciones relacionadas, además el entorno presenta la opción de realizar un mapa con todas las capas relacionadas a la zona de estudio (ver Anexo 6).

4.1.2. Identificación de campo

a) Demografía

La Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto no se encuentra en los geoportales de censos de las entidades encargadas y no tiene informes actuales sobre el estado de su población, por lo cual se elaboró una encuesta simple para conocer la condición y calidad de vida de los pobladores, se realizaron preguntas abordando la dimensión social, económica y ambiental. Debido a la cantidad de lotes, personas y problemas políticos en la zona se tomó la muestra de 1 persona por lote con la condición que se encuentren dentro del área afectada dentro del evento ocurrido en el año 2015. Para el desarrollo se necesitó:

- i) 2 tableros de madera.
- ii) 50 encuestas.
- iii) Lapiceros y plumones.

Con el apoyo de los dirigentes presentes, se procedió a realizar las encuestas a un total de 25 lotes y a un sondeo total de la condición de las viviendas (véase Figura 34).

Figura 34

Reunión con los dirigentes vecinales de la Asociación de Vivienda Popular San Carlos Alto



Nota. Elaboración propia.

Los dirigentes presentaron los documentos disponibles de la zona, entre los que figuraban dos mapas de lotización, los cuales fueron digitalizados en el software AutoCAD y posteriormente exportados al ArcMap para su análisis y codificación según lo encontrado. A continuación, se presentan en las Figuras 35 y 36 las imágenes de la zona más representativas.

Figura 35

Vista general de la quebrada



Nota. Elaboración propia

Figura 36
Lotes vulnerables del sector San Carlos Alto



Nota. Elaboración propia.

b) Geotecnia

En base a las imágenes satelitales observadas, tanto del servidor Google Earth Pro como de las imágenes brindadas por la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA) se pudieron obtener 3 puntos de interés para realizar las calicatas respectivas, para las cuales se necesitó:

- i) 1 aplicativo SIGRID Collect (GPS).
- ii) 1 wincha de 3 metros.
- iii) 2 lampas.
- iv) 2 picos.

Los ensayos de mecánica de suelos estarán en su totalidad a cargo de la empresa TECNOLABPERÚ S.A.

A continuación, se presentan las características observadas de cada calicata:

i) Calicata C – 01: Pertenece a la zona de estrechamiento entre los dos principales afluentes que dan origen a la quebrada San Carlos (362707.002N, 8549930.25E, 220.25Z), se tomó en ese punto debido a su ubicación para la futura y posible implementación de soluciones estructurales para mitigar el flujo de detritos (véase Figura 37).

Figura 37
Ubicación de la calicata C-01



Nota. Elaboración propia.

Durante la excavación manual (véase Figura 38) se encontró una gran cantidad de arenas con presencia de finos, además de material granular con piedras angulosas arrastradas posiblemente por eventos pasados según la Figura 39, teniendo una compacidad media y un contenido de humedad aparentemente nulo.

Figura 38
Toma de muestra de la calicata C – 01



Nota. Elaboración propia.

Figura 39
Interior de la calicata C – 01



Nota. Elaboración propia.

Para esta excavación se llegó a la profundidad proyectada de 1.50m y se extrajo un total de 40kg para los ensayos de laboratorio y una botella de muestra lo menos alterada posible para obtener el contenido de humedad. Los ensayos realizados para la muestra fueron: Granulometría (ASTM D6913-17) además de las propiedades básicas del suelo y sus límites.

Otra de las consideraciones más importantes de la elección del punto de toma de muestra, fue el entorno en el cual se encontraba, lo cual se manifiesta en la Figura 40.

Figura 40

Indicios de flujos de detritos cercanos a la calicata C-01



Nota. Elaboración propia.

En este punto se pueden ver de fondo piedras grandes (bolonería) así como también material granular suelto (véase Figura 41). En la parte de atrás se marca la huella de detritos ya seca y compactada naturalmente, también algunos restos de material de viviendas antiguas.

Figura 41

Restos de excavación del badén como medida de mitigación propia



Nota. Elaboración propia.

Se pudo observar mucho material granular suelto producto de la meteorización de roca y canto rodado, en la margen izquierda del badén se visualizaron depósitos de la excavación (reciente)

ii) Calicata C – 02: La muestra corresponde a la huella de detritos encontrada al recorrer la zona (362884.23N, 8549834.49E, 241.08Z) se tomó en este punto para poder realizar la caracterización completa del flujo de detritos de eventos pasados (véase Figura 42).

Figura 42

Ubicación de la calicata C – 02



Nota. Elaboración propia.

Durante la excavación manual se encontró una combinación entre material granular y arenas (véase Figuras 43-44), las actividades de recolección de muestra en este punto fueron los más difíciles debido a la densa compacidad de la huella, de igual manera un contenido de humedad nulo y se observó un cambio de estrato a los 0.70m de profundidad (ancho de la huella)

Figura 43

Entorno de muestra de la calicata C – 02



Nota. Elaboración propia.

Figura 44

Toma de muestra de la calicata C – 02



Nota. Elaboración propia.

La calicata tuvo una profundidad total de 1.10m, debido a que se encontró una roca muy dura para ser excavada manualmente, se extrajo un total de 35kg de material y una botella de material lo menos alterado posible para hallar el contenido de humedad. Los ensayos realizados fueron: Granulometría (ASTM D6913-17), propiedades básicas del suelo y Corte Directo (ASTM D3080) en condiciones saturadas, para conocer las características del flujo de detritos en movimiento.

En la inspección de campo cercana a la toma de muestra se encontraron restos de viviendas, según lo mostrado en la Figura 45.

Figura 45

Huella de detritos y viviendas destruidas en alrededores de la calicata C – 02



Nota. Elaboración propia.

En esta zona se encontraron mucho material de viviendas antiguas, por comentarios de pobladores anteriormente fueron ranchos de crianza de animales, pero por los flujos de detritos en la zona fueron abandonadas y destruidas en el año 2015 (véase Figura 46).

Figura 46

Línea de quebrada seca desde la parte media del sector San Carlos



Nota. Elaboración propia.

Un panorama más amplio de la huella natural de detritos en la zona como amenaza al C.P San Carlos, dentro de esta zona se encontró mucho material gravoso suelo y disperso por todo el terreno (véase Figura 47), probablemente por deposición eólica de la meteorización de las rocas y boconerías.

Figura 47

Huella de detritos y bolonería cercana a la calicata C-02.



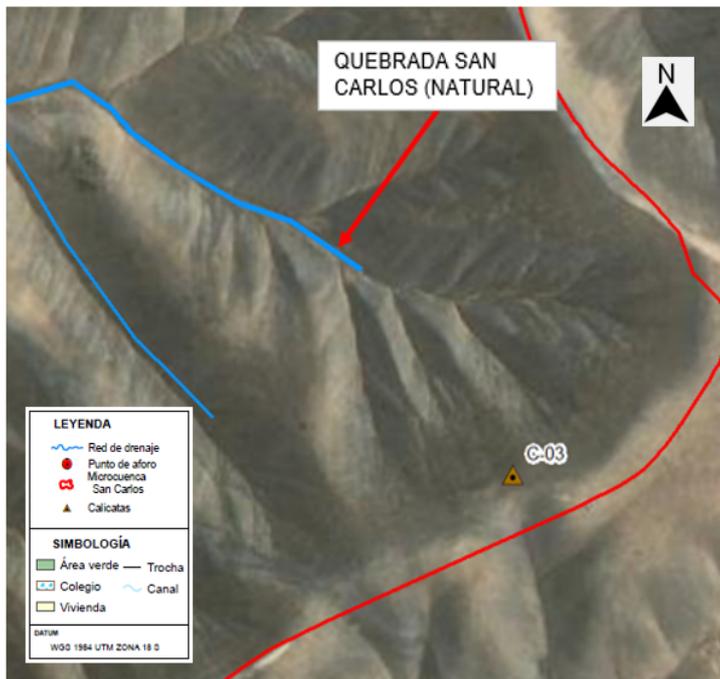
Nota. Elaboración propia.

En este punto de la inspección se observó una gran huella de detritos proveniente de la parte alta, como consecuencia de una precipitación anómala. La huella se encontraba totalmente seca y con una compacidad muy densa, a su vez se aprecian piedras muy grandes las cuales fueron descartadas en el análisis granulométrico

iii) Calicata C – 03: La muestra corresponde al material predominante en los cerros (363371.59N, 8549603.78N, 356.74Z), aparente generador de barro y génesis del flujo de detritos, por lo cual es conveniente realizar su análisis (véase Figura 48).

Figura 48

Ubicación de la calicata C – 03



Nota. Elaboración propia.

En los trabajos de excavación se observó una predominancia de arenas y finos, muy poca cantidad de grava (mayormente en la superficie, suelta) y una compacidad del terreno media a densa. En esta zona no se encontró huella de flujo de detritos por su altura (véase Figura 49).

Figura 49
Subida a la parte alta del sector



Nota. Elaboración propia.

En la ruta de subida a la parte alta se pudo observar material pedregoso de todo tamaño a lo largo del camino según lo mostrado en la Figura 50. En el caso de los cerros se identificó un material predominante como manto, de la cual se obtuvo la muestra.

Figura 50
Toma de muestra de la calicata C – 03



Nota. Elaboración propia.

La calicata tuvo una profundidad total de 0.55m, debido a que se encontró una roca muy dura para ser excavada manualmente, se extrajo 30kg de material para los ensayos y una botella de muestra lo menos alterada posible para obtener el contenido de humedad. Los ensayos realizados fueron: Granulometría (ASTM D6913-17), propiedades básicas del suelo y Corte Directo (ASTM D3080) en condiciones saturadas, para conocer las características del flujo de barro en movimiento.

Adicionalmente, en esta zona se pudo observar a la formación geológica predominante mostrada en la Figura 51.

Figura 51

Roca meteorizada



Nota. Elaboración propia.

Aquí se observó una gran cantidad de roca propensa a la fractura y meteorización. Este tipo de geología es la predominante en la zona, incluyendo los cerros y demás. Sigue apareciendo material granular suelto (Geología: Formación Cañete Superior).

CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Estudio geomorfológico

5.1.1. Información sobre la unidad

La principal información de la unidad se muestra en la Tabla 10:

Tabla 10
Información sobre la unidad hidrográfica

Parámetro	Propiedad
Nombre	Quebrada San Carlos
Departamento	Lima
Provincia	Cañete
Distrito	San Vicente de Cañete
Ubicación	San Carlos Alto
E (m)	362965.02
N (m)	8549781.70

Nota. Elaboración propia.

Para el cálculo de todos los parámetros geomorfológicos se hizo uso de las fórmulas usadas en el estudio "Evaluación de los recursos de la Cuenca del Río Rímac" elaborada por la Autoridad Nacional del Agua en el año 2010, usando como base bibliográfica publicaciones de los autores Máximo Villón, Wendor Chereque y entidades nacionales e internacionales.

5.1.2. Parámetros de forma

Para realizar una correcta caracterización por forma, se calcularon los parámetros mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11*Parámetros de forma del sector San Carlos*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área	A	0.404	km ²
Perímetro	P	2.868	km
Longitud del río principal	L	1.092	km
Ancho promedio	Ap	0.370	km
Índice de Gravelius	Kc	1.273	---
Factor de forma	Ff	0.338	---
Lado mayor rectángulo equivalente	Lmay	1.049	km
Lado menor rectángulo equivalente	Lmen	0.385	km
Radio de circularidad	Rc	0.617	---

Nota. Elaboración propia

a) Área: Debido a que el sector delimitado arroja un valor de 0.404 km², se le puede categorizar como una microcuenca, según la Tabla 12 de clasificación de Campos Aranda (1992).

Tabla 12*Clasificación de tamaños de cuencas*

Rangos de áreas (km ²)	Clasificación
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia – pequeña
500 a 2500	Intermedia – grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Nota. Campos Aranda (1992)

b) Índice de Gravelius (Kc): Para Gaspari et al. (2012) la microcuenca San Carlos posee una forma oval redonda a oval oblonga (véase Tabla 13).

Tabla 13
Clasificación del Índice de Compacidad de Gravelius

Kc	Clasificación
1 – 1.25	Casi redonda a oval redonda
1.25 – 1.5	Oval redonda a oval oblonga
1.5 – 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Rectangular

Nota. Gaspari et al. (2012)

c) Factor de forma (Ff): Según la clasificación de Pérez (1979) el sector en estudio tiene una forma ligeramente alargada, con un moderado potencial a crecientes y producción sostenida de caudales (véase Tabla 14).

Tabla 14
Clasificación del Factor de Forma

Ff	Clasificación
< 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 – 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

Nota. Pérez (1979)

d) Radio o Índice de Circularidad (Rc): Debido a que el valor obtenido es de 0.617, se le categoriza como oval, según Miller (véase Tabla 15). Con un alto potencial a crecientes y producción sostenida de caudales.

Tabla 15
Clasificación del Índice de Circularidad

Ic	Clasificación
0 – 0.25	Oblonga
0.25 – 0.50	Ovalada
0.50 – 0.75	Oval
0.75 – 1	Circular

Nota. Miller (1980)

Como conclusión se puede decir que sector hidrológico San Carlos es una quebrada de forma ovalada, con moderado potencial a crecientes y producción sostenida de caudales. Además de tener una mediana tendencia a inundaciones (Villela y Matos, 1975) según la Tabla 16.

Tabla 16
Correlación ambiental de parámetros geomorfológicos

F	Fc	Kc	Formato	Interpretación ambiental
1 – 0.75	1 – 0.8	1 – 1.25	Circular	Alta tendencia a inundaciones
0.75 – 0.5	0.8 – 0.6	1.25 – 1.50	Ovalada	Mediana tendencia a inundaciones
0.50 – 0.3	0.6 – 0.4	1.50 – 1.70	Oblonga	Baja tendencia a inundaciones
< 0.3	< 0.4	> 1.70	Larga	Propensa a la conservación

Nota. Villela y Matos (1975)

5.1.3. Parámetros de relieve

a) Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

Con el modelo digital de elevaciones procesado, se procedió a realizar la reclasificación en 8 intervalos según la cota más alta y la más baja (402msnm y 201 msnm respectivamente) hallando el área entre cada curva, se calculó mediante las Tablas 17 y 18.

Tabla 17*Parámetros iniciales de la curva hipsométrica*

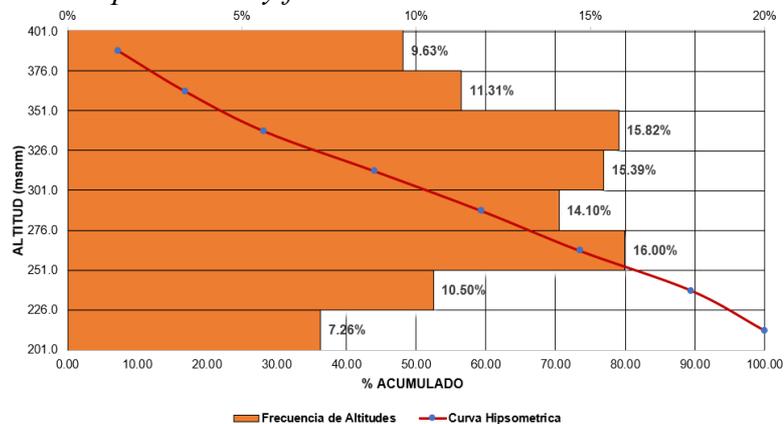
Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad
Cota mínima	Hmay	201	msnm
Cota máxima	Hmin	402	msnm
Numero de intervalos	Nc	8	---

Nota. Elaboración propia**Tabla 18***Cálculo de la curva hipsométrica y polígono de frecuencias*

N°	Cotas (msnm)		Cota media (msnm)	Área parcial (km ²)	% del total	Acum	% Acum
1	201.0	226.0	213.5	0.029	7.26	0.402	100.00
2	226.0	251.0	238.5	0.042	10.50	0.360	89.50
3	251.0	276.0	263.5	0.064	16.00	0.296	73.51
4	276.0	301.0	288.5	0.057	14.10	0.239	59.41
5	301.0	326.0	313.5	0.062	15.39	0.177	44.02
6	326.0	351.0	338.5	0.064	15.82	0.114	28.20
7	351.0	376.0	363.5	0.046	11.31	0.068	16.90
8	376.0	402.0	389.0	0.039	9.63	0.029	7.26

Nota. Elaboración propia.

Con la data anterior, se pudo elaborar la curva hipsométrica de la quebrada, mostrada en la Figura 52.

Figura 52*Curva Hipsométrica y frecuencia de altitudes**Nota.* Elaboración propia.

La curva hipsométrica calculada muestra que la quebrada San Carlos, se encuentra en una etapa de madurez o equilibrio, lo cual coincide con lo encontrado en campo pues los flujos de detritos no son muy habituales en la zona. Los resultados de la interpretación de la curva se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Resultados de la curva hipsométrica

Parámetro	Valor	Unidad
Altitud media	303.72	msnm
Altitud de frecuencia media	305.29	msnm
Altitud más frecuente	263.5	msnm

Nota. Elaboración propia

b) Pendiente media de la quebrada

Para el cálculo de este factor, se hizo uso de una ponderación por área según resultados del modelo digital de elevación recortado y procesado, elaborando el ráster de pendientes en porcentaje y reclasificándolo en 10 rangos, para luego calcular el área entre cada uno, los resultados se muestran en la Tabla 20:

Tabla 20

Resultados del MDE en ArcGIS

N°	Rango (%)		Promedio	Área (m ²)	Prom*Área
	Inferior	Superior			
1	0.00	8.25	4.12	32656.25	134645.16
2	8.49	14.56	11.52	53125.00	612146.11
3	14.76	20.40	17.58	63125.00	1109765.94
4	20.59	25.50	23.04	78281.25	1803848.90
5	25.61	30.07	27.84	67812.50	1887869.16
6	30.23	34.44	32.34	54843.75	1773394.15
7	34.53	39.01	36.77	34843.75	1281172.80
8	39.12	44.05	41.58	34843.75	1448814.35
9	44.18	49.82	47.00	24062.50	1130950.95
10	49.98	64.62	57.30	9687.50	555103.31

Nota. Elaboración propia.

Dando como resultado una pendiente media de la quebrada de 25.895%, para su clasificación se tomará en cuenta la tabla de rangos propuesta por Ortiz Vera (2004) mostrada en la Tabla 21

Tabla 21

Clasificación de pendientes medias

Pendiente (%)	Tipo de relieve
0 – 3	Plano
3 – 7	Suave
7 – 12	Mediano
12 – 35	Accidentado
35 – 50	Fuerte
50 – 75	Muy fuerte
> 75	Escarpado

Nota. Ortiz (2004).

Según la tabla, la quebrada San Carlos posee un tipo de relieve accidentado, lo cual aportaría en gran manera a la velocidad e impacto de los flujos de detritos durante los eventos. Esto ha sido comprobado en campo por comentarios de los pobladores, quienes aseguraron que el flujo fue a gran velocidad y de corta duración, además de encontrar huellas de detritos de mediana – baja profundidad en la zona.

c) Resumen y parámetros adicionales

Para completar la identificación geomorfológica de la quebrada, se procedieron a calcular parámetros adicionales según los agregados de la Tabla 22.

Tabla 22*Parámetros de relieve del sector San Carlos*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Altitud media	Hm	303.72	msnm
Altitud de frecuencia media	---	305.29	msnm
Altitud más frecuente	---	263.5	msnm
Pendiente media de la cuenca	Sm	25.89	%
Coefficiente de masividad	Cm	0.40	km/km ²
Coefficiente orográfico	Co	0.06	---
Coefficiente de torrencialidad	Ct	12.38	queb/km ²
Relación de elongación	Re	0.656	---

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la quebrada San Carlos se encuentra en una etapa de madurez hidrológica, además de tener un tipo de relieve accidentado (escarpado en partes altas), lo cual hace prosperar diversos climas y geologías.

5.1.4. Parámetros de la red hídrica

a) Pendiente media del río principal

Este factor es de vital importancia en la interpretación y modelamiento de los flujos de detritos, inundaciones y posteriores obras de mitigación (como encauzamientos). Debido a que se han identificado variaciones en la topografía, se optara por calcular este factor por el método de Taylor – Schwarz, cuya fórmula es la siguiente:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce principal (m/m)

n: Número de segmentos del cauce principal

L: Longitud horizontal del cauce principal (m)

ln: Longitud horizontal subdividida del cauce principal (m)

Sn: Pendiente de cada segmento del cauce principal (m/m)

Teniendo en cuenta la fórmula, se pudo elaborar la Tabla 23 para su cálculo.

Tabla 23

Cálculo de la pendiente media mediante Taylor Schwarz

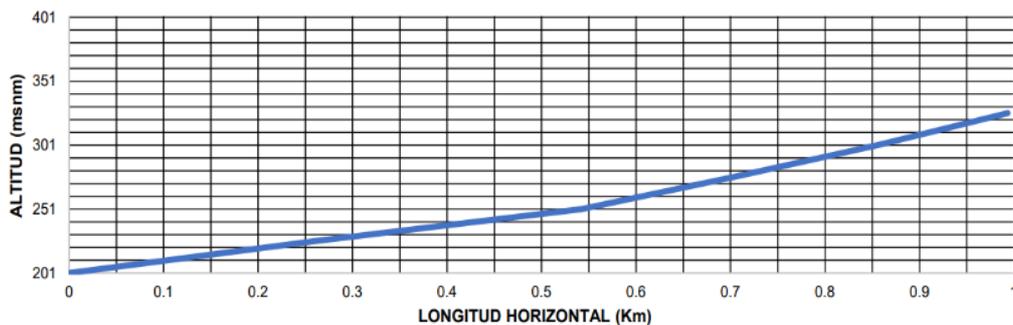
No	Cotas(msnm)		Long. hz (km)	Long acum (km)	S por tramo (m/m)	L/S ^{0.5}	S (m/m)	S (%)
1	201.0	226.0	0.261					
2	226.0	251.0	0.282					
3	0.261	0.096	0.841	0.125				
4	0.542	0.089	0.946					
5	0.702	0.156	0.406					12.49%
6	0.855	0.164	0.378	1.083	0.278	0.170		
7	0.993	0.181	0.325	1.083	0.000	0.000		
8	376.0	402.0	0.000	1.083	0.000	0.000		

Nota. Elaboración propia.

El resultado de 12.49% nos indica que el cauce principal de la quebrada San Carlos posee un relieve accidentado, según la tabla de Ortiz Vera (2004) previamente citada (véase Figura 53).

Figura 53

Perfil Longitudinal de San Carlos.



b) Resumen y parámetros adicionales

Para completar la identificación geomorfológica de la quebrada, se procedieron a calcular parámetros adicionales según los agregados de la Tabla 24.

Tabla 24*Parámetros de drenaje del sector San Carlos*

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Tipo de corriente		Efímera	
Número de orden de los ríos	O1	1.265	queb
	O2	0.173	queb
	O3	1.092	queb
Frecuencia de drenaje	Fr	19.808	km
Densidad de drenaje	Dd	6.265	km/km ²
Extensión media de escurrimiento superficial	E	0.160	km ² /km
Pend. Media del río ppal.	Sm	12.49%	%
Tiempo de concentración	Tc	9.479	min

Nota. Elaboración propia.

Para el cálculo del tiempo de concentración, se tomó la ecuación de Kirpich, recomendado para cuencas pequeñas mientras que la ecuación de California Culverts Practice es recomendada para cuencas montañosas y de pendientes muy elevadas, condición que no se cumple en el área de estudio.

Los valores de frecuencia y densidad de drenaje no se deben tomar en cuenta, debido a que el área es menor a la unidad, estos valores tienden a elevarse mucho, además al ser una quebrada con un tipo de corriente efímera, es muy raro verlas activas.

Se puede concluir que la quebrada San Carlos posee 3 grados de ramificaciones, siendo de grado 3 la quebrada que lleva el mismo nombre, la cual transporta detritos en eventos extremos.

5.2. Estudio hidrológico

5.2.1. Información sobre la estación

Para la elaboración del estudio hidrológico se tomaron en cuenta las estaciones más cercanas a la cuenca las cuales son Cañete y Sosci Cañete, debido a que esta última no contaba con datos, se tomó la primera para realizar los análisis respectivos (véase Figura 25)

Tabla 25*Información sobre la estación pluviométrica*

Parámetro	Propiedad
Nombre	Cañete
Departamento	Lima
Provincia	Cañete
Distrito	Imperial
Latitud S	13° 4' 29.1"
Longitud W	76° 19' 49.51"
Altitud (msnm)	116

Nota. SENAMHI (2022).

5.2.2. Data pluviométrica

a) Recolección de data

La data fue solicitada al SENAMHI mediante el expediente N° 2022 – 0003041, en el cual se solicitaba toda la data de precipitaciones máximas en 24 horas y la temperatura media diaria desde el año 1985 al 2022. Debido a que el pluviómetro solo contaba con datos hasta el año 2010 se procedió a realizar el análisis hasta esa fecha según la Tabla 26.

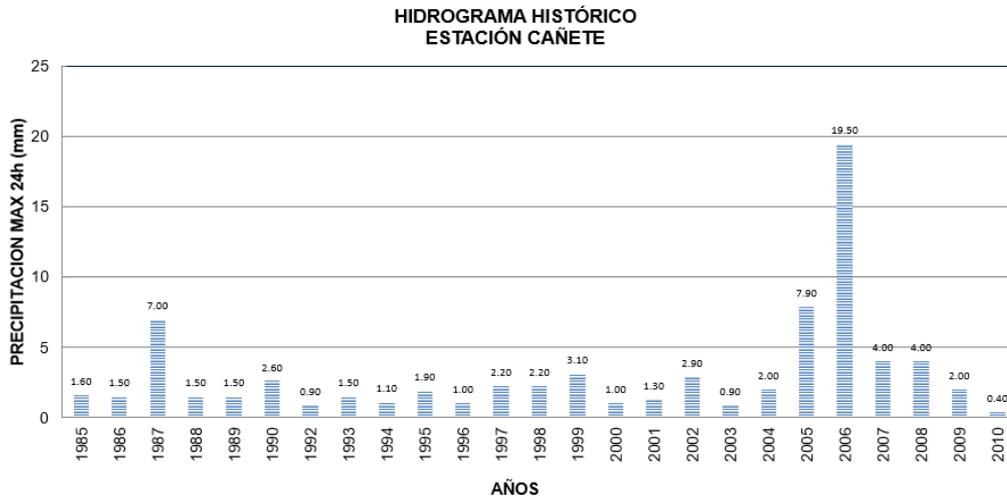
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.
1985					0.01	0.80	0.40	1.60	0.50
1986	0.20	0.30	1.50	0.10	0.80	0.80	0.70	1.00	0.60
1987	0.00	0.40	0.01	0.00	0.30	0.40	0.90	0.50	0.20
1988	1.00	1.50	0.00	0.00	0.10	0.40	0.40	0.60	0.40
1989	0.00	0.20	0.50	0.10	0.20	1.50	0.90	0.30	0.80
1990	0.60	0.00	0.00	0.10	0.60	1.10	0.80	0.30	0.30
1992				0.50	0.00	0.50	0.90	0.50	0.00
1993	0.00	0.00	0.20	0.10	0.50	0.80	1.50	0.50	0.50
1994	1.10	0.01	0.01	0.01	0.20	0.40	0.30	0.70	0.30
1995	0.20	0.10	1.20	0.10	0.01	0.60	0.80	0.70	0.80
1996	0.70	0.70	1.00	0.01	0.20	0.90	0.60	0.70	0.20
1997	1.10	0.10	0.01	0.20	0.01	0.01	0.01	2.20	1.60
1998	2.2	0.1	1.7	0.1	0.1	0.6	1.2	0.6	0.4
1999	0.4	3.1	0.1	0.01	0.1	0.4	0.4	0.5	0.2
2000	0.4	0.8	0.1	0.01	0.1	0.5	0.5	1	0.8
2001	0.6	0.6	0.3	0.1	0.5	0.7	1	0.6	0.1
2002	2.9	0.2	0.3	0.01	0.01		0.8	1	0.9
2003	0.4	0.9	0.01	0.01	0.3	0.5	0.2	0.5	0.7
2004	0.0	0.0	0.9	0.0	0.1	0.9	1.0	2.0	0.3
2005	0.5	0.2	0.0	0.1	7.9		0.7	0.5	1.2
2006	0.0	19.5	4.0	0.0	5.0	0.2		11.0	1.0
2007	0.1	4.0	4.0	0.0			0.6	4.0	0.6
2008	4.0	0.6	4.0	0.0	4.0	1.2	0.0	4.0	0.6
2009	0.0			0.0		0.6	2.0		
2010						0.4	0.4		

Nota. SENAMHI (2022).

Del cual, se puede graficar el hidrograma histórico mostrado en la Figura 54.

Figura 54

Hidrograma histórico. Precipitación Max. 24h



Nota. Elaboración propia.

b) Completamiento y extensión de data

Para completar y extender la data recolectada, se trabajó con el software HEC4, pero no se observaron valores lógicos al ejecutar, como ejemplo de ello se tiene al evento de flujo de detritos del año 2015, donde se produjeron precipitaciones anómalas en el mes de enero, esta data debería superar a los valores medios registrados, pero se obtuvo un valor muy bajo (véase Tabla 27).

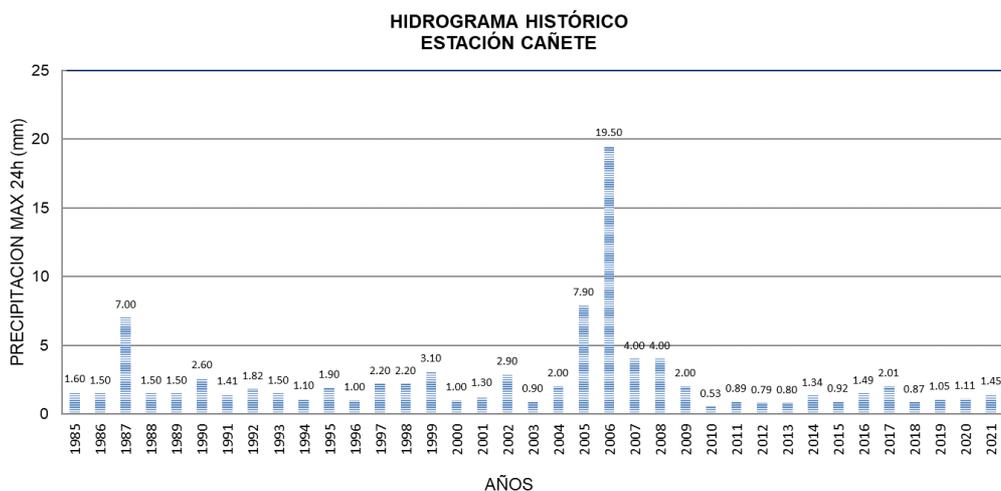
Tabla 27*Data pluviométrica completada y extendida de la estación Cañete*

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Max
2011	0.15	0.49	0.21	0.03	0.16	0.63	0.89	0.72	0.78	0.19	0.2	0.06	0.89
2012	0.19	0.12	0.04	0.05	0.37	0.79	0.41	0.62	0.6	0.39	0.32	0.48	0.79
2013	0.06	0.46	0.06	0.01	0.33	0.75	0.74	0.43	0.38	0.8	0.15	0.66	0.80
2014	0.23	0.11	1.22	0.06	0.11	0.82	0.28	0.83	0.58	0.26	1.34	0.68	1.34
2015	0.06	0.1	0.02	0.02	0.28	0.92	0.64	0.81	0.84	0.11	0.14	0.28	0.92
2016	0.2	1.5	0.2	0.0	0.1	0.7	1.1	0.5	0.2	0.7	0.1	0.2	1.49
2017	0.3	0.1	0.0	0.0	0.4	0.9	0.5	2.0	0.6	0.2	0.2	0.1	2.01
2018	0.6	0.5	0.3	0.0	0.1	0.5	0.8	0.6	0.7	0.2	0.9	0.5	0.87
2019	0.78	0.2	0.05	0	0.22	0.49	0.64	1.05	0.52	0.59	0.26	0.18	1.05
2020	0.73	0.06	0.16	0.02	0.04	0.85	1.11	0.47	0.33	0.89	0.13	0.14	1.11
2021	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.9	1.5	0.7	0.7	0.3	0.2	1.45

Nota. Elaboración propia.

El valor máximo de precipitación máximo para el evento del 2015 es de 0.92 mm, lo cual es inconsistente con lo acontecido, por lo cual se descarta la opción de extensión de datos.

Se elaboró el hidrograma histórico de precipitaciones mostrado en la Figura 55.

Figura 55*Hidrograma histórico.**Nota.* Elaboración propia.

c) Producto PISCOp

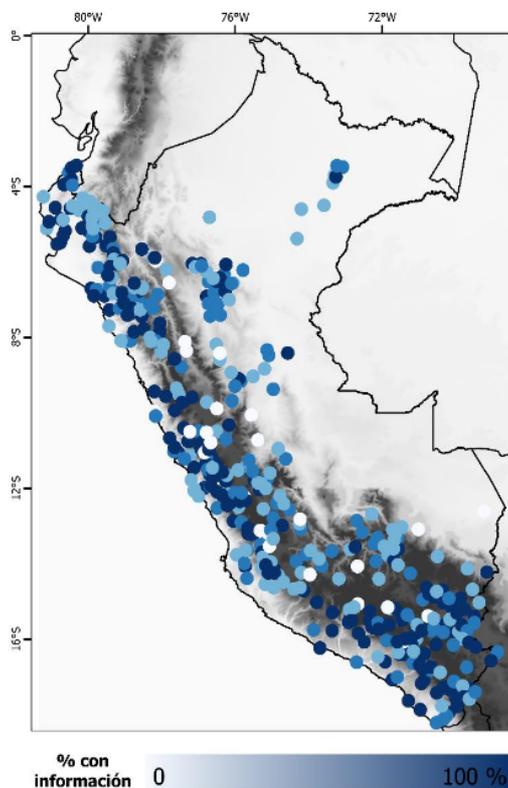
La base de datos Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO) fue usada para la creación del producto PISCOp, teniendo como covariable a la base de datos global del proyecto Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). Camacho et al. (2017) sustenta:

Este repertorio de información es una mezcla de datos provenientes de sensores remotos, modelos y datos provenientes de estaciones terrenas. Los datos de CHIRPS están disponibles desde enero de 1981 para una grilla global de resolución de 0.05° . ($\sim 5\text{km}$). La resolución temporal mínima es de 1 día, pero también hay posibilidad de agregaciones a mayores intervalos de tiempo. (p. 6)

Por lo tanto, PISCOp brindaría la opción de obtener datos pluviométricos teniendo en cuenta la red de estaciones presentes en el país mediante la interpolación, con un tamaño de celda de 5km y está sujeto a la disponibilidad de data de las estaciones, lo cual se puede visualizar en la Figura 56.

Figura 56

Red de estaciones utilizadas a escala nacional para la elaboración de PISCOp con porcentajes de datos por estación considerando el período 1981-2016.



Nota. Camacho et al. (2017)

Para la obtención de data mediante este producto, se hará uso del módulo de Análisis de Datos y Recursos Estadísticos del Agua (ANDREA), el cual se encuentra en su versión beta dentro de la red tecnológica del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) formando parte de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) (véase Figura 57).

Figura 57

Ingreso del KML del área de estudio al sistema ANDREA

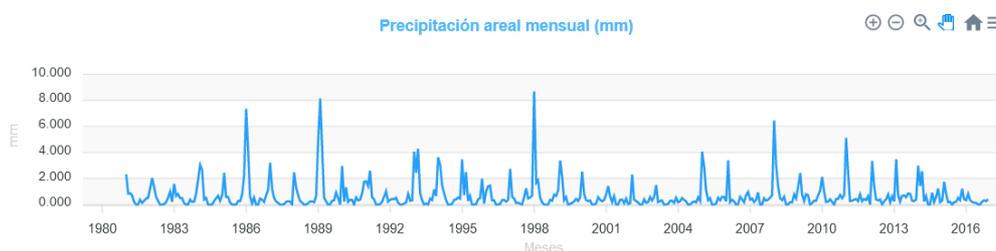


Nota. ANA (2022)

Teniendo la información de la quebrada ingresada, se procedió a buscar la información pluviométrica correspondiente a los años disponibles en el producto (1981 – 2016) según lo mostrado en la Figura 58.

Figura 58

Resultados de precipitación mensual con el producto PISCOp



Nota. ANA (2022)

Como se puede observar, se obtuvieron precipitaciones bajas para los meses del año 2015 ($P_{max}=1.213$ mm), lo cual no coincide con los eventos de flujos de detritos en la zona. Como conclusión y teniendo en cuenta las metodologías y datos de contraste, se procede a tomar la data real brindada por el SENAMHI correspondientes a la estación Cañete, con un período de registro desde 1985 al 2010 para su posterior procesamiento.

5.2.3. Procesamiento de data

a) Análisis de datos dudosos

Para el análisis de datos dudosos se utilizó la metodología planteada por el Water Resources Council, el cual es citado en el libro Hidrología Aplicada de Ven Te Chow (1994). Dicha información fue compilada en la Tabla 28.

Tabla 28*Análisis de datos pluviométricos dudosos*

N °	Año	Orden	P24H	log(P24H)
1	1985	14	1.60	0.2041
2	1986	15	1.50	0.1761
3	1987	3	7.00	0.8451
4	1988	16	1.50	0.1761
5	1989	17	1.50	0.1761
6	1990	8	2.60	0.4150
7	1992	23	0.90	(0.0458)
8	1993	18	1.50	0.1761
9	1994	20	1.10	0.0414
10	1995	13	1.90	0.2788
11	1996	21	1.00	-
12	1997	9	2.20	0.3424
13	1998	10	2.20	0.3424
14	1999	6	3.10	0.4914
15	2000	22	1.00	-
16	2001	19	1.30	0.1139
17	2002	7	2.90	0.4624
18	2003	24	0.90	(0.0458)
19	2004	11	2.00	0.3010
20	2005	2	7.90	0.8976
21	2006	1	19.50	1.2900
22	2007	4	4.00	0.6021
23	2008	5	4.00	0.6021
24	2009	12	2.00	0.3010
25	2010	25	0.40	(0.3979)

Nota. Elaboración propia.

Analizada la serie de datos se procedió a calcular el umbral máximo y mínimo para el registro disponible, los cuales resultaron de 0.27 mm y 15.30 mm respectivamente. Con estos valores se puede descartar al valor medido del año 2006, debido a que no se encuentra dentro del rango calculado.

Teniendo la nueva serie excluyendo al valor desfasado, se realizó el análisis de datos dudosos bajo la misma metodología, obteniendo los umbrales de precipitación de 0.25 mm a 9.81 mm. Al comprobar que todos los valores registrados se encuentran dentro del rango calculado, se da por válida la serie de datos de precipitación para su posterior análisis estadístico.

b) Análisis estadístico

En el análisis estadístico de data, se optó por los softwares Hidroesta 2 e Hydrognomon, debido a que presentan una gran versatilidad para efectuar las pruebas correspondientes.

i) Hidroesta 2

Prueba de bondad de Kolmogrov – Smirnov: El software desarrollado en la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto tecnológico de Costa Rica presenta la disponibilidad de realizar los cálculos y procesamiento de información pluviométrica, el cual engloba las siguientes distribuciones:

- 1) Distribución Normal
- 2) Distribución Log Normal 2 parámetros.
- 3) Distribución Log Normal 3 parámetros.
- 4) Distribución Gamma 2 parámetros.
- 5) Distribución Gamma 3 parámetros
- 6) Distribución Log Pearson III.
- 7) Distribución Gumbel.
- 8) Distribución Log Gumbel.

Una vez ingresada la data a cada uno de los módulos de distribución seleccionados se puede elaborar el resumen (véase Tabla 29).

Tabla 29*Resultados de la prueba de bondad de Kolmogrov – Smirnov con Hidroesta 2*

Distribuciones	Δ Teórico	Δ Tabular	N. S	Distribución adecuada
Normal	0.2090	0.2776	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.0810	0.2776	5%	
Log Normal 3 Parámetros	0.0777	0.2776	5%	
Gamma 2 Parámetros	0.1278	0.2776	5%	
Gamma 3 Parámetros	No se ajusta		5%	
Log Pearson III	0.0684	0.2776	5%	Menor
Gumbel	0.1401	0.2776	5%	
Log Gumbel	0.1103	0.2776	5%	

Nota. Elaboración propia

Para la prueba de bondad de Kolmogrov Smirnov procesado con Hidroesta 2 con un nivel de significancia del 5% se tiene que la distribución Log Pearson III es la más adecuada para la serie de datos por tener un menor delta teórico, seguido de cerca por la distribución Log Normal.

ii) Hydrognomon

Prueba de bondad de Kolmogrov – Smirnov: El software desarrollado por la Universidad de Atenas presenta la disponibilidad de realizar la prueba de datos mencionada, el cual hace uso de varias distribuciones, en este caso se tendrán en cuenta las más usadas y representativas (véase Tabla 30).

Tabla 30*Resultados de la prueba de bondad de Kolmogrov – Smirnov con Hydrognomon*

Distribuciones	N.S: 1%	N.S: 5%	N.S: 10%	% alcanzado	Δ Max
Normal	Accept	Accept	Accept	19.72%	0.20904
Log Normal	Accept	Accept	Accept	99.28%	0.07694
Gamma	Accept	Accept	Accept	64.10%	0.1408
Pearson III	Accept	Accept	Accept	85.27%	0.11362
Log Pearson III	Accept	Accept	Accept	99.83%	0.06839
EV1-Max (Gumbel)	Accept	Accept	Accept	64.65%	0.14013

Nota. Elaboración propia.

Para la prueba de bondad de Kolmogrov – Smirnov procesado con Hydrognomon con un nivel de significancia del 5% se tiene que la distribución Log Pearson III es la más adecuada para la serie de datos por tener un menor delta teórico, seguido de cerca por la distribución Log Normal.

Prueba de Chi Cuadrado: Para esta prueba es necesario realizar el cálculo del número de clases, el cual viene dado por la ecuación citada por Villón (2004):

$$N_c = 1.33 \ln(N) + 1$$

Donde:

Nc: Número de clase

N: Número de datos de la serie

Realizando la operación para un total de 24 datos, se obtiene un número de clase de 5, con lo cual ya se puede realizar la prueba correspondiente, los resultados fueron plasmados en la Tabla 31.

Tabla 31*Resultados de la prueba de bondad de Chi Cuadrado con Hydrognomon*

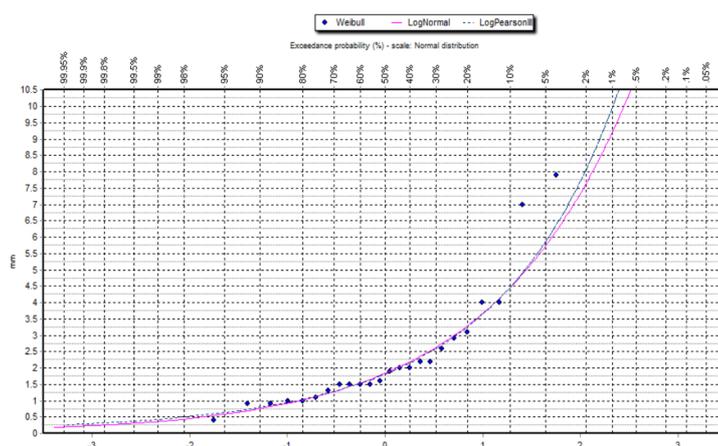
Distribuciones	N.S: 1%	N.S: 5%	N.S: 10%	% alcanzado	Pearson Param.
Normal	Reject	Reject	Reject	0.14%	13.0833
Log Normal	Accept	Accept	Accept	74.70%	0.58333
Gamma	Reject	Reject	Reject	0.76%	9.75
Pearson III	Accept	Accept	Reject	7.91%	3.08333
Log Pearson III	Accept	Accept	Accept	44.50%	0.58333
EV1-Max (Gumbel)	Reject	Reject	Reject	0.27%	11.8333

Nota. Elaboración propia.

Para la prueba de Chi Cuadrado procesado con Hydrognomon con un nivel de significancia del 5% se tiene que las distribuciones Log Pearson III y Log Normal son las más adecuadas para la serie de datos ingresados.

Realizando una comparativa entre las distribuciones mencionadas y debido a su cercanía de valores, se realizará un análisis mediante un tercer método.

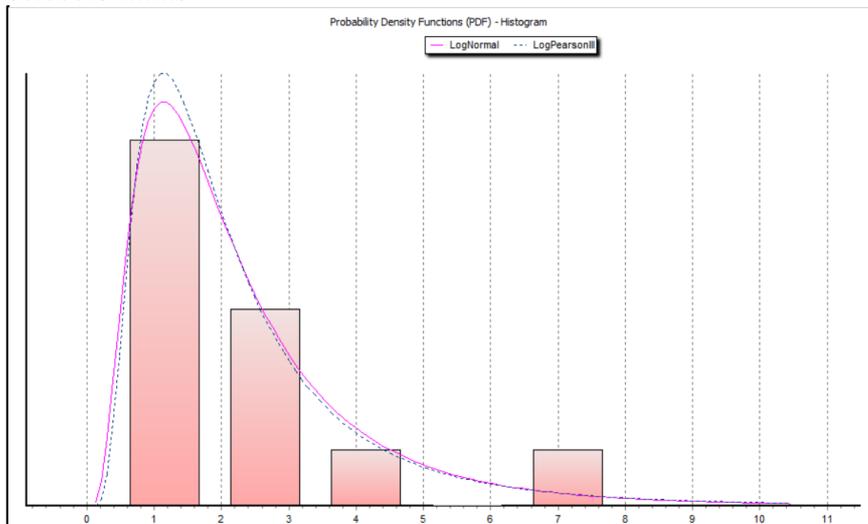
Método gráfico: Este método consiste en realizar un análisis visual a los gráficos de dispersión y tendencia de la data, en este caso el software Hydrognomon permite realizar dicho contraste (véase Figura 59 - 60).

Figura 59*Gráfico comparativo entre distribuciones seleccionadas*

Nota. Elaboración propia.

Figura 60

Funciones de densidad probabilística comparativas entre las distribuciones seleccionadas



Nota. Elaboración propia.

Según las gráficas, se muestran ambas distribuciones con un gran ajuste a la serie de datos de precipitación, pero la distribución Log Pearson III se ajusta muy ligeramente mejor que la distribución Log Normal

iii) Selección de distribución

Debido a que se encontraron 2 distribuciones con similares valores, se hará el contraste entre los métodos utilizados.

Para la prueba de bondad de Kolmogorov – Smirnov, la distribución Log Pearson III es la más adecuada para la serie de datos, con una diferencia el % alcanzado de 0.54% y Dmax de 0.00855 con respecto a la distribución LogNormal (véase Tabla 32).

Tabla 32

Contraste entre valores de la prueba de Kolmogrov - Smirnov

Distribución	% alcanzado	Δ Máx.
Log Pearson III	99.83%	0.06839
Log Normal	99.28%	0.07694
Diferencia	0.54%	0.00855

Nota. Elaboración propia.

Para la prueba de Chi Cuadrado, la distribución Log Normal es la más adecuada para la serie de datos, con una diferencia el % alcanzado de 30.20% y un parámetro de Pearson de 0 con respecto a la distribución Log Pearson III (véase Tabla 33).

Tabla 33

Contraste entre valores de la prueba de Chi Cuadrado

Distribución	% alcanzado	Δ Máx.
Log Pearson III	44.50%	0.58333
Log Normal	74.70%	0.58333
Diferencia	30.20%	0

Nota. Elaboración propia.

Según los resultados finales observados por los 3 métodos realizados, se opta por seleccionar la distribución LogNormal para la serie de datos por la diferencia del % alcanzado en la prueba de Chi Cuadrado (30.20%) lo cual denota un mejor ajuste.

c) Precipitaciones de diseño

Teniendo seleccionada la distribución más adecuada, se procedió a calcular las precipitaciones para distintos tiempos de retorno con el software Hydrognomon, según la Tabla 34.

Tabla 34

Precipitación para distintos periodos de retorno

Tiempo de retorno (años)	Precipitación máxima (mm)
2	1.84
5	3.29
10	4.46
15	5.19
20	5.73
50	7.61
100	9.19
150	10.19
170	10.51
200	10.93
500	13.47
1000	15.60

Nota. Elaboración propia.

Como la data pluviométrica brindada por el SENAMHI son precipitaciones máximas por 24 horas, se tomó el factor de corrección por intervalo único de observación sugerida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) con base teórica en el libro “Hidrología para ingenieros” de Linsley, Kohler y Paulus (1977) según la Tabla 35.

Tabla 35

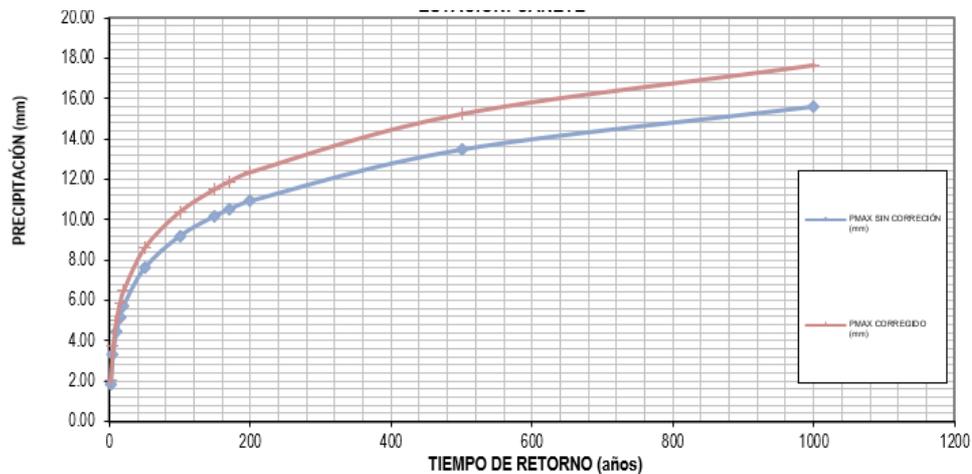
Relación entre precipitación máxima verdadera y precipitación en intervalos fijos

Número de intervalos de observación	Relación
1	1.13
2	1.04
3 – 4	1.03
5 – 8	1.02
9 – 24	1.01

Nota. Elaboración propia.

Figura 61

Precipitaciones máximas para diferentes Tr, estación Cañete.



Nota. Elaboración propia.

Con el cual se obtiene las precipitaciones máximas corregidas, mostradas en la Tabla 36. Para realizar un contraste de precipitaciones por periodo de retorno, se elaboró la Figura 61.

Tabla 36
Precipitaciones máximas corregidas

Período de retorno	Pmax sin corrección (mm)	Pmax corregido (mm)
2	1.84	2.07
5	3.29	3.72
10	4.46	5.04
15	5.19	5.87
20	5.73	6.48
50	7.61	8.60
100	9.19	10.39
150	10.19	11.51
170	10.51	11.87
200	10.93	12.35
500	13.47	15.22
1000	15.60	17.63

Nota. Elaboración propia

d) Elaboración de curvas I-D-F

Estas curvas permiten conocer la relación de la precipitación con su duración para cada tiempo de retorno seleccionado, realizando regresiones se puede hallar la ecuación característica de esta función, con lo cual se podrá hallar la intensidad de precipitación para cualquier duración y tiempo de retorno, su ecuación característica es:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

T: Tiempo de retorno (años)

t: Duración de la tormenta (minutos)

Dichas curvas estarán sujetas a la calidad de la serie de datos ingresados, existen muchos modelos para su elaboración, en el caso de la presente investigación se tomaron en cuenta 3 modelos, los cuales se desarrollarán a continuación:

i) Método de Dick y Peschke

Este método es el más usado en estudios hidrológicos e investigaciones, debido a que es uno de los más conservadores en cuanto a metodología y también por su veracidad. El Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008) cita este método como recomendado para tormentas con una duración menor a 1 hora o ante la falta de información pluviométrica medida mediante estaciones meteorológicas, dicho método establece una relación entre la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. Debido a que se encuentra en un manual de una entidad, a su recurrencia en estudios realizados y a las características de la zona de estudio se ve conveniente tomarlo en cuenta, la expresión propia del método es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Donde:

Pd: Precipitación total (mm)

d: Duración (minutos)

P24h: Precipitación máxima en 24 horas (mm)

El cálculo se observa en las Tablas 37 – 38 y el resultado en la Figura 62.

Tabla 37

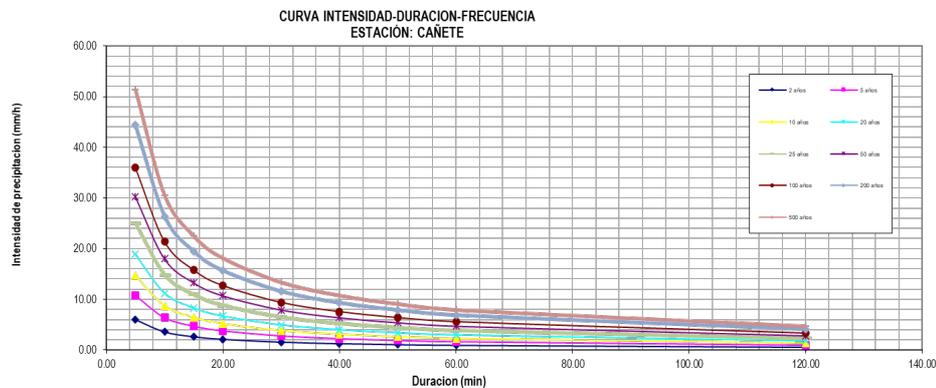
Precipitaciones máximas según Dick y Peschke

Duración		Período de retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0.08	5.00	0.50	0.90	1.22	1.57	2.09	2.52	3.00	3.70	4.28
0.17	10.00	0.60	1.07	1.45	1.87	2.48	3.00	3.56	4.39	5.09
0.25	15.00	0.66	1.19	1.61	2.07	2.75	3.32	3.94	4.86	5.63
0.33	20.00	0.71	1.28	1.73	2.22	2.95	3.57	4.24	5.23	6.05
0.50	30.00	0.79	1.41	1.91	2.46	3.27	3.95	4.69	5.78	6.70
0.67	40.00	0.85	1.52	2.06	2.65	3.51	4.24	5.04	6.21	7.20
0.83	50.00	0.90	1.60	2.18	2.80	3.71	4.48	5.33	6.57	7.61
1.00	60.00	0.94	1.68	2.28	2.93	3.89	4.69	5.58	6.88	7.97
2.00	120.00	1.11	2.00	2.71	3.48	4.62	5.58	6.63	8.18	9.47
24.00	1440.00	2.07	3.72	5.04	6.48	8.60	10.39	12.35	15.22	17.63

Nota. Elaboración propia.

Tabla 38*Intensidades máximas según Dick y Peschke*

Duración		Período de retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0.08	5.00	6.04	10.82	14.68	18.88	25.06	30.26	35.97	44.35	51.36
0.17	10.00	3.59	6.44	8.73	11.22	14.90	17.99	21.39	26.37	30.54
0.25	15.00	2.65	4.75	6.44	8.28	10.99	13.28	15.78	19.45	22.53
0.33	20.00	2.14	3.83	5.19	6.67	8.86	10.70	12.72	15.68	18.16
0.50	30.00	1.58	2.82	3.83	4.92	6.54	7.89	9.38	11.57	13.40
0.67	40.00	1.27	2.28	3.09	3.97	5.27	6.36	7.56	9.32	10.80
0.83	50.00	1.07	1.92	2.61	3.36	4.46	5.38	6.40	7.89	9.13
1.00	60.00	0.94	1.68	2.28	2.93	3.89	4.69	5.58	6.88	7.97
2.00	120.00	0.56	1.00	1.35	1.74	2.31	2.79	3.32	4.09	4.74
24.00	1440.00	0.09	0.15	0.21	0.27	0.36	0.43	0.51	0.63	0.73

Nota. Elaboración propia.**Figura 62***Curva intensidad - duración - frecuencia, estación Cañete.**Nota.* Elaboración propia.

Mediante cálculos de regresión lineal se obtiene la siguiente ecuación:

$$I = \frac{10^{1.3204} \cdot T^{0.3257}}{t^{0.75}}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

T: Tiempo de retorno (años).

t: Duración de la tormenta (minutos).

ii) Método de Frederick Bell:

También es un método ampliamente usado en toda clase de estudios e investigaciones, se basa en una metodología parecida a la de Dick y Peschke, pero considerando su propia ecuación de cálculo, pues “Bell combinó las relaciones duración–lluvia y los cocientes frecuencia–lluvia, para obtener una relación general de precipitación–duración–periodo de retorno” (Campos, 1998, p. 189). Para poder elaborar las curvas IDF por esta metodología es necesario tener información pluviométrica adecuada, se rige por la siguiente expresión:

$$P_T^t = (0.21 \ln T + 0.52)(0.54t^{0.25} - 0.50)P_{10}^{60}$$

Donde

P_T^t : Precipitación máxima (mm).

T: Tiempo de retorno (años).

t: Tiempo de retorno (minutos).

P_{10}^{60} : Precipitación de duración 60 minutos y con 10 años de tiempo de retorno (mm).

Este último valor puede ser calculado mediante la ecuación de Dick y Peschke o también con la ecuación propuesta por Yance Tueros, el valor hallado corresponde al valor de 1.90.

El cálculo se puede observar en las Tablas 39-40 y el resultado en la Figura 63.

Tabla 39*Precipitaciones máximas según Frederich Bell*

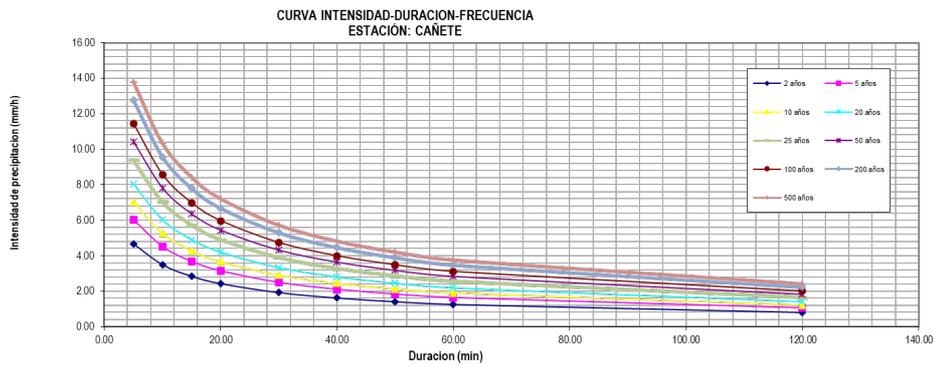
Duración		Período de retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0.08	5.00	0.39	0.50	0.59	0.67	0.78	0.87	0.95	1.06	1.15
0.17	10.00	0.58	0.75	0.88	1.00	1.17	1.30	1.43	1.59	1.72
0.25	15.00	0.71	0.92	1.07	1.23	1.43	1.59	1.74	1.95	2.10
0.33	20.00	0.81	1.05	1.22	1.40	1.63	1.81	1.99	2.22	2.40
0.50	30.00	0.96	1.24	1.45	1.67	1.94	2.16	2.37	2.65	2.86
0.67	40.00	1.08	1.40	1.63	1.87	2.18	2.42	2.66	2.97	3.21
0.83	50.00	1.18	1.52	1.78	2.04	2.38	2.64	2.90	3.24	3.50
1.00	60.00	1.27	1.63	1.91	2.19	2.55	2.83	3.11	3.47	3.75
2.00	120.00	1.63	2.10	2.45	2.81	3.28	3.63	3.99	4.46	4.81
24.00	1440.00	2.07	3.72	5.04	6.48	8.60	10.39	12.35	15.22	17.63

Nota. Elaboración propia.**Tabla 40***Intensidades máximas según Frederich Bell*

Duración		Período de retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0.08	5.00	4.66	6.01	7.03	8.05	9.39	10.41	11.43	12.78	13.80
0.17	10.00	3.49	4.50	5.26	6.02	7.03	7.79	8.56	9.56	10.33
0.25	15.00	2.84	3.66	4.29	4.91	5.73	6.35	6.97	7.80	8.42
0.33	20.00	2.43	3.14	3.67	4.20	4.90	5.43	5.97	6.67	7.20
0.50	30.00	1.93	2.49	2.91	3.33	3.89	4.31	4.73	5.29	5.71
0.67	40.00	1.63	2.10	2.45	2.81	3.28	3.63	3.99	4.46	4.81
0.83	50.00	1.42	1.83	2.14	2.45	2.86	3.17	3.48	3.89	4.20
1.00	60.00	1.27	1.63	1.91	2.19	2.55	2.83	3.11	3.47	3.75
2.00	120.00	0.81	1.05	1.23	1.40	1.64	1.82	1.99	2.23	2.41
24.00	1440.00	0.09	0.15	0.21	0.27	0.36	0.43	0.51	0.63	0.73

Nota. Elaboración propia.

Figura N° 63
Curva IDF, estación Cañete.



Nota. Elaboración propia.

Con cálculos de regresión lineal obtenemos la ecuación característica de las curvas elaboradas:

$$I = \frac{10^{1.0827} \cdot T^{0.1695}}{t^{0.55}}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

T: Tiempo de retorno (años).

t: Duración de la tormenta (minutos).

iii) Método de Cheng – Lung Chen

Método común para la determinación de las curvas IDF, mayormente usado en cuencas pequeñas. También utiliza un modelo empírico con datos de pluviógrafos con datos de lluvia horaria y diaria, de las cuales derivan cocientes lluvia duración (R) y lluvia frecuencia (F), definidos por la precipitación de 1 hora con tiempo de retorno de 10 años (Campos, 2012, p. 141). Debido a que la zona de estudio presenta la data pluviométrica para el cálculo de estos factores, es viable aplicarlo.

Las fórmulas propuestas por Chen son las siguientes:

1) Cociente lluvia duración

$$R = \frac{P_1^{10}}{P_{10}^{24}}$$

Donde

R: Cociente lluvia duración.

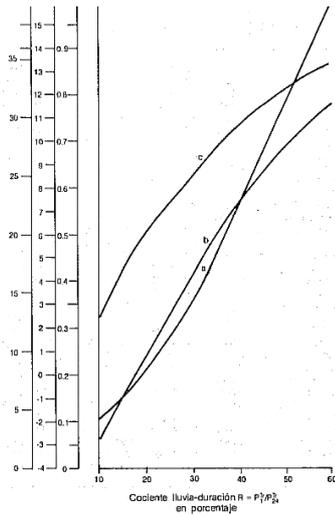
P_1^{10} : Precipitación de 1 hora con período de retorno de 10 años.

P_{10}^{24} : Precipitación de 24 horas con período de retorno de 10 años.

Este factor tiende a variar de 0.40 a 0.60 para zonas áridas y semiáridas mientras que para las zonas húmedas toma valores desde 0.30 a 0.40, el sector San Carlos se encuentra en una zona medianamente árida, por lo cual se tomará el valor de 0.50.

De este cociente se desprenden los factores a, b y c los cuales son parte de la ecuación general de Cheng – Lung Chen, se deben calcular mediante el grafico de la Figura 64.

Figura 64
Valores de los parámetros a, b y c en función de R



Nota. Campos y Gómez (1990)

Realizando las intersecciones correspondientes, se hallan los siguientes valores mostrados en la Tabla 41.

Tabla 41
Parámetros lluvia - duración de Cheng - Lung Chen

Parámetro	Valor
R	0.5
a	32.5
b	9.9
c	0.82

Nota. Elaboración propia.

2) Cociente lluvia frecuencia

$$F = \frac{P_t^{100}}{P_t^{10}}$$

Donde

F: Cociente lluvia frecuencia.

P_t^{100} : Precipitación máxima para un período de 100 años.

P_t^{10} : Precipitación máxima para un período de 10 años.

El valor será calculado con los valores pluviométricos calculados en base a la proyección de data de la distribución elegida (véase Tabla 42).

3) Ecuación de Cheng – Lung Chen

$$P_t^{Tr} = \frac{a \cdot P_1^{10} \log(10^{2-F} \cdot Tr^F - 1)t}{60(t + b)^c}$$

Donde

P_t^{Tr} : Precipitación máxima (mm).

Tr: Tiempo de retorno (años).

t: Duración de la tormenta (minutos).

F: Cociente lluvia frecuencia.

a, b y c: Factores en función del cociente lluvia duración.

Con los valores de a, b y c hallados en función del cociente lluvia duración, es posible elaborar las tablas de precipitaciones e intensidades por el método de Cheng – Lung Chen.

El cálculo se puede observar en las Tablas 42-43 y el resultado en la Figura 65.

Tabla 42*Precipitaciones máximas según Cheng – Lung Chen*

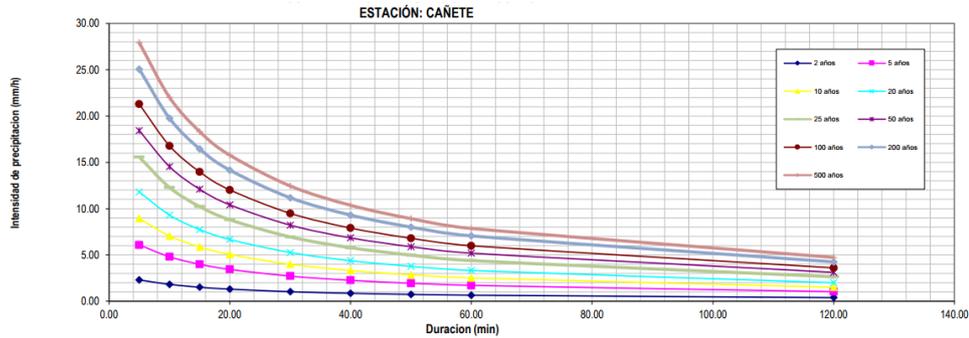
Duración		Período de retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0.08	5.00	0.19	0.51	0.74	0.98	1.30	1.54	1.77	2.09	2.33
0.17	10.00	0.30	0.80	1.17	1.55	2.05	2.42	2.80	3.29	3.67
0.25	15.00	0.38	1.00	1.47	1.94	2.55	3.02	3.49	4.11	4.58
0.33	20.00	0.43	1.14	1.68	2.22	2.93	3.47	4.01	4.72	5.26
0.50	30.00	0.51	1.36	1.99	2.63	3.47	4.11	4.74	5.59	6.22
0.67	40.00	0.57	1.50	2.21	2.92	3.85	4.56	5.27	6.20	6.91
0.83	50.00	0.61	1.62	2.38	3.14	4.15	4.91	5.67	6.67	7.43
1.00	60.00	0.65	1.71	2.52	3.32	4.38	5.19	5.99	7.05	7.86
2.00	120.00	0.78	2.06	3.03	3.99	5.27	6.24	7.21	8.49	9.46
24.00	1440.00	2.07	3.72	5.04	6.48	8.60	10.39	12.35	15.22	17.63

Nota. Elaboración propia.**Tabla 43***Intensidades máximas según Cheng – Lung Chen*

Duración		Período de retorno (años)								
Hr	Min	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
0.08	5.00	2.31	6.08	8.94	11.79	15.57	18.42	21.28	25.06	27.91
0.17	10.00	1.82	4.80	7.05	9.30	12.28	14.53	16.79	19.76	22.02
0.25	15.00	1.51	3.99	5.87	7.74	10.22	12.09	13.97	16.45	18.32
0.33	20.00	1.30	3.43	5.05	6.66	8.79	10.41	12.02	14.15	15.77
0.50	30.00	1.03	2.71	3.98	5.26	6.94	8.22	9.49	11.17	12.45
0.67	40.00	0.86	2.26	3.32	4.38	5.78	6.84	7.90	9.30	10.36
0.83	50.00	0.74	1.94	2.86	3.77	4.97	5.89	6.80	8.01	8.92
1.00	60.00	0.65	1.71	2.52	3.32	4.38	5.19	5.99	7.05	7.86
2.00	120.00	0.39	1.03	1.51	2.00	2.64	3.12	3.60	4.24	4.73
24.00	1440.00	0.09	0.15	0.21	0.27	0.36	0.43	0.51	0.63	0.73

Nota. Elaboración propia.

Figura 65
Curva IDF, estación Cañete.



Nota. Elaboración propia.

Y mediante la regresión lineal, se halló la ecuación característica de la siguiente forma:

$$I = \frac{10^{0.9491} \cdot T^{0.3554}}{t^{0.56}}$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/hr)

T: Tiempo de retorno (años).

t: Duración de la tormenta (minutos).

e) Estimación de caudales máximos

Para la estimación de máximas avenidas se tomarán en cuenta los siguientes métodos:

i) Método Racional:

Este método es ampliamente usado en cuencas donde no se tiene mucho conocimiento sobre su comportamiento hidrológico. “Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente c (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca” (MTC, 2008, p. 49). Teniendo en cuenta las características de la zona de estudio como su tamaño (0.403 km²) y su ubicación, se ve conveniente usarlo (véase Tabla 44).

Para el cálculo de los caudales, es necesario obtener el coeficiente de escorrentía de la zona de estudio, en función del uso de la cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente media:

Tabla 44
Coefficientes de escorrentía del método racional

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pronuncia	Alta	Medi	Suav	Despreciab
		da		a	e	le
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
	Semipermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Permeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
Cultivos	Impermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Semipermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Permeable	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
	Semipermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Permeable	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15
Hierba, grama	Impermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Semipermeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
	Permeable	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Semipermeable	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
	Permeable	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05

Nota. MTC (2008).

Con el valor de pendiente media de la zona de estudio calculada (ver Tabla 20), el tipo de cobertura explorada del terreno y los ensayos geotécnicos, se puede tomar al coeficiente de escorrentía con un valor de 0.65.

La fórmula del método racional es la siguiente:

$$Q = 0.278CIA$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad máxima (mm/h).

A: Área de la cuenca (km²)

El Ministerio de Transportes y comunicaciones recomienda usar esta fórmula cuando el área de la cuenca o sector en estudio sea menor a 10 km² (véase Tabla 45)

Tabla 45

Parámetros de la quebrada

Parámetro	Valor	Unidad
Área	0.404	km ²
Pendiente	26	%
Tc	0.15	h
Coef. Escorrentía	0.65	---
Duración de tormenta	120	min

Nota. Elaboración propia.

Con las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia halladas mediante los modelos mencionados, se procede a calcular los caudales máximos mostrados en la Tabla 46-47 y el resultado en la Figura 66.

Tabla 46

Intensidades según método (mm/h)

Tiempo de retorno	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Método									
Dick - Peschke	0.723	0.974	1.221	1.530	2.063	2.585	3.240	4.366	5.472
Frederich Bell	0.960	1.121	1.260	1.418	1.656	1.862	2.094	2.446	2.751
Cheng - Lung Chen	0.770	1.067	1.365	1.746	2.419	3.094	3.959	5.483	7.014

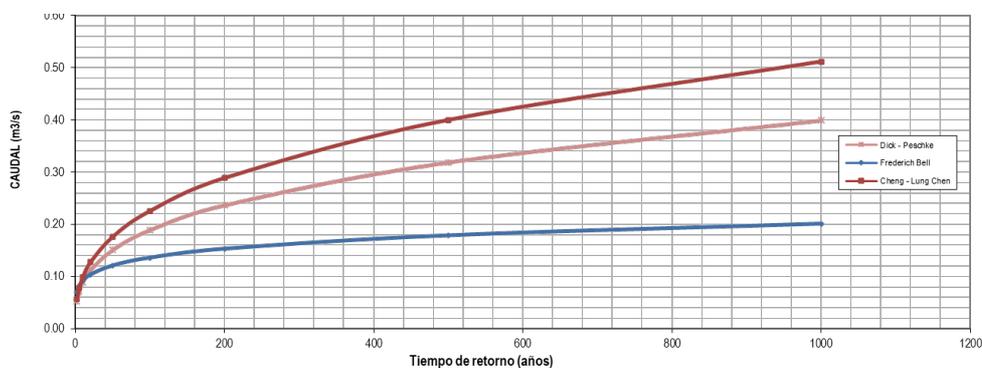
Nota. Elaboración propia.

Tabla 47
Caudales según método (m³/s)

Tiempo de retorno	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Método									
Dick - Peschke	0.053	0.071	0.089	0.112	0.151	0.189	0.236	0.319	0.399
Frederich Bell	0.070	0.082	0.092	0.103	0.121	0.136	0.153	0.179	0.201
Cheng - Lung Chen	0.056	0.078	0.100	0.127	0.177	0.226	0.289	0.400	0.512

Nota. Elaboración propia.

Figura 66
Variación de caudales según modelo usado el método racional, estación Cañete.



Nota. Elaboración propia.

Se puede observar una tendencia media del método de Dick y Peschke, además de valores más estables, por ello se toma como la ecuación válida para la cuenca y posterior modelamiento hidrológico (además de estar referenciada en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC).

5.3. Estudio de detritos

5.3.2. Exploración geotécnica

La exploración geotécnica constó de 3 calicatas en puntos clave y estratégicos del sector, tanto para identificar las propiedades del flujo de detritos como para poder calibrar el modelamiento en RAMMS Debris flow, la ubicación de las calicatas viene dado por la Tabla 48 y Figura 67.

Tabla 48

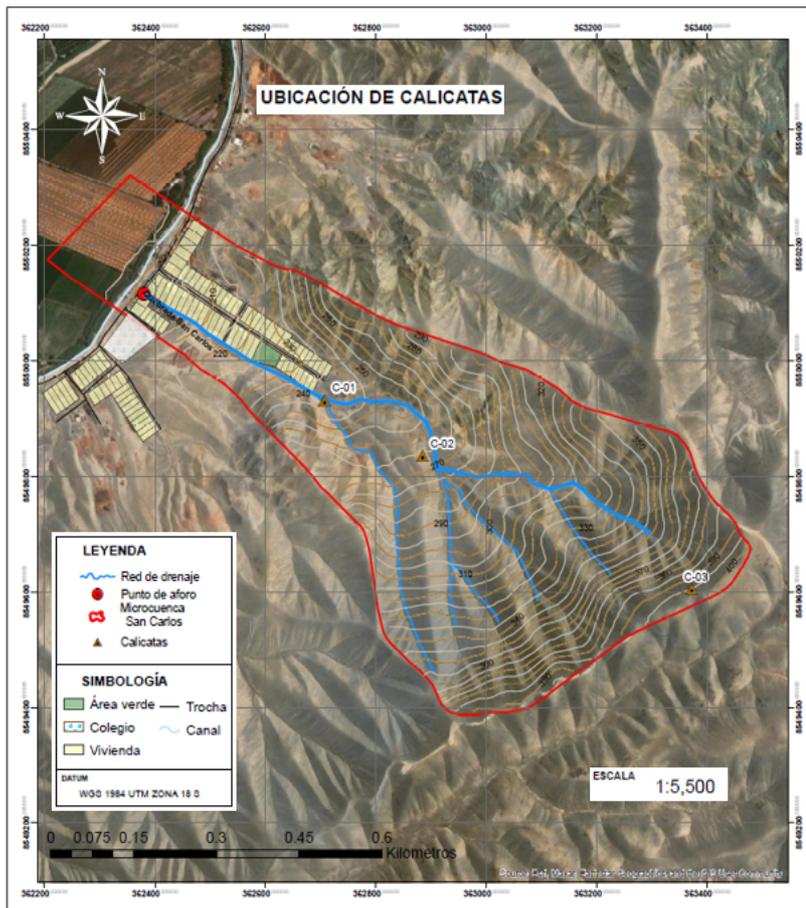
Ubicación de las calicatas

Número de muestra	Ubicación	E (m)	N (m)	Z (msnm)
C - 01	San Carlos Alto	362707	8549930.3	241.03
C - 02	San Carlos Alto	362884.23	8549834.5	278.06
C - 03	San Carlos Alto	363371.59	8549603.8	395.3

Nota. Elaboración propia.

Figura 67

Ubicación de calicatas en el sector San Carlos



Nota. Elaboración propia.

a) Calicata C – 01

i) Resultados de los ensayos de laboratorio: Para esta muestra se optó por realizar ensayos granulométricos para conocer la posible composición del terreno en la zona de afluentes, además de implementar las posibles alternativas de mitigación en este punto (por ser zona de estrechamiento) según la Tabla 49.

Tabla 49*Resultados del ensayo granulométrico (ASTM D5913 – 17) para C - 01*

Parámetro	Resultado
Límite líquido (LL)	No presenta
Límite plástico (LP)	No presenta
Índice de plasticidad (IP)	No presenta
Contenido de humedad (w%)	0.7
Cantidad de gravas (%)	23
Cantidad de arenas (%)	58
Cantidad de finos (%)	19
Clasificación SUCS	SM
Significado	Arena limosa con grava
Compacidad	Media
Clasificación AASHTO	A-1-b(0)

Nota. Elaboración propia.

Los resultados del laboratorio coinciden con la inspección de campo, se puede observar poca presencia de gravas y finos, más una predominancia de arenas, lo cual es clasificable como un suelo granular de consistencia arenosa limosa con grava, el contenido de humedad es prácticamente nulo.

ii) Estimaciones bibliográficas: De acuerdo a los parámetros establecidos, se pueden realizar las estimaciones correspondientes según rangos del ingeniero geotecnista encargado de los ensayos y del libro "Classification and Identification of Soils" (Casagrande, 1948) (véase Tabla 50).

Tabla 50*Propiedades comunes de los suelos granulares no cohesivos*

Material	Compacidad	Densidad relativa	N (SPT)	γ seco (g/cm ³)	ϕ (°)
GW: Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena.	Densa	75%	90	2.21	40
	Media	50%	55	2.08	36
	Suelta	25%	< 28	1.97	32
GP: Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena.	Densa	75%	70	2.04	38
	Media	50%	50	1.92	35
	Suelta	25%	< 20	1.83	32
SW: Arenas bien graduadas, arenas gravosas.	Densa	75%	65	1.89	37
	Media	50%	35	1.79	34
	Suelta	25%	< 15	1.7	30
SP: Arenas mal graduadas, arenas gravosas.	Densa	75%	50	1.76	36
	Media	50%	30	1.67	33
	Suelta	25%	< 10	1.59	29
SM: Arenas limosas.	Densa	75%	45	1.65	35
	Media	50%	25	1.55	32
	Suelta	25%	< 8	1.49	29
ML: Limos inorgánicos, arenas muy finas.	Densa	75%	35	1.49	33
	Media	50%	20	1.41	31
	Suelta	25%	< 4	1.35	27

Nota. Casagrande (1948).

Con lo cual, se pueden tomar como válidos los parámetros de resistencia mostrados en la Tabla 51.

Tabla 51*Parámetros de resistencia estimados para C-01 según Casagrande*

Parámetro	Valor	Unidad
Peso específico seco (γ seco)	1.62	g/cm ³
Peso específico de campo (γ)	2.2	g/cm ³
Cohesión [c]	0	Pa
Ángulo de fricción interna (ϕ)	32	°

Nota. Elaboración propia.

Para corroborar dichos valores, se le consultó al ingeniero geotecnista los rangos aproximados en los cuales se encontraría cada parámetro:

- Para γ_{seco} de 1.5 a 2 g/cm³
- Para γ de 1.8 a 2.3 g/cm³
- Para [C] 0 Pa por ser suelo granular
- Para (ϕ) de 30 a 35°

b) Calicata C – 02

i) Resultados de los ensayos de laboratorio: Para conocer las propiedades de esta huella en su totalidad se optó por realizar ensayos granulométricos y de corte directo, este último fue en condiciones saturadas para poder tener en cuenta los resultados al momento del evento en movimiento, según las Tablas 52-53.

Tabla 52

Resultados del ensayo granulométrico (ASTM D5913 - 17) para C - 02

Parámetro	Resultado
Límite líquido (LL)	No presenta
Límite plástico (LP)	No presenta
Índice de plasticidad (IP)	No presenta
Contenido de humedad (w%)	1
Cantidad de gravas (%)	36.4
Cantidad de arenas (%)	53.9
Cantidad de finos (%)	9.7
Clasificación SUCS	SP - SM
Significado	Arena pobremente gradada con limo y grava
Compacidad	Densa
Clasificación AASHTO	A-2-4(1)

Nota. Elaboración propia.

Tabla 53*Resultados del ensayo de corte directo saturado (ASTM D3080) para C - 02*

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad seca varillada (γ)	1.39	g/cm ³
Cohesión [c]	0	Pa
Ángulo de fricción efectivo (ϕ')	40	°

Nota. Elaboración propia.

ii) Estimaciones bibliográficas: De acuerdo a los parámetros establecidos, se pueden realizar las estimaciones correspondientes según rangos del ingeniero geotecnista encargado de los ensayos y la Tabla 50.

Con lo cual, se pueden tomar como válidos los parámetros de resistencia mostrados en la Tabla 54.

Tabla 54*Parámetros de resistencia estimados para C-02 según Casagrande*

Parámetro	Valor	Unidad
Peso específico de campo (γ)	2.5	g/cm ³
Ángulo de fricción interna (ϕ)	35	°

Nota. Elaboración propia.

Para corroborar dichos valores, se le consultó al ingeniero geotecnista los rangos aproximados en los cuales se encontraría cada parámetro:

- Para γ de 2.0 a 2.6 g/cm³
- Para (ϕ) de 31 a 35°

c) Calicata C – 03

i) Resultados de los ensayos de laboratorio: Para conocer las propiedades de esta huella en su totalidad se optó por realizar ensayos granulométricos y de corte directo, este último fue en condiciones saturadas para poder tener en cuenta los resultados al momento del evento cuando está en movimiento. Los resultados se muestran en las Tablas 55-56.

Tabla 55*Resultados del ensayo granulométrico (ASTM D5913 - 17) para C - 03*

Parámetro	Resultado
Límite líquido (LL)	No presenta
Límite plástico (LP)	No presenta
Índice de plasticidad (IP)	No presenta
Contenido de humedad (w%)	0.9
Cantidad de gravas (%)	12.7
Cantidad de arenas (%)	66
Cantidad de finos (%)	21.3
Clasificación SUCS	SM
Significado	Arena limosa
Compacidad	Medio - Suelta
Clasificación AASHTO	A-1-b(0)

Nota. Elaboración propia.**Tabla 56***Resultados del ensayo de corte directo saturado (ASTM D3080) para C - 03*

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad seca varillada (γ)	1.59	g/cm ³
Cohesión [c]	0	Pa
Ángulo de fricción efectivo (ϕ')	38.7	°

Nota. Elaboración propia.

ii) Estimaciones bibliográficas: De acuerdo a los parámetros establecidos, se pueden realizar las estimaciones correspondientes según rangos del ingeniero geotecnista encargado de los ensayos y la Tabla 50.

Con lo cual, se pueden tomar como válidos los parámetros de resistencia mostrados en la Tabla 57.

Tabla 57

Parámetros de resistencia estimados para C-03 según Casagrande

Parámetro	Valor	Unidad
Peso específico de campo (γ)	1.8	g/cm ³
Ángulo de fricción interna (ϕ)	33	°

Nota. Elaboración propia.

Para corroborar dichos valores, se le consultó al ingeniero geotecnista los rangos aproximados en los cuales se encontraría cada parámetro:

- Para γ de 1.6 a 2.0 g/cm³

- Para (ϕ) de 30 a 33°.

d) Parámetros finales

Con todos los ítems mencionados, se puede elaborar una tabla resumen sobre cada calicata, parámetros y la condición de estimación (véase Tabla 58).

Tabla 58

Resumen de propiedades geotécnicas de calicatas realizadas

Parámetro	C - 01	C - 02	C - 03	Condición
Límite líquido (LL)	N. P	N. P	N. P	Ensayado
Límite plástico (LP)	N. P	N. P	N. P	Ensayado
Índice de plasticidad (IP)	N. P	N. P	N. P	Ensayado
Contenido de humedad (w%)	0.7	1	0.9	Ensayado
Cantidad de gravas (%)	23	36.4	12.7	Ensayado
Cantidad de arenas (%)	58	53.9	66	Ensayado
Cantidad de finos (%)	19	9.7	21.3	Ensayado
Clasificación SUCS	SM	SP - SM	SM	Ensayado
Compacidad	Media	Densa	Suelta - Media	Ensayado
Clasificación AASHTO	A-1-b(0)	A-2-4(1)	A-1-b(0)	Ensayado
Cohesión (C')	---	0	0	Ensayado
Angulo de fricción efectivo (ϕ' - °)	---	40	38.7	Ensayado
Densidad seca varillada (ρ - g/cm ³)	---	1.39	1.59	Ensayado
Angulo de fricción seco (ϕ - °)	32	35	33	Estimado
Densidad de campo (ρ - g/cm ³)	---	2.4	1.8	Estimado

Nota. Elaboración propia.

Con lo cual, se reitera lo siguiente:

- i) Las estimaciones van de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos, experiencia del ingeniero geotécnico especialista y a la inspección de campo, son valores aproximados a los reales. Los ensayos de corte directo (CD) se realizaron bajo condiciones saturadas, para obtener el peor escenario posible ante flujos de barro.
- ii) En el caso de los ángulos de fricción secos, se estimaron de acuerdo a la compacidad del terreno al momento de excavar, granulometría, densidad seca en laboratorio y clasificación SUCS de acuerdo a la tabla de propiedades para suelos granulares no cohesivos del libro "Classification and Identification of Soils" (Casagrande, 1948) lo cual fue validado según los rangos propuestos por el ingeniero geotecnista encargado de los ensayos.

5.3.3. Caracterización de los detritos

a) Concentración volumétrica

La fórmula de concentración volumétrica de Takahashi es ampliamente usada en distintas investigaciones sobre el flujo de detritos (debris flow), el cual se rige por las condiciones del terreno como pendiente del canal (quebrada), ángulo de fricción interna del material sólido y el peso específico del barro. Teniendo en cuenta que el resultado de la fórmula debe ser menor a la unidad, de manera contraria el flujo no puede existir en una concentración de sedimentos tan grande (Takahashi, 1978). Con los estudios geotécnicos realizados, estudio hidrológico y morfométrico de la quebrada es posible utilizar la fórmula propuesta.

$$C_v = \frac{\gamma_b \cdot S}{(\gamma_s - \gamma_b)(\text{tg } \phi - S)}$$

Donde:

Cv: Concentración volumétrica.

Yb: Peso específico del barro (t/m³).

S: Pendiente de la quebrada (m/m).

Ys: Peso específico del material sólido (t/m³)

φ: Ángulo de fricción interna del material (°).

Para optar por los mejores valores de la fórmula, se tomarán dos escenarios de contraste:

- i) Primer escenario: Corresponde a los valores empíricos de Takahashi, con los cuales desarrolló sus ensayos plasmados en el libro "Debris Flow - Mechanics, Prediction and Countermeasures", sugiriendo los valores de 30° a 35° para el ángulo de fricción interna del material, 2.6 gr/cm³ para peso específico del material sólido y 1 - 1.6 g/cm³ para peso

específico del barro. Los demás parámetros requeridos serán los propios de la zona de estudio.

ii) Segundo escenario: Corresponde a los valores observados, estimados y ensayados en el laboratorio de mecánica de suelos de TECNOLAB PERÚ, de acuerdo a la visita de campo y fotografías de la zona.

Para la interpretación de los valores obtenidos de la concentración volumétrica, se puede citar en la Tabla 59.

Tabla 59

Clasificación del flujo según concentración volumétrica

Tipo de flujo	Concentración volumétrica (Cv)
Crecida de agua o inundación	< 20%
Crecida de detritos o flujo hiperconcentrado	20% - 50%
Flujo de detritos	50% - 80%

Nota. Costa (1988)

1) Primer escenario – Valores teóricos de Takahashi

Para la evaluación del primer escenario, se tomaron en cuenta los parámetros de la Tabla 60.

Tabla 60

Primer escenario - Concentración volumétrica

Parámetro	C – 02	C - 03	Unidad
Pendiente de la quebrada (S)	0.189	0.189	m/m
Ángulo de fricción del material (ϕ)	35.00	33.00	°
Peso específico del material (γ_s)	2.60	2.60	g/cm ³
Peso específico del barro (γ_b)	1.60	1.40	g/cm ³
Concentración volumétrica (Cv)	0.59	0.48	---
Interpretación	Flujo de detritos	Flujo hiperconcentrado	---

Nota. Elaboración propia.

Los valores tomados fueron de acuerdo a los siguientes criterios:

- Pendiente de la quebrada: Fue hallada mediante el modelo digital de elevación ALOS PALSAR (cellsize 12.5m) y posteriormente procesada mediante la fórmula de Taylor - Schwarz.

- Ángulo de fricción del material (ϕ): Ver tabla 58
- Peso específico del material (γ_s): Valor empírico propuesto según ensayos de Takahashi
- Peso específico del barro (γ_b): El valor corresponde a los rangos dados por Takahashi y a la compacidad del terreno durante la excavación manual.

2) Segundo escenario – Valores propios

Para la evaluación del primer escenario, se tomaron en cuenta los parámetros de la Tabla 61.

Tabla 61

Segundo escenario - Concentración volumétrica

Parámetro	C-02		C-03		Unidad
	Saturada	Seca	Saturada	Seca	
Pendiente de la quebrada (S)	0.189	0.189	0.189	0.189	m/m
Ángulo de fricción del material (ϕ)	40	35	38.7	33	°
Peso específico del material (γ_s)	2.5	2.4	2	1.8	g/cm ³
Peso específico del barro (γ_b)	1.6	1.6	1.1	1.1	g/cm ³
Concentración volumétrica (Cv)	0.52	0.74	0.38	0.65	---
Interpretación	F. D	F. D	F. H	F. D	----

Nota. Elaboración propia.

Los valores tomados fueron de acuerdo a los siguientes criterios:

- Ángulo de fricción del material (ϕ): Ver tabla 60.
- Peso específico del material (γ_s): Fue estimado según consideraciones del ingeniero geotecnista y la compacidad encontrada al momento de realizar las excavaciones. Debido a la falta del cono de arena, se tomó un valor intermedio de acuerdo a los rangos propuestos por el encargado de los ensayos de mecánica de suelos
- Peso específico del barro (γ_b): Asignado de acuerdo a la granulometría del material en campo, densidad y compacidad (teniendo en cuenta los rangos de Takahashi).

Los valores de peso específico del material tienen diferentes rangos de variación, en el caso del C-02 se encontró una compacidad muy densa y gravosa, por lo cual el porcentaje de vacíos debe ser muy pequeño para saturarse, mientras que en la C-03 al encontrarse una compacidad media - suelta arena limosa, la relación de vacíos es mayor y al saturarse existe un aumento del peso específico.

Por lo anteriormente expuesto, ocurre lo mismo con el peso específico del barro, en la C-02 al encontrarse una compacidad densa, el peso específico del barro será mayor al tener

más contenido de sedimentos gravosos. Mientras que el la C-03 existe una relación de vacíos más grande y con una consistencia areno limosa, necesitará más agua para saturarse y podrá tomar valores de peso específico del barro cercanos al del agua (1 gr/cm³), por ello se tomaron los valores correspondientes según los rangos de Takahashi.

b) Reología de los detritos

Para la estimación de la reología de los detritos, se hizo uso de las siguientes fórmulas X e Y, las cuales fueron dadas por Einstein (1906) y Solís (1995) ha sido aplicadas en múltiples tesis de Sudamérica, como en la Universidad de Chile (Chile) y Universidad Ricardo Palma (Perú), mostrando gran versatilidad para calcular los valores de viscosidad de los sedimentos y densidad de la mezcla.

i) Primer escenario – Valores teóricos de Takahashi

Con las fórmulas planteadas, se procedió a calcular los parámetros reológicos con los valores teóricos de Takahashi según la Tabla 62.

Tabla 62

Primer escenario - Reología de los sedimentos

Parámetro	C-02	C-03	Unidad
Concentración volumétrica (Cv)	0.59	0.48	---
Viscosidad del agua (η_w)	1.00E-03	1.00E-03	Pa.s
Densidad del agua (ρ_w)	1.00	1.00	ton/m ³
Densidad de los sedimentos (ρ_s)	1.39	1.39	ton/m ³
Viscosidad de los sedimentos (η_d)	2.49E-03	2.20E-03	Pa.s
Densidad de la mezcla (ρ_d)	1.23	1.19	ton/m ³

Nota. Elaboración propia.

La densidad de los sedimentos se tomó de la densidad seca varillada de la C-02 obtenida mediante el laboratorio, debido a que estos sedimentos pertenecen a la huella de detritos de eventos pasados encontrada durante la inspección de campo.

ii) Segundo escenario – Valores propios

Teniendo en consideración los valores obtenidos mediante los ensayos geotécnicos detallados, se procedió a estimar los valores reológicos según la Tabla 63.

Tabla 63*Segundo escenario - Concentración volumétrica*

Parámetro	C-02		C-03		Unidad
	Saturada	Seca	Saturada	Seca	
Concentración volumétrica (Cv)	0.52	0.74	0.38	0.65	---
Viscosidad del agua (η_w)	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	Pa.s
Densidad del agua (ρ_w)	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	ton/m ³
Densidad de los sedimentos (ρ_s)	1.39	1.39	1.39	1.39	ton/m ³
Viscosidad de los sedimentos (η_d)	2.30E-03	2.86E-03	1.95E-03	2.62E-03	Pa.s
Densidad de la mezcla (ρ_d)	1.20	1.29	1.15	1.25	ton/m ³

Nota. Elaboración propia.

c) Comparación final

Se realizó un contraste entre todos los resultados de concentración volumétrica y reológicos según ambos escenarios considerados. En base a los resultados observados y comparados mediante el cuadro previo, se llegó a la conclusión que los parámetros y condiciones a usar en el análisis y modelamiento numérico del flujo de detritos son del segundo escenario en condiciones saturadas (véase Tabla 64).

Tabla 64*Parámetros finales del flujo de detritos*

Parámetro	C-02	C-03	Unidad
Pendiente de la quebrada (S)	0.189	0.189	m/m
Ángulo de fricción del material (ϕ)	40	38.7	°
Peso específico del material (Υ_s)	2.5	2	g/cm ³
Peso específico del barro (Υ_b)	1.6	1.1	g/cm ³
Concentración volumétrica (Cv)	0.5168439	0.3773578	---
Viscosidad de los sedimentos (η_d)	0.002299	0.0019492	Pa.s
Densidad de la mezcla (ρ_d)	1.2015691	1.1471696	g/cm ³

Nota. Elaboración propia.

En síntesis, los valores a tener en consideración para el modelamiento en RAMMS Debris flow corresponden a los resultados de la calicata C – 02, por su ubicación (huella de detritos de eventos pasados) se está considerando el flujo hiperconcentrado proveniente de los cerros (calicata C – 03) y todos los agregados presentes en el descenso del flujo a lo largo de toda la quebrada.

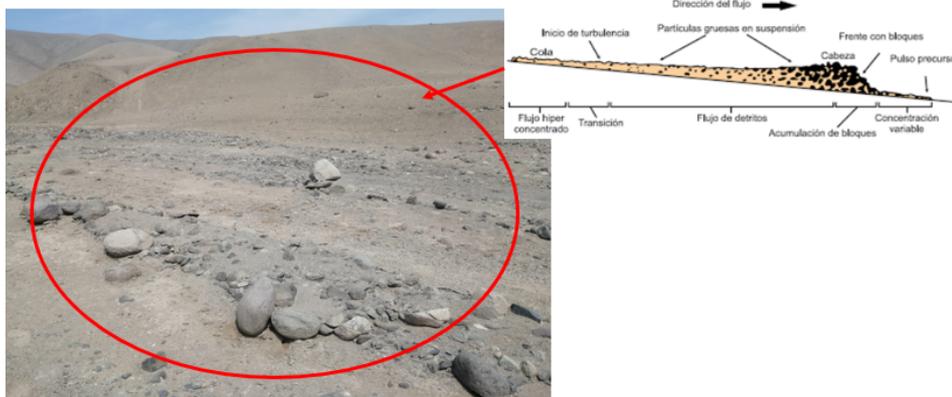
d) Génesis del flujo de detritos

El origen del flujo de detrito en el Centro Poblado San Carlos se da en los cerros, al registrarse una precipitación anómala, el material predominante en el cerro (Arena Limosa) es saturada y desprendida, formando un barro que discurre hasta llegar a los afluentes, como se pudo observar en campo, existe mucho material gravoso suelto disponible en la zona, donde se encuentran piedras de todos los tamaños. El barro formado al ir avanzando arrastra toda la grava y bolonería existente en su trayecto (y otras colindantes deslizadas o transportadas por acción eólica), generando el flujo de detritos mostrado en la foto con su sección. Dicha hipótesis se puede contrastar y afirmar con los valores de Concentración Volumétrica y su clasificación, pues para el análisis del material de los cerros se tiene un Flujo Hiperconcentrado (da inicio a turbulencia y es parte de la cola) y la muestra de la huella que arroja una clasificación de SP-SM con una mayor cantidad de grava que la muestra anterior en condiciones saturadas, afirmando así la hipótesis de la génesis del flujo (véase Figura 68).

Para visualizar la génesis completa del flujo de detritos del sector San Carlos, se recomienda ver el Anexo 19.

Figura 68

Esquema referencial del flujo de detritos del sector San Carlos



Nota. Elaboración propia.

e) Caudales de barro

Para el cálculo de los caudales de barro, se harán uso de las siguientes fórmulas propuestas por Takahashi:

i) Caudal máximo de barro:

$$Q_b = \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s - \gamma_b} \right) Q_l$$

Donde:

Q_b: Caudal máximo de barro (m³/s)

γ_s: Peso específico del material sólido (ton/m³)

γ_b: Peso específico del barro (ton/ m³)

γ: Peso específico del agua (ton/ m³)

Q_l: Caudal líquido (m³/s)

ii) Caudal de flujo de detritos de Takahashi:

$$Q_{ht} = \left(\frac{C^*}{C^* - C_v} \right) Q_l$$

Donde:

Q_{ht}: Caudal de flujo de detritos de Takahashi (m³/s)

C*: Concentración máxima del material en reposo (0.6)

C_v: Concentración volumétrica

Q_l: Caudal líquido (m³/s)

iii) Caudal de flujo de detritos de Sokolov:

$$Q_{hs} = K(1 + \beta)Q_l$$

Donde:

Q_{hs}: Caudal de flujo de detritos de Sokolov (m³/s)

K: Coeficiente de mezcla bifásica de la quebrada (3.0)

β: Coeficiente de contenido de líquidos y sólidos (Equivalente a C_v)

Q_l: Caudal líquido (m³/s)

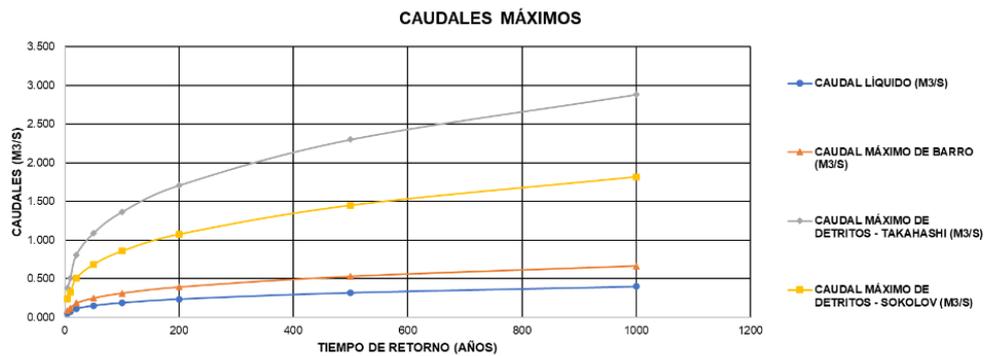
Con las fórmulas propuestas, se procedió a calcular los caudales propuestos según la Tabla 65 y para mayor contraste y comparación, se plasmaron los resultados en la Figura 69.

Tabla 65
Caudales máximos

Tr (años)	Q _l (m ³ /s)	Q _b (m ³ /s)	Q _{hT} (m ³ /s)	Q _{hs} (m ³ /s)
5	0.053	0.088	0.381	0.240
10	0.071	0.119	0.513	0.324
20	0.112	0.186	0.806	0.508
50	0.151	0.251	1.086	0.685
100	0.189	0.314	1.361	0.858
200	0.236	0.394	1.706	1.076
500	0.319	0.531	2.299	1.450
1000	0.399	0.666	2.882	1.817

Nota. Elaboración propia.

Figura 69
Caudales máximos.



Nota. Elaboración propia.

Para el cálculo de los caudales sólidos, se tuvieron en cuenta las propiedades de la calicata C – 02 por ser extraída de la misma huella de detritos de eventos pasados, teniendo en consideración su origen en la parte alta de la quebrada y su traslado hacia la zona poblada del sector. Dicha muestra de flujo consideró tanto las arenas presentes en los cerros como también el material gravoso proveniente de la meteorización de la Formación Cañete Superior.

5.4. RAMMS Debris Flow

5.4.1. Generación de la topografía

Para la generación de la topografía, se necesitó una imagen estereoscópica del satélite peruano PeruSat – 1, operado por la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), debido a la falta de opción de solicitud de imagen estéreo, se hicieron pedidos en mono, con la finalidad de obtener 3 ángulos de toma distintos del satélite y poder generar el modelo digital de superficie de la zona de estudio, a continuación se muestra el estado de las imágenes brindadas por la entidad.

Tabla 66

Estado de imágenes descargadas del sistema COF

Nombre del pedido	Zona	Sensor	Producto	Nivel	Estado
CO_2206062343361	Lima	PeruSat - 1	Pancro	Orto rectificada	Descartada
CO_2207042032228	Lima	PeruSat - 1	Pancro + MS	Orto rectificada	Descartada
CO_2207231525287	Lima	PeruSat - 1	Pancro + MS	Sensor primario	Descartada
CO_2208081800187	Lima	PeruSat - 1	Pancro + MS	Sensor primario	Descartada
CO_2208081802202	Lima	PeruSat - 1	Pancro + MS	Sensor primario	Utilizada
CO_2208230509229	Lima	PeruSat - 1	Pancro + MS	Sensor primario	Utilizada
CO_2209290210028	Lima	PeruSat - 1	Pancro + MS	Sensor primario	Utilizada

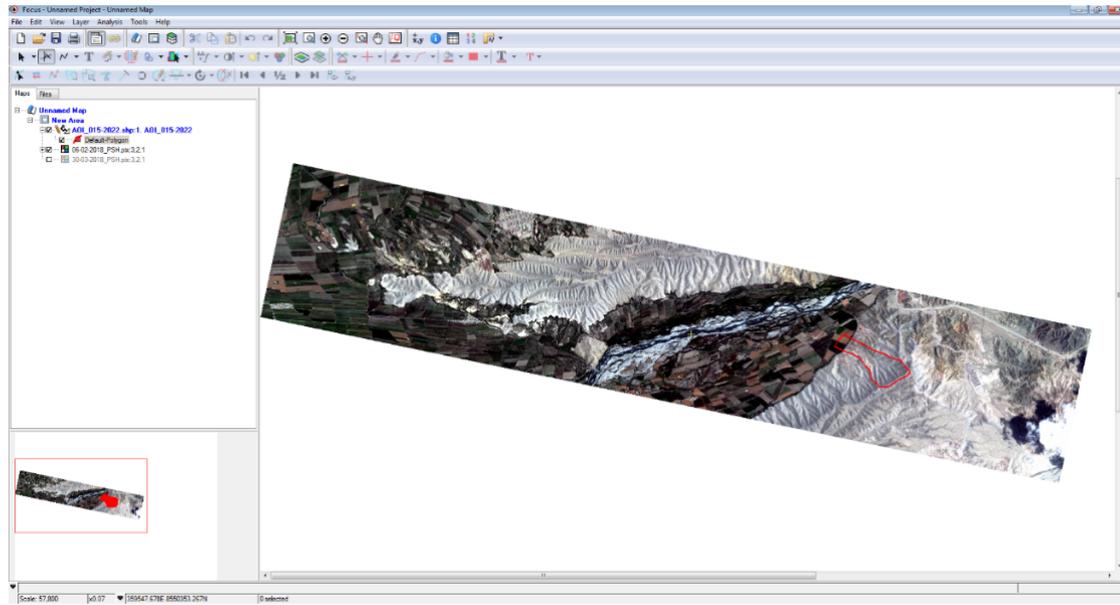
Nota. Elaboración propia.

Para el procesamiento de las imágenes útiles seleccionadas, se utilizó el software PCI Geomática, el procedimiento fue el siguiente:

a) Lectura de la información satelital: Como se tuvieron 3 productos de distintas fechas, se muestran en las siguientes imágenes, según las Figura 70, 71 y 72.

Figura 70

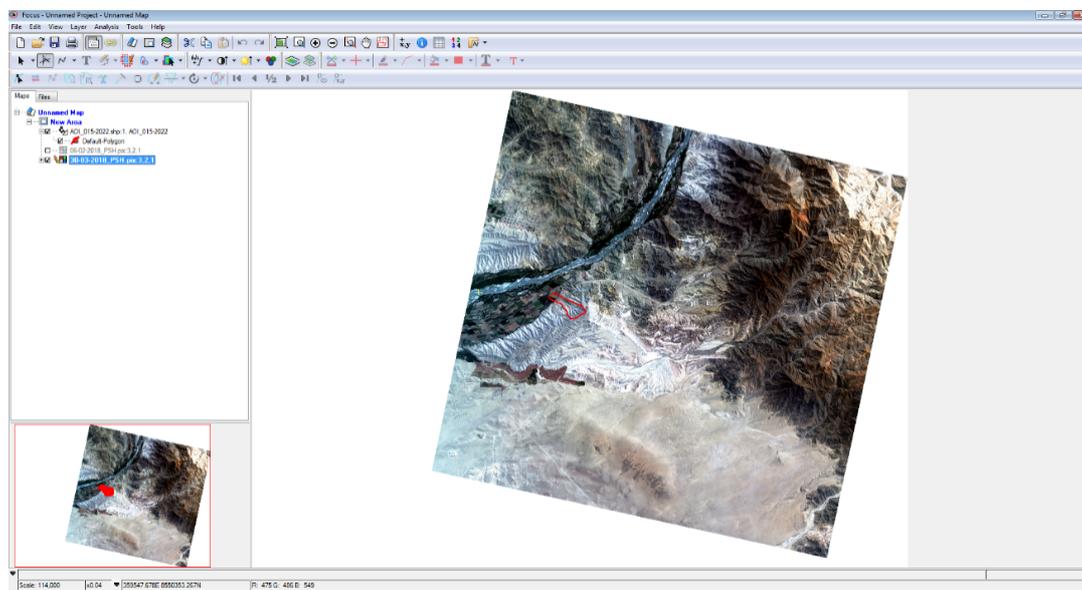
Visualización de la escena del 06/02/2018 PeruSat-1.



Nota. Imágenes de @CONIDA (2022), Distribución CONIDA, República de Perú, todos los derechos reservados

Figura 71

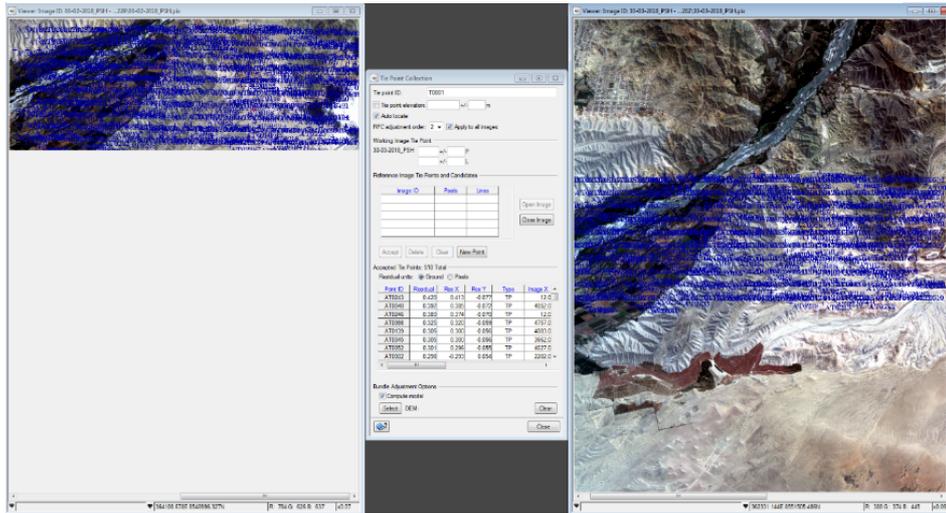
Visualización de la escena del 30/03/2018 PeruSat-1.



Nota. Imágenes de @CONIDA (2022), Distribución CONIDA, República de Perú, todos los derechos reservados

Figura 72

Medición de puntos de amarre (Tie points) entre ambas escenas.



Nota. Elaboración propia.

b) Procesamiento fotogramétrico satelital: Para este procesamiento se deben tener en cuenta 2 procesos que son la medición de los puntos de amarre, los cuales son puntos en común de las imágenes seleccionadas para la superposición y posterior Pansharpening (véase Figura 72) y el error medio cuadrático del ajuste fotogramétrico, donde se muestran algunas desviaciones entre las imágenes a componer (véase Figura 73)

Figura 73

Error medio cuadrático del ajuste fotogramétrico.

Residual Summary for 2 Images

Category	X RMS	Y RMS	Z RMS
GCPs: 0			
Check points: 0			
Tie points: 510	0.136	0.025	0.280

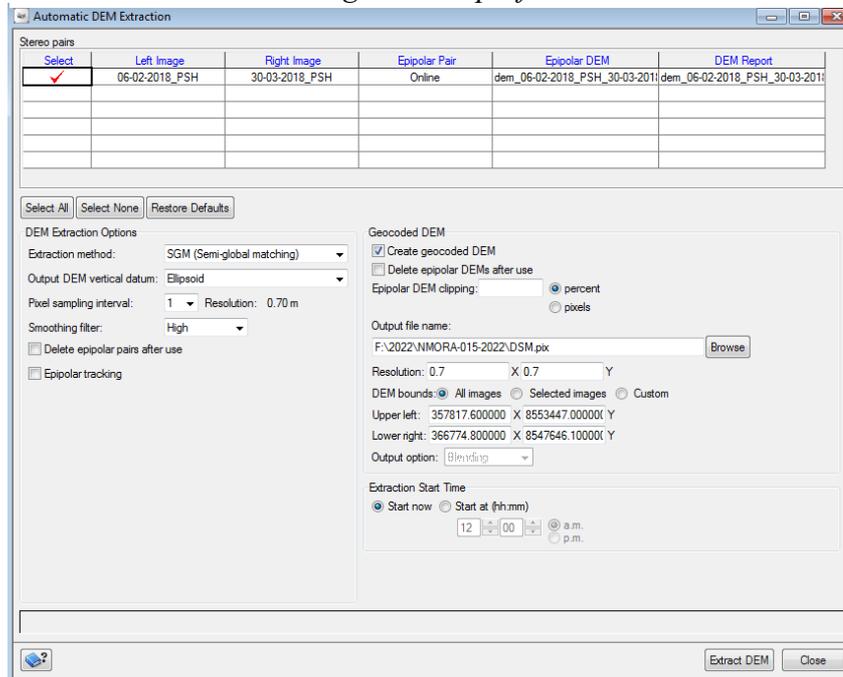
RMS (x, y, z) for worst 5% of points in list: 0.286, 0.052, 0.246

Point ID	Res	Res X	Res Y	Res Z (m)	Type	Image ID	Ground X	Ground Y	Ground Z
AT0243	0.420	0.413	-0.077	0.325	TP	30-03-2018_PSH	359523.064	8551800.834	415.435
AT0243	0.409	-0.403	0.071	0.325	TP	06-02-2018_PSH	359523.064	8551800.834	415.438
AT0040	0.392	0.385	-0.072	0.221	TP	30-03-2018_PSH	362278.304	8550788.740	271.075
AT0040	0.382	-0.376	0.067	0.221	TP	06-02-2018_PSH	362278.304	8550788.740	271.075
AT0246	0.380	0.374	-0.070	0.205	TP	30-03-2018_PSH	359301.811	8550794.335	249.158
AT0246	0.371	-0.365	0.065	0.205	TP	06-02-2018_PSH	359301.811	8550794.335	249.158
AT0366	0.325	0.320	-0.058	0.227	TP	30-03-2018_PSH	362807.613	8550833.423	281.296

Nota. Elaboración propia.

Finalmente, compuestas las imágenes y calzadas según sus ángulos de incidencia (en este caso 3 ángulos distintos) se procedió a generar el DEM con los pares epipolares coincidentes según la Figura 74.

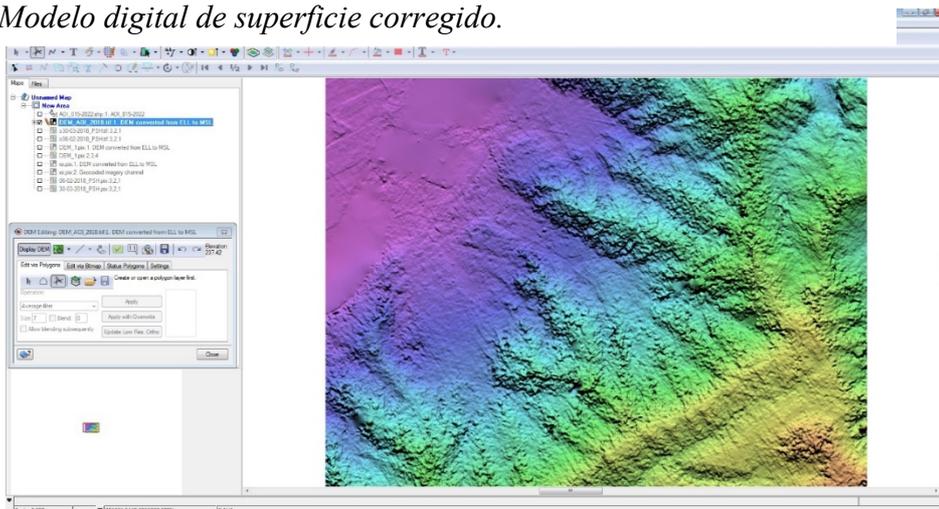
Figura 74
Generación del modelo digital de superficie.



Nota. Elaboración propia.

El cual se puede visualizar de la siguiente manera (Figura 75)

Figura 75
Modelo digital de superficie corregido.

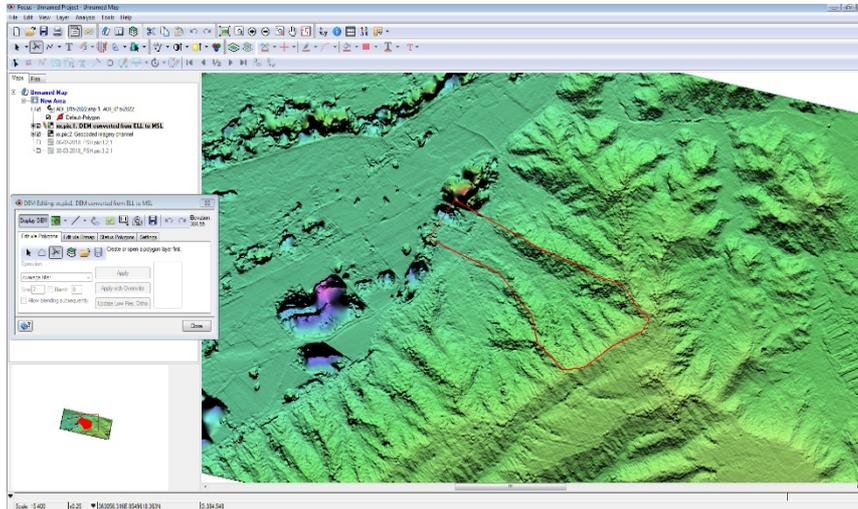


Nota. Elaboración propia.

Como las imágenes son tomadas en distintas fechas, el modelo generado contiene errores de visualización evidentes en la Figura 76, sin embargo, son fácilmente corregibles mediante filtros adecuados para nuestra topografía.

Figura 76

Visualización del modelo y edición de sectores defectuosos.



Nota. Elaboración propia.

Como resultado de todos los procesamientos, se obtiene una imagen pancromática y multiespectral de alta calidad (resolución 0.70m), la cual servirá para la identificación geológica y geomorfológica del sector San Carlos, según la Figura 77.

Figura 77

Orto imagen multiespectral del sector San Carlos.

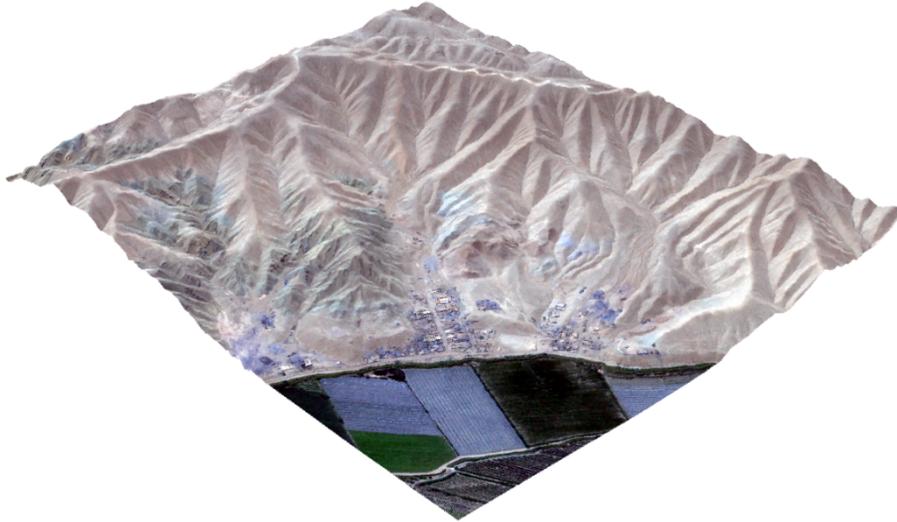


Nota. Elaboración Propia.

El cual se puede exportar al ArcScene 10.5 y visualizarlo en 3D modificando la opción de extrusión sobre un DEM (véase Figura 78).

Figura 78

Visualización del sector San Carlos en ArcScene 10.5.



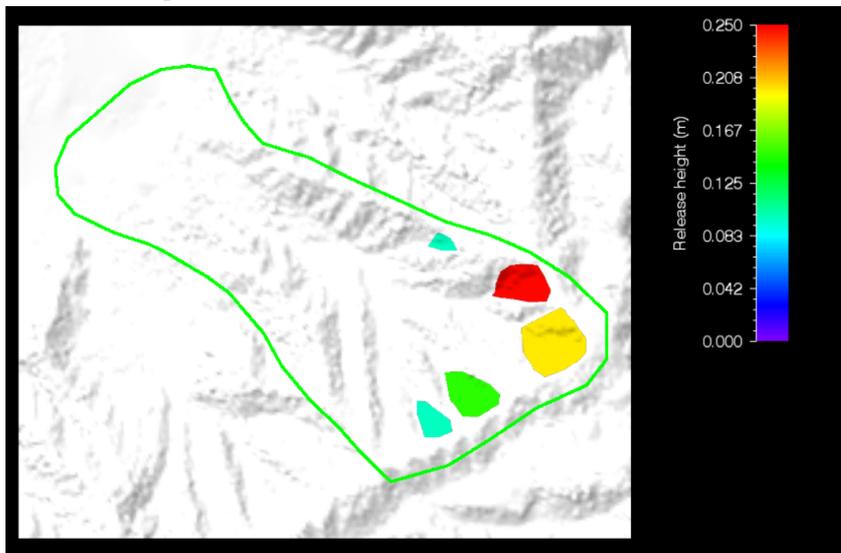
Nota. Elaboración propia.

5.4.2. Cálculo de parámetros de entrada

Para el cálculo de los parámetros de entrada, fue necesaria la estimación del tiempo de simulación del evento (2200 segundos), dominio (zona de interés), releases (zona propensa a desprenderse y/o originadora del movimiento en base al estudio hidrológico), parámetros geotécnicos (densidad 2.5 kg/m³) y de resistencia ($\mu = 0.100$ y un $\xi = 120$), todo ello es resumido en la Figura 79

Figura 79

Modelo con parámetros de entrada en RAMMS.



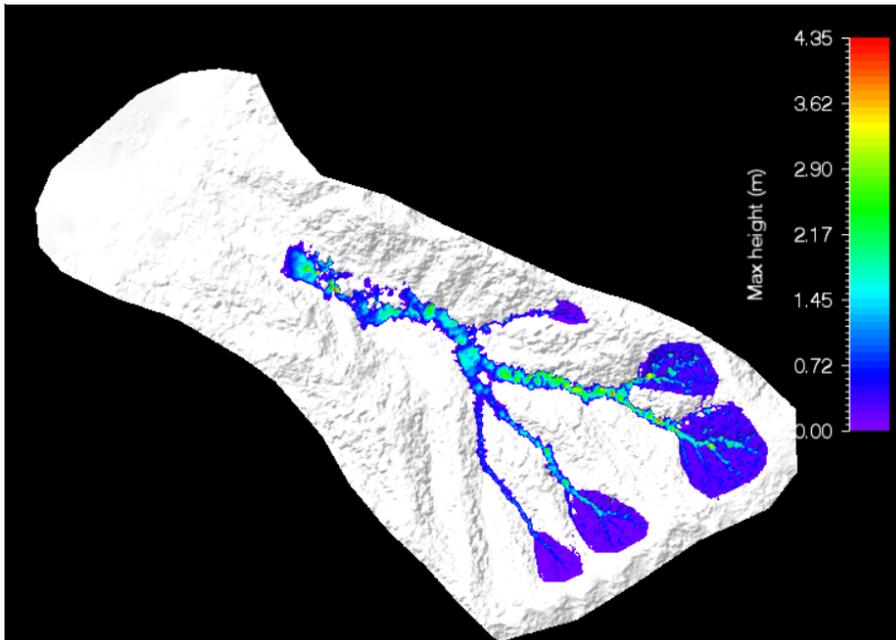
Nota. Elaboración propia.

5.4.3. Simulación y salida de resultados

Una vez terminada la simulación, se proceden a verificar los resultados de velocidades y máximos tirantes. En este último se observan algunos detalles topográficos (pequeños sumideros) propios del modelo, el cual tienen una repercusión casi nula en la simulación, según las Figuras 80-81:

Figura 80

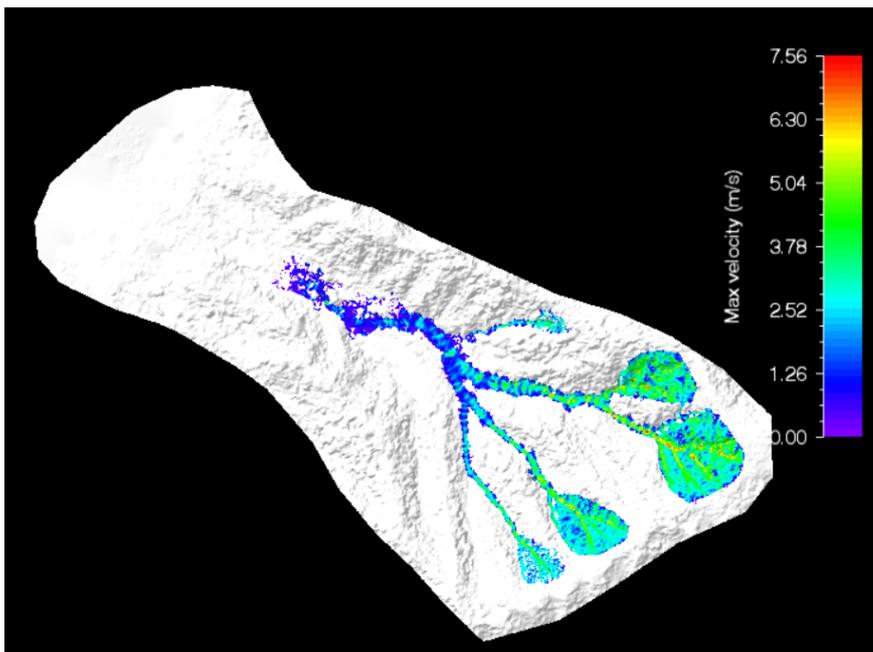
Calados máximos de la simulación.



Nota. Elaboración propia.

Figura 81

Velocidades máximas de la simulación.



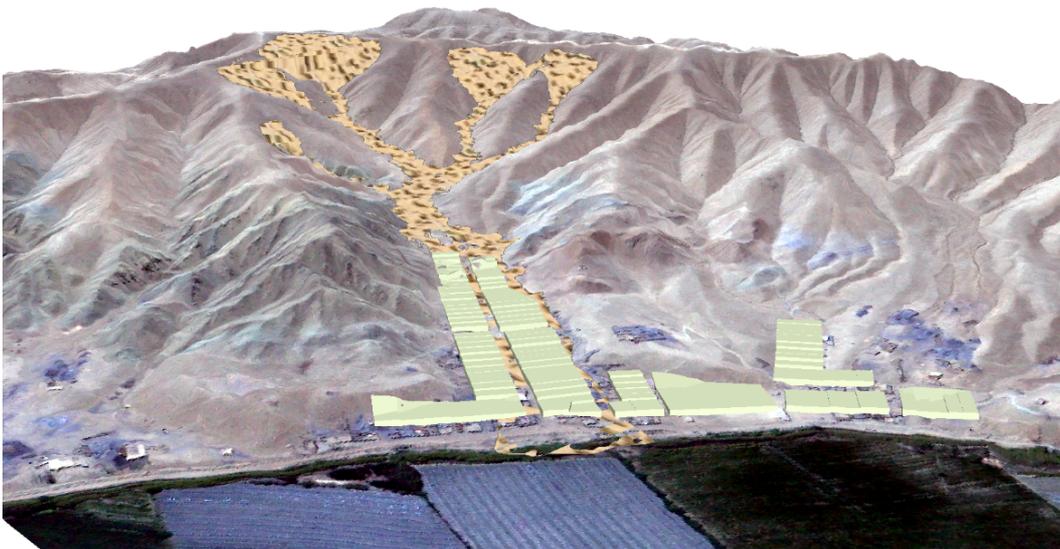
Nota. Elaboración propia.

El tiempo de retorno elegido para la simulación del flujo de detritos fue de 50 años, debido a que los caudales anteriores a este período no generan un movimiento en masa considerable. Además, en los 40 años de existencia del poblado, el fenómeno solo ha ocurrido una vez, dándonos un indicio de la elección del período de retorno.

El shape de huella de detritos simulada se exportó al ArcScene para tener una visualización completa sobre la situación de San Carlos, tal como muestra la Figura 82.

Figura 82

Visualización de la simulación en 3D con ArcScene 10.5



Nota. Elaboración propia.

Para la calibración del modelo se tomaron en cuenta los anchos de la huella encontrados en campo, tanto en la inspección visual como en la excavación de las calicatas.

Con estos resultados se procedió a elaborar la evaluación de riesgo por flujo de detritos.

5.5. Evaluación del riesgo por flujo de detritos

5.5.1. Evaluación del peligro

Para este análisis, se tomará como parámetro de evaluación al tiempo de retorno del evento, cada año analizado presenta sus características propias reales como precipitación acumulada, intensidad, duración, frecuencia, caudales, etc. Por lo cual, es viable seleccionarlo y analizarlo.

a) Parámetros de evaluación

El tiempo de retorno fue analizado mediante la metodología Saaty, propuesta por el CENEPRED, realizando el siguiente proceso mostrado en la Tabla 67, 68, 69 y 70.

Tabla 67

Matriz de comparación de pares del parámetro de evaluación

	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
5 años	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
10 años	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
25 años	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
50 años	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
100 años	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/Suma	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 68

Matriz de normalización del parámetro de evaluación

	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Vector priorización	%
5 años	0.56	0.64	0.52	0.43	0.36	0.503	50.28
10 años	0.19	0.21	0.31	0.31	0.28	0.260	26.02
25 años	0.11	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134	13.44
50 años	0.08	0.04	0.03	0.06	0.12	0.068	6.78
100 años	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.035	3.48

Nota. Elaboración propia.

Tabla 69*Matriz de relación de consistencia del parámetro de evaluación*

	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	Vector suma ponderada	Máx.
5 años	0.50	0.78	0.67	0.47	0.31	2.74	5.46
10 años	0.17	0.26	0.40	0.34	0.24	1.41	5.43
25 años	0.10	0.09	0.13	0.20	0.17	0.70	5.20
50 años	0.07	0.05	0.04	0.07	0.10	0.34	5.03
100 años	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.18	5.09

Nota. Elaboración propia.**Tabla 70***Resultados del parámetro de evaluación*

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Nota. Elaboración propia.

b) Factor condicionante

Según la génesis asociada al flujo de detritos en el sector, se identificaron 3 parámetros condicionantes del fenómeno y 1 desencadenante, los cuales vienen representados por la siguiente tabla:

Tabla 71*Factores asociados a la evaluación de susceptibilidad*

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
Pendiente	
Geología	Precipitación anómala
Geomorfología	

Nota. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta dichos parámetros, se debe realizar el análisis multicriterio de Saaty para cada uno de ellos, con sus respectivos rangos de validación (véase Tablas 72-73-74-75).

Tabla 72*Matriz de comparación de pares de los parámetros condicionantes*

	Pendiente	Geología	Geomorfología
Pendiente	1.00	3.00	5.00
Geología	0.33	1.00	3.00
Geomorfología	0.20	0.33	1.00
Suma	1.53	4.33	9.00
1/Suma	0.65	0.23	0.11

Nota. Elaboración propia.**Tabla 73***Matriz de normalización de los parámetros condicionantes*

	Pendiente	Geología	Geomorfología	Vector priorización	%
Pendiente	0.65	0.69	0.56	0.633	63.33
Geología	0.22	0.23	0.33	0.260	26.05
Geomorfología	0.13	0.08	0.11	0.106	10.62

Nota. Elaboración propia.**Tabla 74***Matriz de relación de consistencia de pares de los parámetros condicionantes*

	Pendiente	Geología	Geomorfología	Vector suma ponderada	Máx.
Pendiente	0.63	0.78	0.53	1.946	3.07
Geología	0.21	0.26	0.32	0.790	3.03
Geomorfología	0.13	0.09	0.11	0.320	3.01

Nota. Elaboración propia.**Tabla 75***Resultados de los parámetros condicionantes*

Índice de consistencia (IC)	0.019
Relación de consistencia (RC)	0.037

Nota. Elaboración propia.

i) Pendiente

Para la evaluación de este parámetro, se generó un ráster de pendientes de la quebrada en base a la topografía brindada por la imagen ALOSPALSAR, utilizada también en la delimitación y cálculo de parámetros geomorfológicos de la zona. Los valores obtenidos fueron reclasificados en 5 rangos, según la Tabla 76.

Tabla 76
Rangos del factor pendiente del terreno

Descripción	Rango
Muy alta (>25°)	>25°
Alta (15-25°)	15-25°
Moderada (10-15°)	10-15°
Baja (5-10°)	5-10°
Muy baja (0-5°)	0-5°

Nota. Elaboración propia.

Dichos nuevos valores son válidos para el análisis multicriterio de Saaty (véase Tablas 77, 78, 79, 80):

Tabla 77
Matriz de Comparación de pares del parámetro pendiente

	>25°	15-25°	10-15°	5-10°	0-5°
>25°	1.00	3.00	5.00	6.00	9.00
15-25°	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
10-15°	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
5-10°	0.17	0.20	0.33	1.00	3.00
0-5°	0.11	0.17	0.20	0.33	1.00
Suma	1.81	4.70	9.53	15.33	24.00
1/Suma	0.55	0.21	0.10	0.07	0.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 78*Matriz de Normalización de pares del parámetro pendiente*

	>25°	15-25°	10-15°	5-10°	0-5°	Vector suma ponderada	Máx.
>25°	0.50	0.77	0.69	0.43	0.33	2.72	5.47
15-25°	0.17	0.26	0.41	0.36	0.22	1.41	5.49
10-15°	0.10	0.09	0.14	0.22	0.18	0.72	5.22
5-10°	0.08	0.05	0.05	0.07	0.11	0.36	5.02
0-5°	0.06	0.04	0.03	0.02	0.04	0.19	5.13

Nota. Elaboración propia.**Tabla 79***Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro pendiente*

Índice de consistencia (IC)	0.066
Relación de consistencia (RC)	0.060

Nota. Elaboración propia.**Tabla 80***Resultados del parámetro pendiente*

	>25°	15-25°	10-15°	5-10°	0-5°	Vector priorización	%
>25°	0.55	0.64	0.52	0.39	0.38	0.496	49.62
15-25°	0.18	0.21	0.31	0.33	0.25	0.258	25.75
10-15°	0.11	0.07	0.10	0.20	0.21	0.138	13.80
5-10°	0.09	0.04	0.03	0.07	0.13	0.072	7.20
0-5°	0.06	0.04	0.02	0.02	0.04	0.036	3.62

Nota. Elaboración propia.

ii) Geología

Para la evaluación de este parámetro, se tuvieron en cuenta los mapas de geología regional 1: 50 000 del INGEMMET, lo cual fue contrastado en las visitas a la zona y apoyo con el producto satelital procesado con imágenes proveídas por el satélite PeruSat – 1, mediante la CONIDA. Dentro del análisis se encontraron 5 formaciones, las cuales sirvieron como insumo para realizar el análisis multicriterio de Saaty (véase Tablas 81, 82, 83, 84, 85):

Tabla 81*Rangos del parámetro geología*

Descripción	Nomenclatura
Depósito Reciente	D-r
Depósito Antiguo	D-a
Depósito Aluvial	Q-al
Formación Atocongo	Ki-at
Formación Cañete Superior	Qpl-c_s

Nota. Elaboración propia.**Tabla 82***Matriz de Comparación de pares del parámetro geología*

	D-r	D-a	Q-al	Ki-at	Qpl-c_s
D-r	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
D-a	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Q-al	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Ki-at	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Qpl-c_s	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/Suma	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

Nota. Elaboración propia.**Tabla 83***Matriz de Normalización de pares del parámetro geología*

	D-r	D-a	Q-al	Ki-at	Qpl-c_s	Vector priorización	%
D-r	0.56	0.64	0.52	0.43	0.36	0.503	50.28
D-a	0.19	0.21	0.31	0.31	0.28	0.260	26.02
Q-al	0.11	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134	13.44
Ki-at	0.08	0.04	0.03	0.06	0.12	0.068	6.78
Qpl-c_s	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.035	3.48

Nota. Elaboración propia.

Tabla 84*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro geología*

	D-r	D-a	Q-al	Ki-at	Qpl-c_s	Vector suma ponderada	Máx.
D-r	0.50	0.78	0.67	0.47	0.31	2.74	5.46
D-a	0.17	0.26	0.40	0.34	0.24	1.41	5.43
Q-al	0.10	0.09	0.13	0.20	0.17	0.70	5.20
Ki-at	0.07	0.05	0.04	0.07	0.10	0.34	5.03
Qpl-c_s	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.18	5.09

Nota. Elaboración propia.**Tabla 85***Resultados del parámetro geología*

Índice de consistencia (IC)	0.061
Relación de consistencia (RC)	0.054

Nota. Elaboración propia.

iii) Geomorfología

Para la evaluación de este factor, se tuvieron en cuenta los criterios de las cartas geomorfológicas presentes en el geoportal del INGEMMET, lo cual fue contrastado con el producto satelital obtenido de las imágenes del satélite PeruSat – 1 y las visitas a la zona de estudio. Se identificaron 5 rangos a evaluar mediante el análisis multicriterio de Saaty (véase Tablas 86, 87, 88, 89, 90):

Tabla 86*Rangos del parámetro geomorfología*

Descripción	Nomenclatura
Llanura o planicie aluvial	P-a
Glacis	Gl
Cono aluvial	C-al
Talud de detritos	T-d
Colina lomada en roca sedimentaria	Cl-rs

Nota. Elaboración propia.

Tabla 87*Matriz de Comparación de pares del parámetro geomorfología*

	P-a	Gl	C-al	T-d	Cl-rs
P-a	1.00	3.00	5.00	6.00	9.00
Gl	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
C-al	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
T-d	0.17	0.20	0.33	1.00	3.00
Cl-rs	0.11	0.17	0.20	0.33	1.00
Suma	1.81	4.70	9.53	15.33	24.00
1/Suma	0.55	0.21	0.10	0.07	0.04

Nota. Elaboración propia.**Tabla 88***Matriz de Normalización de pares del parámetro geomorfología*

	P-a	Gl	C-al	T-d	Cl-rs	Vector priorización	%
P-a	0.55	0.64	0.52	0.39	0.38	0.496	49.62
Gl	0.18	0.21	0.31	0.33	0.25	0.258	25.75
C-al	0.11	0.07	0.10	0.20	0.21	0.138	13.80
T-d	0.09	0.04	0.03	0.07	0.13	0.072	7.20
Cl-rs	0.06	0.04	0.02	0.02	0.04	0.036	3.62

Nota. Elaboración propia.**Tabla 89***Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro geomorfología*

	P-a	Gl	C-al	T-d	Cl-rs	Vector suma ponderada	Máx.
P-a	0.50	0.77	0.69	0.43	0.33	2.72	5.47
Gl	0.17	0.26	0.41	0.36	0.22	1.41	5.49
C-al	0.10	0.09	0.14	0.22	0.18	0.72	5.22
T-d	0.08	0.05	0.05	0.07	0.11	0.36	5.02
Cl-rs	0.06	0.04	0.03	0.02	0.04	0.19	5.13

Nota. Elaboración propia.

Tabla 90*Resultados del parámetro geomorfología*

Índice de consistencia (IC)	0.066
Relación de consistencia (RC)	0.060

Nota. Elaboración propia.

c) Factor desencadenante

Para la evaluación del factor desencadenante, se tuvo en consideración el parámetro precipitación, el cual es el detonante para el origen del fenómeno del flujo de detritos en la zona. Los rangos obtenidos corresponden a la excedencia en porcentajes de su normal climático o media climática de precipitación (según umbrales calculados), los cuales se evaluaron mediante el análisis multicriterio de Saaty (véase Tablas 91, 92, 93, 94, 95):

Tabla 91*Rangos del parámetro precipitación*

Descripción	Nomenclatura
60-80% superior a su normal climático (S60)	S60
40-60% superior a su normal climático (S40)	S40
30-40% superior a su normal climático (S30)	S30
25-30% superior a su normal climático (S25)	S25
20-25% superior a su normal climático (S20)	S20

Nota. Elaboración propia.

Tabla 92*Matriz de Comparación de pares del parámetro precipitación*

	S60	S40	S30	S25	S20
S60	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
S40	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00
S30	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
S25	0.25	0.33	0.50	1.00	2.00
S20	0.20	0.25	0.33	0.50	1.00
Suma	2.28	4.08	6.83	10.50	15.00
1/Suma	0.44	0.24	0.15	0.10	0.07

Nota. Elaboración propia.

Tabla 93*Matriz de Normalización de pares del parámetro precipitación*

	S60	S40	S30	S25	S20	Vector priorización	%
S60	0.44	0.49	0.44	0.38	0.33	0.416	41.62
S40	0.22	0.24	0.29	0.29	0.27	0.262	26.18
S30	0.15	0.12	0.15	0.19	0.20	0.161	16.11
S25	0.11	0.08	0.07	0.10	0.13	0.099	9.86
S20	0.09	0.06	0.05	0.05	0.07	0.062	6.24

Nota. Elaboración propia.**Tabla 94***Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro precipitación*

	S60	S40	S30	S25	S20	Vector suma ponderad a	Máx.
S60	0.42	0.52	0.4 8	0.3 9	0.3 1	2.13	5.12
S40	0.21	0.26	0.3 2	0.3 0	0.2 5	1.34	5.11
S30	0.14	0.13	0.1 6	0.2 0	0.1 9	0.81	5.06
S25	0.10	0.09	0.0 8	0.1 0	0.1 2	0.50	5.02
S20	0.08	0.07	0.0 5	0.0 5	0.0 6	0.31	5.03

Nota. Elaboración propia.**Tabla 95***Resultados del parámetro precipitación*

Índice de consistencia (IC)	0.017
Relación de consistencia (RC)	0.015

Nota. Elaboración propia.

d) Niveles de peligro

Para el cálculo de los niveles de peligro, se tuvo en cuenta el siguiente escenario:

Que el evento de flujo de detritos tenga un tiempo de retorno de 50 años, como impacto a la zona de estudio, de acuerdo a la poca probabilidad de ocurrencia del fenómeno en la

zona según data histórica de precipitaciones y comentarios de los pobladores más longevos.

Una precipitación de 60% a 80% superior a su normal climático, debido a que las precipitaciones extremas son las desencadenantes del evento. El resultado fue plasmado en la Tabla 96.

Tabla 96
Niveles de peligro del sector San Carlos

Clasificación	Rango
Muy alto	$0.268 \leq P < 0.440$
Alto	$0.180 \leq P < 0.268$
Medio	$0.133 \leq P < 0.180$
Bajo	$0.108 \leq P < 0.133$

Nota. Elaboración propia.

e) Estratificación de los niveles de peligro

Teniendo calculados y analizados los niveles de peligro para el sector San Carlos, según el análisis multicriterio de Saaty, se establece la matriz de la Tabla 97.

Tabla 97
Matriz de peligro

Descripción	Nivel	Rango
Lote en pendiente muy alta (mayor a 25°), construido sobre depósitos geológicos recientes en la llanura o planicie aluvial del sector.	Muy alto	$0.268 \leq P < 0.440$
Lote en pendiente alta (de 15° a 25°), construido sobre depósitos geológicos antiguos en el glacis presente en el sector.	Alto	$0.180 \leq P < 0.268$
Lote en pendiente media (de 10° a 15°), construido sobre depósitos aluviales en el cono aluvial presente en el sector.	Medio	$0.133 \leq P < 0.180$
Lote en pendiente baja a muy baja (de 0° a 10°), construido sobre la formación geológica Atocongo en el talud de detritos presente en el sector.	Bajo	$0.108 \leq P < 0.133$

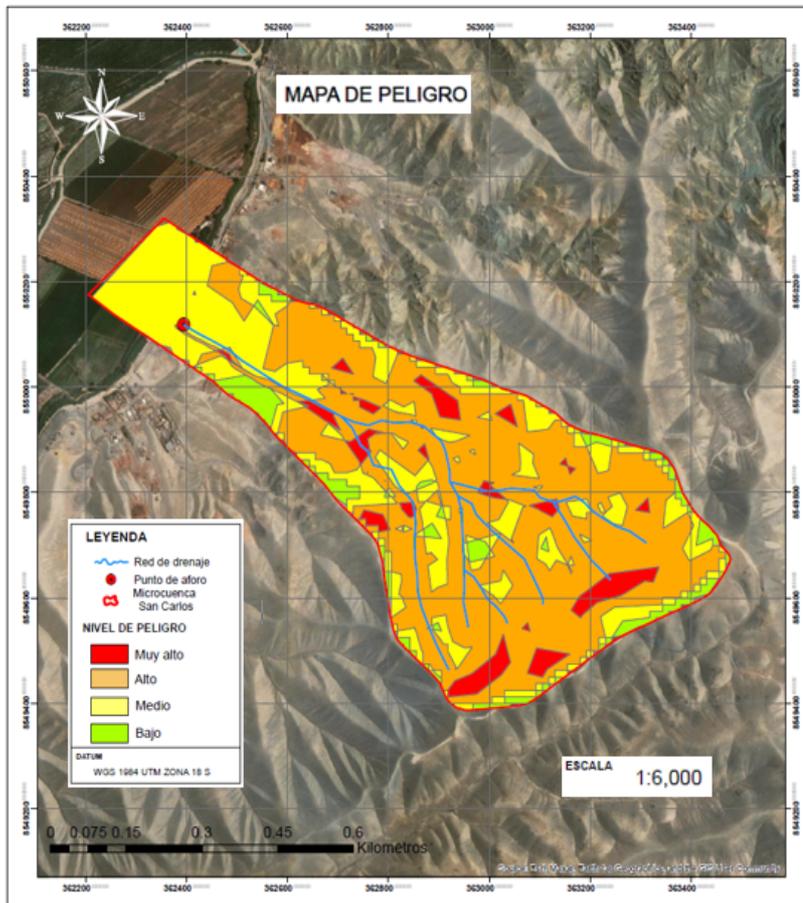
Nota. Elaboración propia.

f) Mapa de peligro

En base a los análisis e inspecciones de campo previamente realizadas, se pueden establecer las zonas de peligro según su nivel (ver Anexo 16)

Figura 83

Mapa de peligro del sector San Carlos



Nota. Elaboración propia.

5.5.2. Evaluación de la vulnerabilidad

Para el análisis de vulnerabilidad de la población de San Carlos, se tuvieron en cuenta las dimensiones social, económica y ambiental. Toda la información recolectada corresponde a la muestra de una persona por lote. Debido a que no se encuentran registrados en las plataformas ni bases de datos del estado, se elaboró el modelo de encuesta presente en el Anexo 4.

a) Factores de evaluación

i) Dimensión social

En cuanto a la evaluación de este factor, se seleccionaron los siguientes parámetros de análisis según la Tabla 98.

Tabla 98*Parámetros a utilizar en los factores de la dimensión social*

Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Cantidad de personas por lote	Servicios higiénicos	Conocimiento local sobre la ocurrencia pasada de desastres
---	Abastecimiento de agua	Capacitación en temas de riesgo de desastre natural
---	Tipo de alumbrado	Actitud frente al riesgo

Nota. Elaboración propia.

Los cuales fueron evaluados mediante el análisis multicriterio de Saaty (véase Tablas 99, 100, 101, 102).

Tabla 99*Matriz de Comparación de pares del parámetro dimensión social*

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	1.00	2.00	3.00
Fragilidad	0.50	1.00	2.00
Resiliencia	0.33	0.50	1.00
Suma	1.83	3.50	6.00
1/Suma	0.55	0.29	0.17

Nota. Elaboración propia.

Tabla 100*Matriz de normalización de pares del parámetro dimensión social*

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector priorización	%
Exposición	0.55	0.57	0.50	0.539	53.90
Fragilidad	0.27	0.29	0.33	0.297	29.73
Resiliencia	0.18	0.14	0.17	0.164	16.38

Nota. Elaboración propia.**Tabla 101***Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro dimensión social*

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector suma ponderada	Máx.
Exposición	0.54	0.59	0.49	1.625	3.01
Fragilidad	0.27	0.30	0.33	0.894	3.01
Resiliencia	0.18	0.15	0.16	0.492	3.00

Nota. Elaboración propia.**Tabla 102***Resultados del parámetro dimensión social*

Índice de consistencia (IC)	0.0046
Relación de consistencia (RC)	0.0088

Nota. Elaboración propia.**Exposición social**

Para la evaluación de este factor, sólo se tomó en cuenta a la cantidad de personas por lote, levantado de las encuestas realizadas a la población, la ponderación se muestra en la Tabla 103.

Tabla 103*Parámetros utilizados en el factor exposición de la dimensión social*

Exposición social	Vector priorización
Cantidad de personas por lote	1.00
Suma	1.00

Nota. Elaboración propia.

Análisis de la cantidad de personas por lote, ver Tablas 104, 105, 106 y 107.

Tabla 104

Matriz de Comparación de pares del parámetro número de personas a nivel lote

	Más de 6	De 3 a 6	De 1 a 3	Persona sola	Deshabitado
Más de 6	1.00	2.00	3.00	5.00	6.00
De 3 a 6	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
De 1 a 3	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
Persona sola	0.20	0.33	0.50	1.00	3.00
Deshabitado	0.17	0.20	0.33	0.33	1.00
Suma	2.20	4.03	6.83	11.33	18.00
1/Suma	0.45	0.25	0.15	0.09	0.06

Nota. Elaboración propia.

Tabla 105

Matriz de Normalización de pares del parámetro número de personas a nivel lote

	Más de 6	De 3 a 6	De 1 a 3	Persona sola	Deshabitado	Vector priorización	%
Más de 6	0.45	0.50	0.44	0.44	0.33	0.433	43.28
De 3 a 6	0.23	0.25	0.29	0.26	0.28	0.262	26.21
De 1 a 3	0.15	0.12	0.15	0.18	0.17	0.153	15.30
Persona sola	0.09	0.08	0.07	0.09	0.17	0.100	10.03
Deshabitado	0.08	0.05	0.05	0.03	0.06	0.052	5.18

Nota. Elaboración propia.

Tabla 106

Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro número de personas a nivel lote

	Más de 6	De 3 a 6	De 1 a 3	Persona sola	Deshabitado	Vector suma ponderada	Máx .
Más de 6	0.43	0.52	0.46	0.50	0.31	2.228	5.15
De 3 a 6	0.22	0.26	0.31	0.30	0.26	1.345	5.13
De 1 a 3	0.14	0.13	0.15	0.20	0.16	0.784	5.13
Persona sola	0.09	0.09	0.08	0.10	0.16	0.506	5.05
Deshabitado	0.07	0.05	0.05	0.03	0.05	0.261	5.03

Nota. Elaboración propia.

Tabla 107

Resultados del parámetro número de personas a nivel lote

Índice de consistencia (IC)	0.0242
Relación de consistencia (RC)	0.0217

Nota. Elaboración propia.

Fragilidad social

En el caso de la fragilidad social, se tuvieron en cuenta los factores de servicios básicos de la población de la quebrada San Carlos, como detalle se tienen las Tablas 108, 109, 110 y 111.

Tabla 108

Matriz de Comparación de pares del factor fragilidad social

	Abastecimiento de agua	Servicios Higiénicos	Tipo de alumbrado
Abastecimiento de agua	1.00	2.00	4.00
Servicios Higiénicos	0.50	1.00	3.00
Tipo de alumbrado	0.25	0.33	1.00
Suma	1.75	3.33	8.00
1/Suma	0.57	0.30	0.13

Nota. Elaboración propia.

Tabla 109*Matriz de Normalización de pares del factor fragilidad social*

	Servicios higiénicos	Abastecimiento de agua	Tipo de alumbrado	Vector priorización	%
Servicios higiénicos	0.57	0.60	0.50	0.557	55.71
Abastecimiento de agua	0.29	0.30	0.38	0.320	32.02
Tipo de alumbrado	0.14	0.10	0.13	0.123	12.26

Nota. Elaboración propia.**Tabla 110***Matriz de Relación de Consistencia de pares del factor fragilidad social*

	Servicios higiénicos	Abastecimiento de agua	Tipo de alumbrado	Vector suma ponderada	Máx.
Servicios higiénicos	0.56	0.64	0.49	1.688	3.03
Abastecimiento de agua	0.28	0.32	0.37	0.967	3.02
Tipo de alumbrado	0.14	0.11	0.12	0.369	3.01

Nota. Elaboración propia.**Tabla 111***Resultados del factor fragilidad social*

Índice de consistencia (IC)	0.0092
Relación de consistencia (RC)	0.0175

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro servicios higiénicos, ver Tablas 112, 113, 114 y 115.

Tabla 112

Matriz de Comparación de pares del parámetro servicios higiénicos

	No tiene	Río, acequia o canal	Pozo ciego o negro	Letrina	Red pública de desagüe
No tiene	1.00	3.00	4.00	5.00	9.00
Río, acequia o canal	0.33	1.00	2.00	3.00	7.00
Pozo ciego o negro	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
Letrina	0.20	0.33	0.50	1.00	2.00
Red pública de desagüe	0.11	0.14	0.25	0.50	1.00
Suma	1.89	4.98	7.75	11.50	23.00
1/Suma	0.53	0.20	0.13	0.09	0.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 113

Matriz de Normalización de pares del parámetro servicios higiénicos

	No tiene	Río, acequia o canal	Pozo ciego o negro	Letrina	Red pública de desagüe	Vector priorización	%
No tiene	0.53	0.60	0.52	0.43	0.39	0.495	49.46
Río, acequia o canal	0.18	0.20	0.26	0.26	0.30	0.240	24.00
Pozo ciego o negro	0.13	0.10	0.13	0.17	0.17	0.142	14.19
Letrina	0.11	0.07	0.06	0.09	0.09	0.082	8.22
Red pública de desagüe	0.06	0.03	0.03	0.04	0.04	0.041	4.13

Nota. Elaboración propia.

Tabla 114*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro servicios higiénicos*

	No tiene	Río, acequia o canal	Pozo ciego o negro	Letrina	Red pública de desagüe	Vector suma ponderada	Máx.
No tiene	0.49	0.72	0.57	0.41	0.37	2.565	5.19
Río, acequia o canal	0.16	0.24	0.28	0.25	0.29	1.224	5.10
Pozo ciego o negro	0.12	0.12	0.14	0.16	0.17	0.715	5.04
Letrina	0.10	0.08	0.07	0.08	0.08	0.415	5.05
Red pública de desagüe	0.05	0.03	0.04	0.04	0.04	0.207	5.01

Nota. Elaboración propia.**Tabla 115***Resultados del parámetro servicios higiénicos*

Índice de consistencia (IC)	0.0193
Relación de consistencia (RC)	0.0173

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro abastecimiento de agua, ver tablas 116, 117, 118 y 119.

Tabla 116

Matriz de Comparación de pares del parámetro abastecimiento de agua

	No tiene	Río, acequia o manantial	Camión cisterna	Pilón de uso público	Red pública
No tiene	1.00	3.00	4.00	5.00	9.00
Río, acequia o manantial	0.33	1.00	3.00	4.00	7.00
Camión cisterna	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00
Pilón de uso público	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
Red pública	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.89	4.73	8.53	13.33	25.00
1/Suma	0.53	0.21	0.12	0.08	0.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 117

Matriz de Normalización de pares del parámetro número de personas a nivel lote

	No tiene	Río, acequia o manantial	Camión cisterna	Pilón de uso público	Red pública	Vector priorización	%
No tiene	0.53	0.63	0.47	0.38	0.36	0.473	47.33
Río, acequia o manantial	0.18	0.21	0.35	0.30	0.28	0.264	26.38
Camión cisterna	0.13	0.07	0.12	0.23	0.20	0.149	14.89
Pilón de uso público	0.11	0.05	0.04	0.08	0.12	0.079	7.85
Red pública	0.06	0.03	0.02	0.03	0.04	0.035	3.55

Nota. Elaboración propia.

Tabla 118

Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro número de personas a nivel lote

	No tiene	Río, acequia o manantial	Camión cisterna	Pilón de uso público	Red pública	Vector suma ponderada	Máx
No tiene	0.47	0.79	0.60	0.39	0.32	2.572	5.43
Río, acequia o manantial	0.16	0.26	0.45	0.31	0.25	1.431	5.42
Camión cisterna	0.12	0.09	0.15	0.24	0.18	0.768	5.16
Pilón de uso público	0.09	0.07	0.05	0.08	0.11	0.395	5.03
Red pública	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.182	5.12

Nota. Elaboración propia.

Tabla 119

Resultados del parámetro abastecimiento de agua

Índice de consistencia (IC)	0.0586
Relación de consistencia (RC)	0.0525

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro tipo de alumbrado, ver Tablas 120, 121, 122 y 123.

Tabla 120

Matriz de Comparación de pares del parámetro tipo de alumbrado

	No tiene	Vela y otro	Petróleo, gas o lámpara	Kerosene, mechero o lamparín	Sistema eléctrico
No tiene	1.00	2.00	3.00	5.00	7.00
Vela y otro	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
Petróleo, gas o lámpara	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
Kerosene, mechero o lamparín	0.20	0.33	0.50	1.00	3.00
Sistema eléctrico	0.14	0.20	0.33	0.33	1.00
Suma	2.18	4.03	6.83	11.33	19.00
1/Suma	0.46	0.25	0.15	0.09	0.05

Nota. Elaboración propia.

Tabla 121*Matriz de Normalización de pares del parámetro tipo de alumbrado*

	No tiene	Vela y otro	Petróleo, gas o lámpara	Kerosene, mechero o lamparín	Sistema eléctrico	Vector priorización	%
No tiene	0.46	0.50	0.44	0.44	0.37	0.441	44.08
Vela y otro	0.23	0.25	0.29	0.26	0.26	0.260	25.96
Petróleo, gas o lámpara	0.15	0.12	0.15	0.18	0.16	0.152	15.16
Kerosene, mechero o lamparín	0.09	0.08	0.07	0.09	0.16	0.099	9.88
Sistema eléctrico	0.07	0.05	0.05	0.03	0.05	0.049	4.92

Nota. Elaboración propia.**Tabla 122***Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro tipo de alumbrado*

	No tiene	Vela y otro	Petróleo, gas o lámpara	Kerosene, mechero o lamparín	Sistema eléctrico	Vector suma ponderada	Máx.
No tiene	0.44	0.52	0.45	0.49	0.34	2.253	5.11
Vela y otro	0.22	0.26	0.30	0.30	0.25	1.326	5.11
Petróleo, gas o lámpara	0.15	0.13	0.15	0.20	0.15	0.774	5.10
Kerosene, mechero o lamparín	0.09	0.09	0.08	0.10	0.15	0.497	5.03
Sistema eléctrico	0.06	0.05	0.05	0.03	0.05	0.248	5.03

Nota. Elaboración propia.

Tabla 123*Resultados del parámetro tipo de alumbrado*

Índice de consistencia (IC)	0.0191
Relación de consistencia (RC)	0.0171

Nota. Elaboración propia.**Resiliencia social**

En cuanto a la Resiliencia social, se vio conveniente tomar la reacción y acción de la población ante el fenómeno al cual se encuentran expuestos, para los cuales se procedió a realizar su análisis mediante las Tablas 124, 125, 126 y 127.

Tabla 124*Matriz de Comparación de pares del factor Resiliencia social*

	Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	Capacitación en temas de riesgo de desastre natural	Actitud o interés frente al riesgo y/o prevención
Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	1.00	2.00	3.00
Capacitación en temas de riesgo de desastre natural	0.50	1.00	2.00
Actitud o interés frente al riesgo y/o prevención	0.33	0.50	1.00
Suma	1.83	3.50	6.00
1/Suma	0.55	0.29	0.17

Nota. Elaboración propia.

Tabla 125*Matriz de Normalización de pares del factor Resiliencia social*

	Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	Capacitación en temas de riesgo de desastre natural	Actitud o interés frente al riesgo y/o prevención	Vector priorización	%
Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	0.55	0.57	0.50	0.539	53.90
Capacitación en temas de riesgo de desastre natural	0.27	0.29	0.33	0.297	29.73
Actitud o interés frente al riesgo y/o prevención	0.18	0.14	0.17	0.164	16.38

Nota. Elaboración propia.**Tabla 126***Matriz de Relación de Consistencia de pares del factor Resiliencia social*

	Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	Capacitación en temas de riesgo de desastre natural	Actitud o interés frente al riesgo y/o prevención	Vector suma ponderada	Máx.
Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres	0.54	0.59	0.49	1.625	3.01
Capacitación en temas de riesgo de desastre natural	0.27	0.30	0.33	0.894	3.01
Actitud o interés frente al riesgo y/o prevención	0.18	0.15	0.16	0.492	3.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 127*Resultados del factor Resiliencia social*

Índice de consistencia (IC)	0.0046
Relación de consistencia (RC)	0.0088

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro conocimiento local sobre la ocurrencia pasada de desastres, ver Tablas 128, 129, 130 y 131.

Tabla 128

Matriz de Comparación de pares del parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres

	Desconocimiento	Escaso conocimiento	Regular conocimiento	Mayoría de conocimiento	Buen conocimiento
Desconocimiento	1.00	2.00	3.00	5.00	9.00
Escaso conocimiento	0.50	1.00	3.00	4.00	5.00
Regular conocimiento	0.33	0.33	1.00	3.00	4.00
Mayoría de conocimiento	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
Buen conocimiento	0.11	0.20	0.25	0.33	1.00
Suma	2.14	3.78	7.58	13.33	22.00
1/Suma	0.47	0.26	0.13	0.08	0.05

Nota. Elaboración propia.

Tabla 129*Matriz de Normalización de pares del parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres*

	Desconocimiento	Escaso conocimiento	Regular conocimiento	Mayoría de conocimiento	Buen conocimiento	Vector priorización	%
Desconocimiento	0.47	0.53	0.40	0.38	0.41	0.435	43.49
Escaso conocimiento	0.23	0.26	0.40	0.30	0.23	0.284	28.41
Regular conocimiento	0.16	0.09	0.13	0.23	0.18	0.156	15.64
Mayoría de conocimiento	0.09	0.07	0.04	0.08	0.14	0.083	8.29
Buen conocimiento	0.05	0.05	0.03	0.03	0.05	0.042	4.16

Nota. Elaboración propia.

Tabla 130*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres*

	Desconocimiento	Escaso conocimiento	Regular conocimiento	Mayoría de conocimiento	Buen conocimiento	Vector suma ponderada	Máx.
Desconocimiento	0.43	0.57	0.47	0.41	0.37	2.262	5.20
Escaso conocimiento	0.22	0.28	0.47	0.33	0.21	1.511	5.32
Regular conocimiento	0.14	0.09	0.16	0.25	0.17	0.811	5.19
Mayoría de conocimiento	0.09	0.07	0.05	0.08	0.12	0.418	5.04
Buen conocimiento	0.05	0.06	0.04	0.03	0.04	0.214	5.13

Nota. Elaboración propia.**Tabla 131***Resultados del parámetro conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres*

Índice de consistencia (IC)	0.0437
Relación de consistencia (RC)	0.0392

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro capacitación en temas de riesgo de desastre natural, según las Tablas 132, 133, 134 y 135.

Tabla 132

Matriz de Comparación de pares del parámetro capacitación en temas de riesgos de desastre natural

	Desconocimiento	Escaso conocimiento	Regular conocimiento	Mayoría de conocimiento	Buen conocimiento
Desconocimiento	1.00	3.00	4.00	6.00	7.00
Escaso conocimiento	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
Regular conocimiento	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00
Mayoría de conocimiento	0.17	0.20	0.33	1.00	3.00
Buen conocimiento	0.14	0.17	0.20	0.33	1.00
Suma	1.89	4.70	8.53	15.33	22.00
1/Suma	0.53	0.21	0.12	0.07	0.05

Nota. Elaboración propia.

Tabla 133*Matriz de Normalización de pares del parámetro capacitación en temas de riesgos de desastre natural*

	Desconocimiento	Escaso conocimiento	Regular conocimiento	Mayoría de conocimiento	Buen conocimiento	Vector priorización	%
Desconocimiento	0.53	0.64	0.47	0.39	0.32	0.469	46.90
Escaso conocimiento	0.18	0.21	0.35	0.33	0.27	0.268	26.78
Regular conocimiento	0.13	0.07	0.12	0.20	0.23	0.149	14.86
Mayoría de conocimiento	0.09	0.04	0.04	0.07	0.14	0.074	7.42
Buen conocimiento	0.08	0.04	0.02	0.02	0.05	0.040	4.03

Nota. Elaboración propia.

Tabla 134*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro capacitación en temas de riesgos de desastre natural*

	Desconocimiento	Escaso conocimiento	Regular conocimiento	Mayoría de conocimiento	Buen conocimiento	Vector suma ponderada	Máx.
Desconocimiento	0.47	0.80	0.59	0.45	0.28	2.595	5.53
Escaso conocimiento	0.16	0.27	0.45	0.37	0.24	1.483	5.54
Regular conocimiento	0.12	0.09	0.15	0.22	0.20	0.779	5.24
Mayoría de conocimiento	0.08	0.05	0.05	0.07	0.12	0.376	5.07
Buen conocimiento	0.07	0.04	0.03	0.02	0.04	0.206	5.12

Nota. Elaboración propia.

Tabla 135

Resultados del parámetro capacitación en temas de riesgo de desastre natural

Índice de consistencia (IC)	0.0753
Relación de consistencia (RC)	0.0675

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro actitud o interés frente al riesgo y/o prevención, según las Tablas 136, 137, 138 y 139.

Tabla 136

Matriz de Comparación de pares del parámetro actitud frente al riesgo natural

	Actitud fatalista y conformista	Actitud escasamente previsoría	Actitud parcialmente previsoría (conoce y no previene)	Actitud parcialmente previsoría (conoce y previene)	Actitud completamente previsoría
Actitud fatalista y conformista	1.00	3.00	4.00	6.00	7.00
Actitud escasamente previsoría	0.33	1.00	3.00	5.00	6.00
Actitud parcialmente previsoría (conoce y no previene)	0.25	0.33	1.00	3.00	5.00
Actitud parcialmente previsoría (conoce y previene)	0.17	0.20	0.33	1.00	3.00
Actitud completamente previsoría	0.14	0.17	0.20	0.33	1.00
Suma	1.89	4.70	8.53	15.33	22.00
1/Suma	0.53	0.21	0.12	0.07	0.05

Nota. Elaboración propia.

Tabla 137*Matriz de Normalización de pares del parámetro actitud frente al riesgo natural*

	Actitud fatalista y conformista	Actitud escasamente previsoría	Actitud parcialmente previsoría (conoce y no previene)	Actitud parcialmente previsoría (conoce y previene)	Actitud completamente previsoría	Vector priorización	%
Actitud fatalista y conformista	0.53	0.64	0.47	0.39	0.32	0.469	46.90
Actitud escasamente previsoría	0.18	0.21	0.35	0.33	0.27	0.268	26.78
Actitud parcialmente previsoría (conoce y no previene)	0.13	0.07	0.12	0.20	0.23	0.149	14.86
Actitud parcialmente previsoría (conoce y previene)	0.09	0.04	0.04	0.07	0.14	0.074	7.42
Actitud completamente previsoría	0.08	0.04	0.02	0.02	0.05	0.040	4.03

Nota. Elaboración propia.

Tabla 138*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro actitud frente al riesgo natural*

	Actitud fatalista y conformista	Actitud escasamente previsoría	Actitud parcialmente previsoría (conoce y no previene)	Actitud parcialmente previsoría (conoce y previene)	Actitud completamente previsoría	Vector suma ponderada	Máximo
Actitud fatalista y conformista	0.47	0.80	0.59	0.45	0.28	2.595	5.53
Actitud escasamente previsoría	0.16	0.27	0.45	0.37	0.24	1.483	5.54
Actitud parcialmente previsoría (conoce y no previene)	0.12	0.09	0.15	0.22	0.20	0.779	5.24
Actitud parcialmente previsoría (conoce y previene)	0.08	0.05	0.05	0.07	0.12	0.376	5.07
Actitud completamente previsoría	0.07	0.04	0.03	0.02	0.04	0.206	5.12

Tabla 139*Resultados del parámetro actitud frente al riesgo natural*

Índice de consistencia (IC)	0.0753
Relación de consistencia (RC)	0.0675

Nota. Elaboración propia.

ii) Dimensión económica

En cuanto a la evaluación de este factor, se seleccionaron los siguientes parámetros de análisis mostrados en la Tabla 140.

Tabla 140*Parámetros a utilizar en los factores de la dimensión económica*

Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Cercanía a la zona afectada	Material de las paredes	Ingreso promedio familiar
---	Material de los techos	Actividad laboral
---	Estado de conservación	Ocupación

Nota. Elaboración propia.

Los cuales fueron evaluados mediante el análisis multicriterio de Saaty según las Tablas 141, 142, 143 y 144.

Tabla 141*Matriz de Comparación de pares del parámetro dimensión económica*

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	1.00	3.00	5.00
Fragilidad	0.33	1.00	2.00
Resiliencia	0.20	0.50	1.00
Suma	1.53	4.50	8.00
1/Suma	0.65	0.22	0.13

Nota. Elaboración propia.

Tabla 142*Matriz de Normalización de pares del parámetro dimensión económica*

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector priorización	%
Exposición	0.65	0.67	0.63	0.648	64.79
Fragilidad	0.22	0.22	0.25	0.230	22.99
Resiliencia	0.13	0.11	0.13	0.122	12.22

Nota. Elaboración propia.**Tabla 143***Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro dimensión económica*

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector suma ponderada	Máx.
Exposición	0.65	0.69	0.61	1.948	3.01
Fragilidad	0.22	0.23	0.24	0.690	3.00
Resiliencia	0.13	0.11	0.12	0.367	3.00

Nota. Elaboración propia.**Tabla 144***Resultados del parámetro dimensión económica*

Índice de consistencia (IC)	0.0018
Relación de consistencia (RC)	0.0035

Nota. Elaboración propia.**Exposición económica**

Para la evaluación de este factor se tomó en cuenta el parámetro de cercanía a la zona afectada por el flujo de detritos ocurrido en el 2015 (véase Tablas 145, 146, 147, 148 y 149).

Tabla 145*Parámetros utilizados en el factor exposición de la dimensión económica*

Exposición económica	Vector priorización
Cercanía a la zona de peligro	1.00
Suma	1.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 146*Matriz de Comparación de pares del parámetro cercanía a la zona afectada*

	Muy cerca	Cerca	Medio cerca	Alejada	Muy alejada
Muy cerca	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Cerca	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Medio cerca	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Alejada	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Muy alejada	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
Suma	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/Suma	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

*Nota. Elaboración propia.***Tabla 147***Matriz de Normalización de pares del parámetro cercanía a la zona afectada*

	Muy cerca	Cerca	Medio cerca	Alejada	Muy alejada	Vector priorización	%
Muy cerca	0.56	0.64	0.52	0.43	0.36	0.503	50.28
Cerca	0.19	0.21	0.31	0.31	0.28	0.260	26.02
Medio cerca	0.11	0.07	0.10	0.18	0.20	0.134	13.44
Alejada	0.08	0.04	0.03	0.06	0.12	0.068	6.78
Muy alejada	0.06	0.03	0.02	0.02	0.04	0.035	3.48

Nota. Elaboración propia.

Tabla 148

Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro cercanía a la zona afectada

	Muy cerca	Cerca	Medio cerca	Alejada	Muy alejada	Vector suma ponderada	Máx.
Muy cerca	0.50	0.78	0.67	0.47	0.31	2.743	5.46
Cerca	0.17	0.26	0.40	0.34	0.24	1.414	5.43
Medio cerca	0.10	0.09	0.13	0.20	0.17	0.699	5.20
Alejada	0.07	0.05	0.04	0.07	0.10	0.341	5.03
Muy alejada	0.06	0.04	0.03	0.02	0.03	0.177	5.09

Nota. Elaboración propia.

Tabla 149

Resultados del parámetro cercanía a la zona afectada

Índice de consistencia (IC)	0.0607
Relación de consistencia (RC)	0.0544

Nota. Elaboración propia.

Fragilidad económica

Para la evaluación de este factor se tomó en cuenta el parámetro de cercanía a la zona afectada por el flujo de detritos ocurrido en el 2015 según las Tablas 150, 151, 152 y 153.

Tabla 150

Matriz de Comparación de pares del factor fragilidad económica

	Material de las paredes	Material del techo	Estado de conservación
Material de las paredes	1.00	3.00	6.00
Material del techo	0.33	1.00	3.00
Estado de conservación	0.17	0.33	1.00
Suma	1.50	4.33	10.00
1/Suma	0.67	0.23	0.10

Nota. Elaboración propia.

Tabla 151*Matriz de Normalización de pares del factor fragilidad económica*

	Material de las paredes	Material del techo	Estado de conservación	Vector priorización	%
Material de las paredes	0.67	0.69	0.60	0.653	65.30
Material del techo	0.22	0.23	0.30	0.251	25.10
Estado de conservación	0.11	0.08	0.10	0.096	9.60

Nota. Elaboración propia.**Tabla 152***Matriz de Relación de Consistencia de pares del factor fragilidad económica*

	Material de las paredes	Material del techo	Estado de conservación	Vector suma ponderada	Máx.
Material de las paredes	0.65	0.75	0.58	1.982	3.04
Material del techo	0.22	0.25	0.29	0.757	3.01
Estado de conservación	0.11	0.08	0.10	0.289	3.00

Nota. Elaboración propia.**Tabla 153***Resultados del factor fragilidad económica*

Índice de consistencia (IC)	0.0092
Relación de consistencia (RC)	0.0175

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro material de las paredes, según las Tablas 154, 155, 156 y 157.

Tabla 154

Matriz de Comparación de pares del parámetro material predominante en paredes

	Estera, madera o triplay	Adobe o tapia	Quincha	Piedra con mortero de barro	Ladrillo
Estera, madera o triplay	1.00	2.00	4.00	5.00	7.00
Adobe o tapia	0.50	1.00	2.00	4.00	5.00
Quincha	0.25	0.50	1.00	3.00	4.00
Piedra con mortero de barro	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
Ladrillo	0.14	0.20	0.25	0.33	1.00
Suma	2.09	3.95	7.58	13.33	20.00
1/Suma	0.48	0.25	0.13	0.08	0.05

Nota. Elaboración propia.

Tabla 155

Matriz de Normalización de pares del parámetro material predominante en paredes

	Estera, madera o triplay	Adobe o tapia	Quincha	Piedra con mortero de barro	Ladrillo	Vector prioriz ación	%
Estera, madera o triplay	0.48	0.51	0.53	0.38	0.35	0.447	44.73
Adobe o tapia	0.24	0.25	0.26	0.30	0.25	0.261	26.12
Quincha	0.12	0.13	0.13	0.23	0.20	0.161	16.06
Piedra con mortero de barro	0.10	0.06	0.04	0.08	0.15	0.086	8.56
Ladrillo	0.07	0.05	0.03	0.03	0.05	0.045	4.54

Nota. Elaboración propia.

Tabla 156

Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro material predominante en paredes

	Estera, madera o triplay	Adobe o tapia	Quincha	Piedra con mortero de barro	Ladrillo	V. suma pondera da	Máx.
Estera, madera o triplay	0.45	0.52	0.64	0.43	0.32	2.357	5.27
Adobe o tapia	0.22	0.26	0.32	0.34	0.23	1.375	5.27
Quincha	0.11	0.13	0.16	0.26	0.18	0.841	5.24
Piedra con mortero de barro	0.09	0.07	0.05	0.09	0.14	0.430	5.03
Ladrillo	0.06	0.05	0.04	0.03	0.05	0.230	5.07

Nota. Elaboración propia.

Tabla 157

Resultados del parámetro material predominante en paredes

Índice de consistencia (IC)	0.0436
Relación de consistencia (RC)	0.0391

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro material predominante en techos, según las Tablas 158, 159, 160 y 161.

Tabla 158

Matriz de Comparación de pares del parámetro material predominante en techos

	Otro material / no hay	Madera, estera	Caña o estera con torta de barro	Calamina	Concreto
Otro material / no hay	1.00	2.00	4.00	5.00	7.00
Madera, estera	0.50	1.00	3.00	4.00	5.00
Caña o estera con torta de barro	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00
Calamina	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
Concreto	0.14	0.20	0.25	0.33	1.00
Suma	2.09	3.78	8.58	13.33	20.00
1/Suma	0.48	0.26	0.12	0.08	0.05

Nota. Elaboración propia.

Tabla 159*Matriz de Normalización de pares del parámetro material predominante en techos*

	Otro material / no hay	Madera, estera	Caña o estera con torta de barro	Calamina	Concreto	Vector priorización	Máx.
Otro material / no hay	0.48	0.53	0.47	0.38	0.32	0.439	43.95
Madera, estera	0.24	0.26	0.35	0.30	0.23	0.281	28.05
Caña o estera con torta de barro	0.12	0.09	0.12	0.23	0.18	0.150	14.98
Calamina	0.10	0.07	0.04	0.09	0.08	0.085	8.51
Concreto	0.07	0.05	0.03	0.03	0.03	0.045	4.50

Nota. Elaboración propia.**Tabla 160***Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro material predominante en techos*

	Otro material / no hay	Madera, estera	Caña o estera con torta de barro	Calamina	Concreto	Vector suma ponderada	Máx.
Otro material / no hay	0.44	0.56	0.60	0.43	0.32	2.341	5.33
Madera, estera	0.22	0.28	0.45	0.34	0.23	1.515	5.40
Caña o estera con torta de barro	0.11	0.09	0.15	0.26	0.18	0.789	5.26
Calamina	0.09	0.07	0.05	0.09	0.14	0.428	5.03
Concreto	0.06	0.06	0.04	0.03	0.05	0.230	5.10

Nota. Elaboración propia.**Tabla 161***Resultados del parámetro material predominante en techos*

Índice de consistencia (IC)	0.0562
Relación de consistencia (RC)	0.0504

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro estado de conservación, según las Tablas 162, 163, 164 y 165.

Tabla 162

Matriz de Comparación de pares del parámetro estado de conservación

	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno
Muy malo	1.00	3.00	4.00	5.00	6.00
Malo	0.33	1.00	2.00	3.00	5.00
Regular	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00
Bueno	0.20	0.33	0.50	1.00	2.00
Muy bueno	0.17	0.20	0.33	0.50	1.00
Suma	1.95	5.03	7.83	11.50	17.00
1/Suma	0.51	0.20	0.13	0.09	0.06

Nota. Elaboración propia.

Tabla 163

Matriz de Normalización de pares del parámetro estado de conservación

	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Vector priorización	%
Muy malo	0.51	0.60	0.51	0.43	0.35	0.481	48.14
Malo	0.17	0.20	0.26	0.26	0.29	0.236	23.60
Regular	0.13	0.10	0.13	0.17	0.18	0.141	14.11
Bueno	0.10	0.07	0.06	0.09	0.12	0.087	8.74
Muy bueno	0.09	0.04	0.04	0.04	0.06	0.054	5.40

Nota. Elaboración propia.

Tabla 164*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro estado de conservación*

	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Muy bueno	Vector suma ponderada	Máx.
Muy malo	0.48	0.71	0.56	0.44	0.32	2.515	5.22
Malo	0.16	0.24	0.28	0.26	0.27	1.211	5.13
Regular	0.12	0.12	0.14	0.17	0.16	0.716	5.08
Bueno	0.10	0.08	0.07	0.09	0.11	0.441	5.04
Muy bueno	0.08	0.05	0.05	0.04	0.05	0.272	5.04

Nota. Elaboración propia.**Tabla 165***Resultados del parámetro estado de conservación*

Índice de consistencia (IC)	0.0258
Relación de consistencia (RC)	0.0231

Nota. Elaboración propia.**Resiliencia económica**

Para la evaluación de este factor se tomaron las condiciones actuales económicas de la población en estudio, tales como el ingreso familiar promedio, la actividad laboral y la ocupación del jefe de hogar, el análisis se muestra en las Tablas 166, 167, 168 y 169.

Tabla 166*Matriz de Comparación de pares del factor Resiliencia Económica*

	Ingreso familiar promedio	Actividad laboral	Ocupación del jefe de hogar
Ingreso familiar promedio	1.00	2.00	5.00
Actividad laboral	0.50	1.00	2.00
Ocupación del jefe de hogar	0.20	0.50	1.00
Suma	1.70	3.50	8.00
1/Suma	0.59	0.29	0.13

Nota. Elaboración propia.

Tabla 167*Matriz de Normalización de pares del factor Resiliencia Económica*

	Ingreso familiar promedio	Actividad laboral	Ocupación del jefe de hogar	Vector priorización	%
Ingreso familiar promedio	0.59	0.57	0.63	0.595	59.49
Actividad laboral	0.29	0.29	0.25	0.277	27.66
Ocupación del jefe de hogar	0.12	0.14	0.13	0.129	12.85

Nota. Elaboración propia.**Tabla 168***Matriz de Relación de Consistencia de pares del factor Resiliencia Económica*

	Ingreso familiar promedio	Actividad laboral	Ocupación del jefe de hogar	Vector suma ponderada	Máx.
Ingreso familiar promedio	0.59	0.55	0.64	1.791	3.01
Actividad laboral	0.30	0.28	0.26	0.831	3.00
Ocupación del jefe de hogar	0.12	0.14	0.13	0.386	3.00

Nota. Elaboración propia.**Tabla 169***Resultados del factor Resiliencia Económica*

Índice de consistencia (IC)	0.0028
Relación de consistencia (RC)	0.0053

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro ingreso familiar promedio, analizado según las Tablas 170, 171, 172 y 173.

Tabla 170

Matriz de Comparación de pares del parámetro ingreso promedio familiar

	Menos de 1025	De 1025 a 1500	De 1501 a 2200	De 2201 a 2860	Mayor a 2860
Menos de 1025	1.00	2.00	3.00	7.00	9.00
De 1025 a 1500	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
De 1501 a 2200	0.33	0.33	1.00	3.00	5.00
De 2201 a 2860	0.14	0.20	0.33	1.00	2.00
Mayor a 2860	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00
Suma	2.09	3.68	7.53	16.50	24.00
1/Suma	0.48	0.27	0.13	0.06	0.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 171

Matriz de Normalización de pares del parámetro ingreso promedio familiar

	Menos de 1025	De 1025 a 1500	De 1501 a 2200	De 2201 a 2860	Mayor a 2860	Vector priorización	%
Menos de 1025	0.48	0.54	0.40	0.42	0.38	0.444	44.41
De 1025 a 1500	0.24	0.27	0.40	0.30	0.29	0.301	30.09
De 1501 a 2200	0.16	0.09	0.13	0.18	0.21	0.155	15.47
De 2201 a 2860	0.07	0.05	0.04	0.06	0.08	0.062	6.22
Mayor a 2860	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.038	3.81

Nota. Elaboración propia.

Tabla 172*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro ingreso promedio familiar*

	Menos de 1025	De 1025 a 1500	De 1501 a 2200	De 2201 a 2860	Mayor a 2860	Vector suma ponderada	Máx.
Menos de 1025	0.44	0.60	0.46	0.44	0.34	2.288	5.15
De 1025 a 1500	0.22	0.30	0.46	0.31	0.27	1.565	5.20
De 1501 a 2200	0.15	0.10	0.15	0.19	0.19	0.780	5.04
De 2201 a 2860	0.06	0.06	0.05	0.06	0.08	0.314	5.04
Mayor a 2860	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.192	5.05

Nota. Elaboración propia.**Tabla 173***Resultados del parámetro ingreso promedio familiar*

Índice de consistencia (IC)	0.0245
Relación de consistencia (RC)	0.0219

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro actividad laboral, analizado según las Tablas 174, 175, 176 y 177.

Tabla 174*Matriz de Comparación de pares del parámetro actividad laboral*

	Agricultura, pesca, ganadería	Empresas de servicios	Comercio por mayor y menor	Hospedajes y restaurantes	Otros
Agricultura, pesca, ganadería	1.00	2.00	3.00	5.00	6.00
Empresas de servicios	0.50	1.00	2.00	3.00	6.00
Comercio por mayor y menor	0.33	0.50	1.00	2.00	3.00
Hospedajes y restaurantes	0.20	0.33	0.50	1.00	1.00
Otros	0.17	0.17	0.33	1.00	1.00
Suma	2.20	4.00	6.83	12.00	17.00
1/Suma	0.45	0.25	0.15	0.08	0.06

Nota. Elaboración propia.

Tabla 175*Matriz de Normalización de pares del parámetro actividad laboral*

	Agricultura, pesca, ganadería	Empresas de servicios	Comercio por mayor y menor	Hospedajes y restaurantes	Otros	Vector priorización	%
Agricultura, pesca, ganadería	0.45	0.50	0.44	0.42	0.35	0.433	43.26
Empresas de servicios	0.23	0.25	0.29	0.25	0.35	0.275	27.46
Comercio por mayor y menor	0.15	0.13	0.15	0.17	0.18	0.153	15.32
Hospedajes y restaurantes	0.09	0.08	0.07	0.08	0.06	0.078	7.79
Otros	0.08	0.04	0.05	0.08	0.06	0.062	6.17

Nota. Elaboración propia.

Tabla 176*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro actividad laboral*

	Agricultura, pesca, ganadería	Empresas de servicios	Comercio por mayor y menor	Hospedajes y restaurantes	Otros	Vector suma ponderada	Máx.
Agricultura, pesca, ganadería	0.43	0.55	0.46	0.39	0.37	2.201	5.09
Empresas de servicios	0.22	0.27	0.31	0.23	0.37	1.401	5.10
Comercio por mayor y menor	0.14	0.14	0.15	0.16	0.19	0.776	5.06
Hospedajes y restaurantes	0.09	0.09	0.08	0.08	0.06	0.394	5.06
Otros	0.07	0.05	0.05	0.08	0.06	0.309	5.00

Nota. Elaboración propia.**Tabla 177***Resultados del parámetro actividad laboral*

Índice de consistencia (IC)	0.0157
Relación de consistencia (RC)	0.0141

Nota. Elaboración propia.

Análisis del parámetro ocupación del jefe de hogar, analizado mediante las Tablas 178, 179, 180 y 181.

Tabla 178

Matriz de Comparación de pares del parámetro ocupación del jefe de hogar

	Trabajador familiar no remunerado	Obrero	Empleado	Independiente	Empleador
Trabajador familiar no remunerado	1.00	2.00	3.00	5.00	8.00
Obrero	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00
Empleado	0.33	0.33	1.00	3.00	5.00
Independiente	0.20	0.20	0.33	1.00	2.00
Empleador	0.13	0.14	0.20	0.50	1.00
Suma	2.16	3.68	7.53	14.50	23.00
1/Suma	0.46	0.27	0.13	0.07	0.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 179*Matriz de Normalización de pares del parámetro ocupación del jefe de hogar*

	Trabajador familiar no remunerado	Obrero	Empleado	Independiente	Empleador	Vector priorización	%
Trabajador familiar no remunerado	0.46	0.54	0.40	0.34	0.35	0.420	41.96
Obrero	0.23	0.27	0.40	0.34	0.30	0.310	31.02
Empleado	0.15	0.09	0.13	0.21	0.22	0.160	16.04
Independiente	0.09	0.05	0.04	0.07	0.09	0.069	6.94
Empleador	0.06	0.04	0.03	0.03	0.04	0.040	4.03

Nota. Elaboración propia.

Tabla 180*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro ocupación del jefe de hogar*

	Trabajador familiar no remunerado	Obrero	Empleado	Independiente	Empleador	Vector suma ponderada	Máx.
Trabajador familiar no remunerado	0.42	0.62	0.48	0.35	0.32	2.191	5.22
Obrero	0.21	0.31	0.48	0.35	0.28	1.630	5.26
Empleado	0.14	0.10	0.16	0.21	0.20	0.813	5.07
Independiente	0.08	0.06	0.05	0.07	0.08	0.349	5.03
Empleador	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.204	5.06

Nota. Elaboración propia.**Tabla 181***Resultados del parámetro ocupación del jefe de hogar*

Índice de consistencia (IC)	0.0320
Relación de consistencia (RC)	0.0287

Nota. Elaboración propia.

iii) Dimensión ambiental

En cuanto a la evaluación de este factor, se seleccionaron los siguientes parámetros de análisis, mostrados en la Tabla 182.

Tabla 182

Parámetros a utilizar en los factores de la dimensión ambiental

Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Ubicación del botadero de basura	Manejo y disposición de residuos sólidos	Conocimiento de reciclaje

Nota. Elaboración propia.

Los cuales fueron evaluados mediante el análisis multicriterio de Saaty según las Tablas 183, 184, 185 y 186.

Tabla 183

Matriz de Comparación de pares del parámetro dimensión ambiental

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia
Exposición	1.00	3.00	5.00
Fragilidad	0.33	1.00	2.00
Resiliencia	0.20	0.50	1.00
Suma	1.53	4.50	8.00
1/Suma	0.65	0.22	0.13

Nota. Elaboración propia.

Tabla 184

Matriz de Normalización de pares del parámetro dimensión ambiental

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector priorización	%
Exposición	0.65	0.67	0.63	0.648	64.79
Fragilidad	0.22	0.22	0.25	0.230	22.99
Resiliencia	0.13	0.11	0.13	0.122	12.22

Nota. Elaboración propia.

Tabla 185*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro dimensión ambiental*

	Exposición	Fragilidad	Resiliencia	Vector suma ponderada	Máx.
Exposición	0.65	0.69	0.61	1.948	3.01
Fragilidad	0.22	0.23	0.24	0.690	3.00
Resiliencia	0.13	0.11	0.12	0.367	3.00

Nota. Elaboración propia.**Tabla 186***Resultados del parámetro dimensión ambiental*

Índice de consistencia (IC)	0.0018
Relación de consistencia (RC)	0.0035

Nota. Elaboración propia.**Exposición ambiental**

Para la evaluación de este factor se tuvo en cuenta el parámetro ubicación del botadero de basura de la población en estudio, mediante un análisis visual y sondeo general (véase Tabla 187).

Tabla 187*Parámetros utilizados en el factor exposición de la dimensión ambiental*

Fragilidad ambiental	Vector priorización
Ubicación del botadero de basura	1.00
Suma	1.00

Nota. Elaboración propia.

El cual fue examinado mediante el análisis multicriterio de Saaty según las Tablas 188, 189, 190 y 191.

Tabla 188*Matriz de Comparación de pares del parámetro ubicación del botadero de basura*

	Menor a 20m	De 20 a 50m	De 50 a 100m	De 100 a 200m	Mayor a 200m
Menor a 20m	1.00	2.00	3.00	4.00	6.00
De 20 a 50m	0.50	1.00	2.00	3.00	5.00
De 50 a 100m	0.33	0.50	1.00	2.00	4.00
De 100 a 200m	0.25	0.33	0.50	1.00	3.00
Mayor a 200m	0.17	0.20	0.25	0.33	1.00
Suma	2.25	4.03	6.75	10.33	19.00
1/Suma	0.44	0.25	0.15	0.10	0.05

Nota. Elaboración propia.**Tabla 189***Matriz de Normalización de pares del parámetro ubicación del botadero de basura*

	Menor a 20m	De 20 a 50m	De 50 a 100m	De 100 a 200m	Mayor a 200m	Vector priorización	%
Menor a 20m	0.44	0.50	0.44	0.39	0.32	0.418	41.75
De 20 a 50m	0.22	0.25	0.30	0.29	0.26	0.264	26.40
De 50 a 100m	0.15	0.12	0.15	0.19	0.21	0.165	16.49
De 100 a 200m	0.11	0.08	0.07	0.10	0.16	0.104	10.45
Mayor a 200m	0.07	0.05	0.04	0.03	0.05	0.049	4.91

Nota. Elaboración propia.

Tabla 190

Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro ubicación del botadero de basura

	Menor a 20m	De 20 a 50m	De 50 a 100m	De 100 a 200m	Mayor a 200m	Vector suma ponderada	Máx.
Menor a 20m	0.42	0.53	0.49	0.42	0.29	2.153	5.16
De 20 a 50m	0.21	0.26	0.33	0.31	0.25	1.362	5.16
De 50 a 100m	0.14	0.13	0.16	0.21	0.20	0.842	5.10
De 100 a 200m	0.10	0.09	0.08	0.10	0.15	0.527	5.04
Mayor a 200m	0.07	0.05	0.04	0.03	0.05	0.248	5.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 191

Resultados del parámetro ubicación del botadero de basura

Índice de consistencia (IC)	0.0249
Relación de consistencia (RC)	0.0223

Nota. Elaboración propia.

Fragilidad ambiental

Para la evaluación de este factor, se tuvo en cuenta el parámetro de recojo de residuos sólidos de la población, en este caso mediante el análisis demográfico ningún lote tenía recojo, quemaban sus desechos en la puerta de sus domicilios. El análisis se muestra en la Tabla 192.

Tabla 192

Parámetros utilizados en el factor fragilidad de la dimensión ambiental

Fragilidad ambiental	Vector priorización
Manejo de residuos sólidos	1.00
Suma	1.00

Nota. Elaboración propia.

El parámetro fue examinado mediante el análisis multicriterio de Saaty, según las Tablas 193, 194, 195 y 196.

Tabla 193*Matriz de Comparación de pares del parámetro manejo de residuos sólidos*

	Sin recojo de residuos	Botadero en el cauce de la quebrada	Recojo con moto furgón (reciclador)	Recojo municipal (compactadora)	No genera (no botan)
Sin recojo de residuos	1.00	2.00	3.00	5.00	8.00
Botadero en el cauce de la quebrada	0.50	1.00	2.00	5.00	7.00
Recojo con moto furgón (reciclador)	0.33	0.50	1.00	3.00	5.00
Recojo municipal (compactadora)	0.20	0.20	0.33	1.00	2.00
No genera (no botan)	0.13	0.14	0.20	0.50	1.00
Suma	2.16	3.84	6.53	14.50	23.00
1/Suma	0.46	0.26	0.15	0.07	0.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 194*Matriz de Normalización de pares del parámetro manejo de residuos sólidos*

	Sin recojo de residuos	Botadero en el cauce de la quebrada	Recojo con moto furgón (reciclador)	Recojo municipal (compactadora)	No genera (no botan)	Vector priorización	%
Sin recojo de residuos	0.463	0.520	0.459	0.345	0.348	0.427	42.71
Botadero en el cauce de la quebrada	0.232	0.260	0.306	0.345	0.304	0.289	28.94
Recojo con moto furgón (reciclador)	0.154	0.130	0.153	0.207	0.217	0.172	17.24
Recojo municipal (compactadora)	0.093	0.052	0.051	0.069	0.087	0.070	7.03
No genera (no botan)	0.058	0.037	0.031	0.034	0.043	0.041	4.07

Nota. Elaboración propia.

Tabla 195*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro manejo de residuos sólidos*

	Sin recojo de residuos	Botadero en el cauce de la quebrada	Recojo con moto furgón (reciclador)	Recojo municipal (compactadora)	No genera (no botan)	Vector suma ponderada	Máx.
Sin recojo de residuos	0.43	0.58	0.52	0.35	0.33	2.201	5.15
Botadero en el cauce de la quebrada	0.21	0.29	0.34	0.35	0.29	1.485	5.13
Recojo con moto furgón (reciclador)	0.14	0.14	0.17	0.21	0.20	0.874	5.07
Recojo municipal (compactadora)	0.09	0.06	0.06	0.07	0.08	0.353	5.01
No genera (no botan)	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.205	5.04

Nota. Elaboración propia.

Tabla 196*Resultados del parámetro manejo de residuos sólidos*

Índice de consistencia (IC)	0.0200
Relación de consistencia (RC)	0.0180

Nota. Elaboración propia.

Resiliencia ambiental

Para el análisis de este factor, se tuvo en cuenta el parámetro conocimiento del reciclaje según el detalle de la Tabla 197.

Tabla 197*Parámetros utilizados en el factor Resiliencia de la dimensión ambiental*

Resiliencia ambiental	Vector priorización
Conocimiento del reciclaje	1.00
Suma	1.00

Nota. Elaboración propia.

Dicho parámetro fue examinado mediante el análisis multicriterio de Saaty según el análisis mostrado en las Tablas 198, 199, 200 y 201.

Tabla 198

Matriz de Comparación de pares del parámetro conocimiento del reciclaje

	No conoce	Conoce por comentarios de vecinos	Tiene ligeras nociones	Solo tiene conocimientos	Conoce y practica el reciclaje
No conoce	1.00	2.00	3.00	5.00	9.00
Conoce por comentarios de vecinos	0.50	1.00	2.00	4.00	5.00
Tiene ligeras nociones	0.33	0.50	1.00	3.00	4.00
Solo tiene conocimientos	0.20	0.25	0.33	1.00	3.00
Conoce y practica el reciclaje	0.11	0.20	0.25	0.33	1.00
Suma	2.14	3.95	6.58	13.33	22.00
1/Suma	0.47	0.25	0.15	0.08	0.05

Nota. Elaboración propia.

Tabla 199*Matriz de Normalización de pares del parámetro conocimiento del reciclaje*

	No conoce	Conoce por comentarios de vecinos	Tiene ligeras nociones	Solo tiene conocimientos	Conoce y practica el reciclaje	Vector priorización	%
No conoce	0.47	0.51	0.46	0.38	0.41	0.442	44.25
Conoce por comentarios de vecinos	0.23	0.25	0.30	0.30	0.23	0.263	26.35
Tiene ligeras nociones	0.16	0.13	0.15	0.23	0.18	0.168	16.81
Solo tiene conocimientos	0.09	0.06	0.05	0.08	0.14	0.084	8.37
Conoce y practica el reciclaje	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.042	4.22

Nota. Elaboración propia.

Tabla 200*Matriz de Relación de Consistencia de pares del parámetro conocimiento del reciclaje*

	No conoce	Conoce por comentarios de vecinos	Tiene ligeras nociones	Solo tiene conocimientos	Conoce y practica el reciclaje	Vector suma ponderada	Máx.
No conoce	0.44	0.53	0.50	0.42	0.38	2.272	5.13
Conoce por comentarios de vecinos	0.22	0.26	0.34	0.33	0.21	1.367	5.19
Tiene ligeras nociones	0.15	0.13	0.17	0.25	0.17	0.867	5.16
Solo tiene conocimientos	0.09	0.07	0.06	0.08	0.13	0.421	5.03
Conoce y practica el reciclaje	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.214	5.07

Nota. Elaboración propia.**Tabla 201***Resultados del parámetro conocimiento del reciclaje*

Índice de consistencia (IC)	0.0289
Relación de consistencia (RC)	0.0259

Nota. Elaboración propia.

b) Datos de campo

La data obtenida en campo mediante la realización de encuestas contiene al total de los lotes presentes en la Asociación de vivienda popular San Carlos Alto, debido a su falta de incorporación en plataformas catastrales del estado y/o municipalidad, se llegó a un total de 99 lotes, de los cuales 27 se encuentran deshabitados y 1 pertenece a una institución educativa (código de local: 0141604).

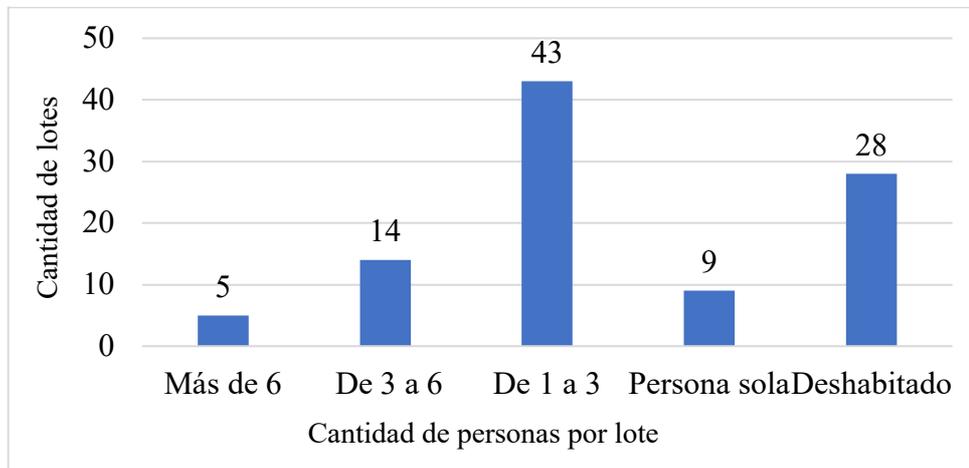
A continuación, se muestran los resultados de las encuestas a los lotes, cabe recalcar que al momento de la visita muchos de los pobladores no se encontraban en sus viviendas por día de compras en la ciudad, por lo cual se hizo una aproximación de resultados con los 3 dirigentes presentes en la zona.

i) Dimensión social

La cantidad de personas por lote se tomó de acuerdo a rangos para poder realizar el análisis multicriterio de Saaty. Se estima que la población total de San Carlos ala fecha supera las 200 personas, el número exacto no fue posible estimarlo por problemas políticos en la zona y falta de cooperación de algunos vecinos. Se puede observar que la mayoría de viviendas son habitadas por 1 a 3 personas según la Figura 84.

Figura 84

Encuesta de cantidad de personas por lote.

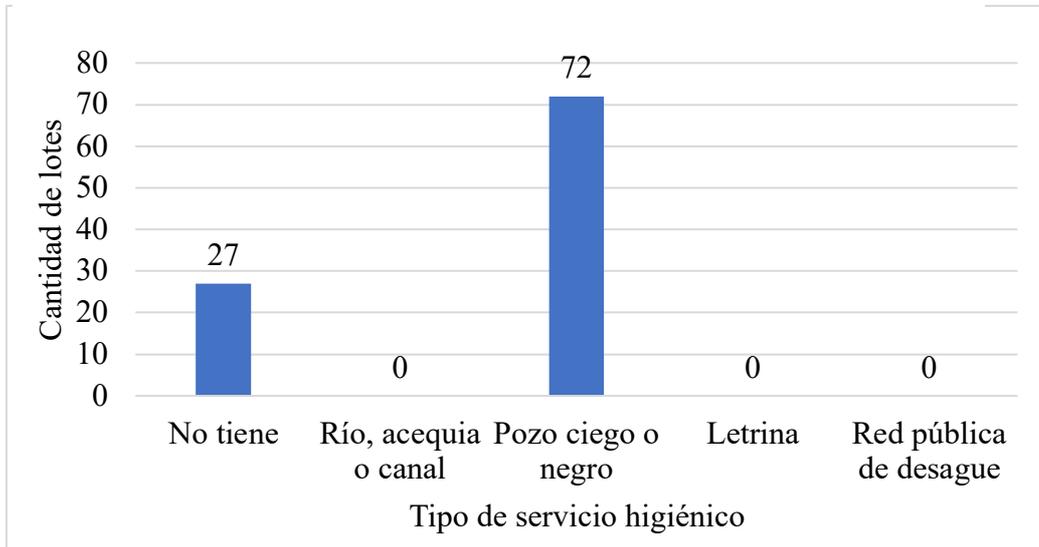


Nota. Elaboración propia.

En cuanto a servicios higiénicos en la zona, lamentablemente no presentan sistema de alcantarillado, por lo tanto, recurren a opciones como los populares pozos ciegos. Los 27 lotes sin acceso a ningún servicio higiénico son los lotes deshabitados (véase Figura 85).

Figura 85

Encuesta de servicios higiénicos.

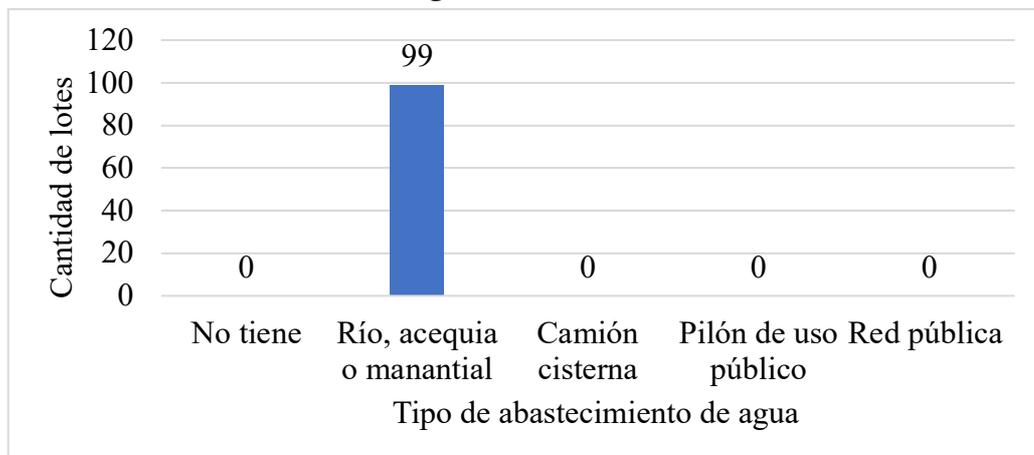


Nota. Elaboración propia.

El acceso al agua está limitado por el canal Venturosa, cuya trayectoria es paralela al río Cañete, la cual debe ser potabilizada y almacenada de manera correcta. De dicha fuente también extraen agua para la agricultura y ganadería (actividades económicas principales en la zona). El detalle se muestra en la Figura 86.

Figura 86

Encuesta de abastecimiento de agua.

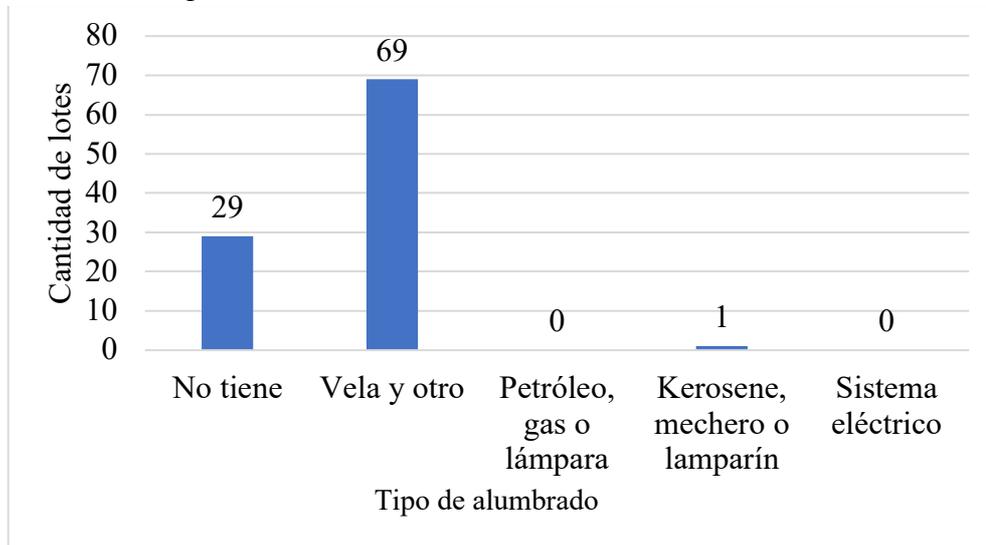


Nota. Elaboración propia.

El Alumbrado también se encuentra limitado a fuentes convencionales como vela y otros medios, según la Figura 87.

Figura 87

Encuesta de tipo de alumbrado.

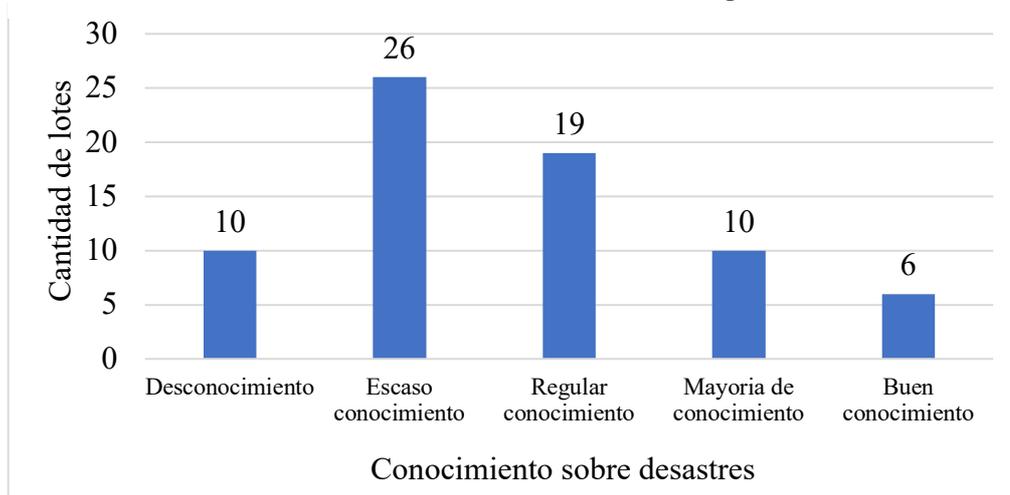


Nota. Elaboración propia.

Por más que el fenómeno de flujo de detritos se haya manifestado de manera agresiva en el año 2015, se puede observar el poco interés de la población sobre el tema (véase Figura 88).

Figura 88

Encuesta sobre conocimiento local sobre la ocurrencia pasada de desastres.



Nota. Elaboración propia.

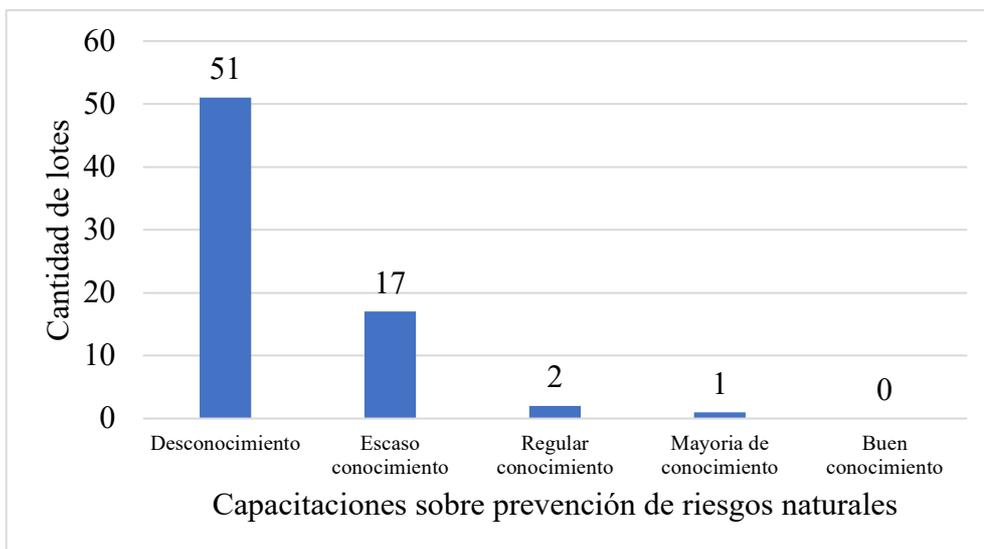
Así como también existe una mayoría de pobladores con escaso conocimiento sobre el fenómeno y riesgo al cual están expuestos, las autoridades no han fomentado planes de mitigación de riesgos naturales ni capacitaciones a los vecinos.

Los dos últimos parámetros mostrados, dan como resultado una población sin interés por la información y mitigación del riesgo por flujo de detritos, lo cual se ve reflejado en la siguiente estadística, mostrada en las Figuras 89 y 90.

ii) Dimensión económica

Figura 89

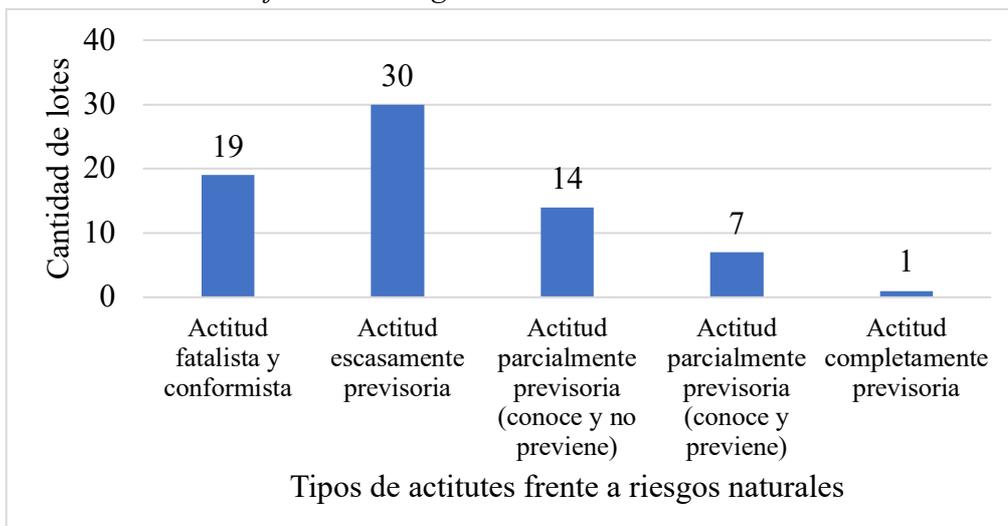
Encuesta de capacitación en temas de prevención de riesgo de desastre natural.



Nota. Elaboración propia.

Figura 90

Encuesta de actitud frente al riesgo natural.

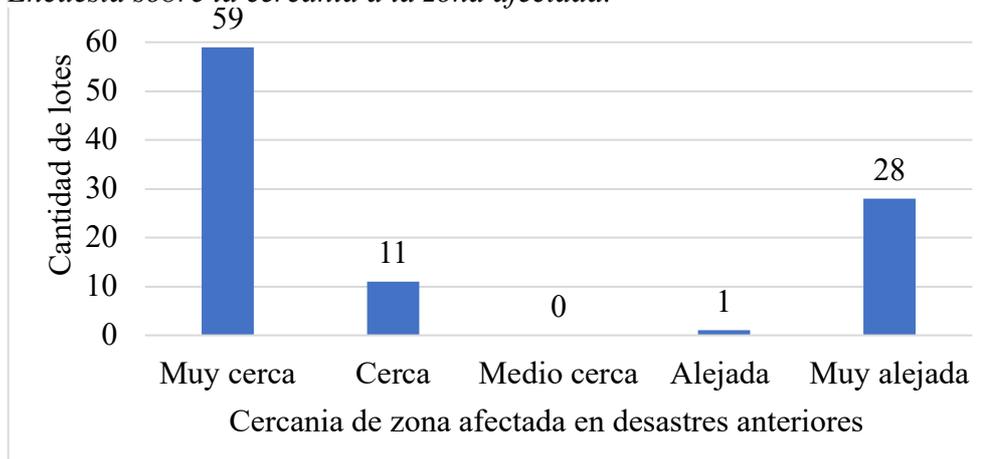


Nota. Elaboración propia.

En base al evento producido en el año 2015, la simulación en RAMMS Debris Flow además de los comentarios de vecinos y evidencias en campo sobre la ocurrencia del fenómeno, se pudo clasificar la cercanía de los lotes en estudio de acuerdo al área de influencia del flujo de detritos (véase Figura 91).

Figura 91

Encuesta sobre la cercanía a la zona afectada.

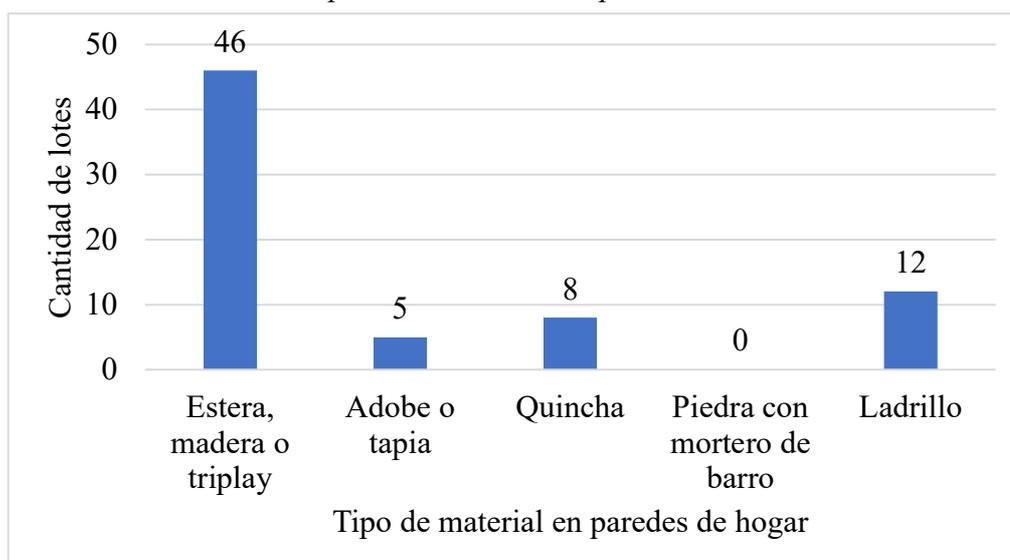


Nota. Elaboración propia.

La asociación de vivienda popular San Carlos Alto se encuentra en una zona catalogada como rural, por lo cual se encontró la predominancia de materiales asequibles a conseguir en la estructura de las viviendas, la estadística se muestra en la Figura 92.

Figura 92

Encuesta sobre material predominante en las paredes.

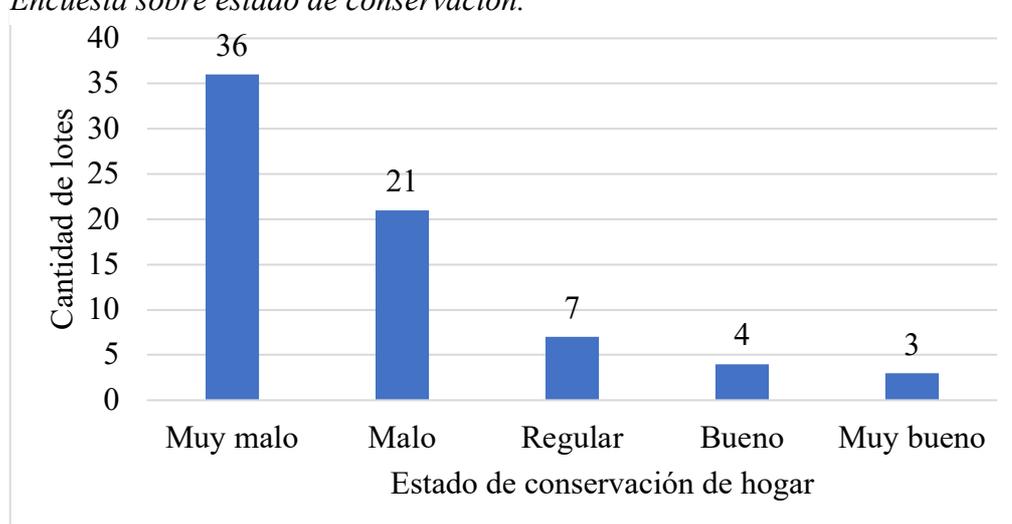


Nota. Elaboración propia.

Al no tener materiales perdurables en el tiempo y debido a las condiciones del terreno (áridas y calurosas), los materiales de las viviendas tienden a desgastarse mucho más rápido de lo normal, según la Figuras 93 y 94.

Figura 93

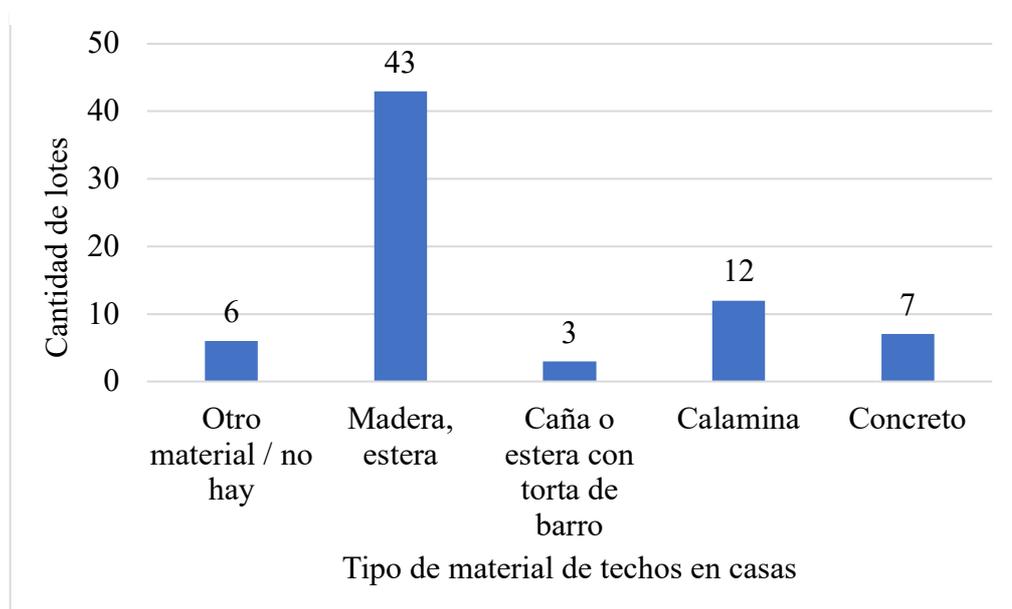
Encuesta sobre estado de conservación.



Nota. Elaboración propia.

Figura 94

Encuesta sobre material predominante en los techos.

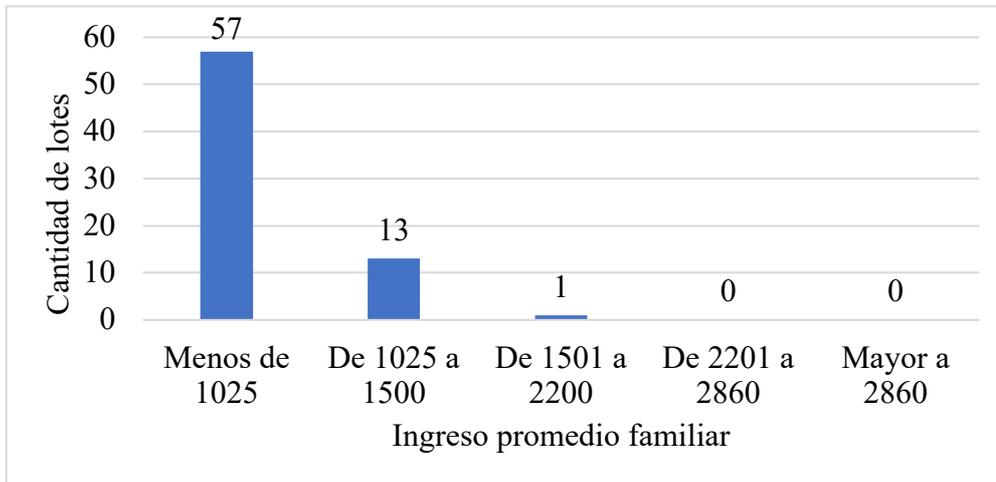


Nota. Elaboración propia.

Las características económicas tienen influencia directa en las capacidades de recuperación de la zona tras el evento (véase Figuras 95, 96 y 97).

Figura 95

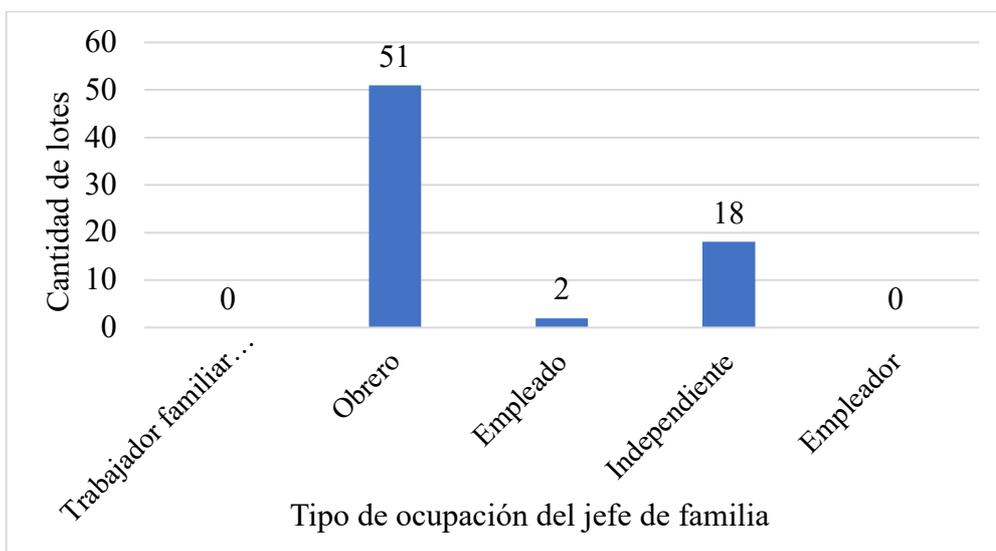
Encuesta sobre ingreso promedio familiar.



Nota. Elaboración propia.

Figura 96

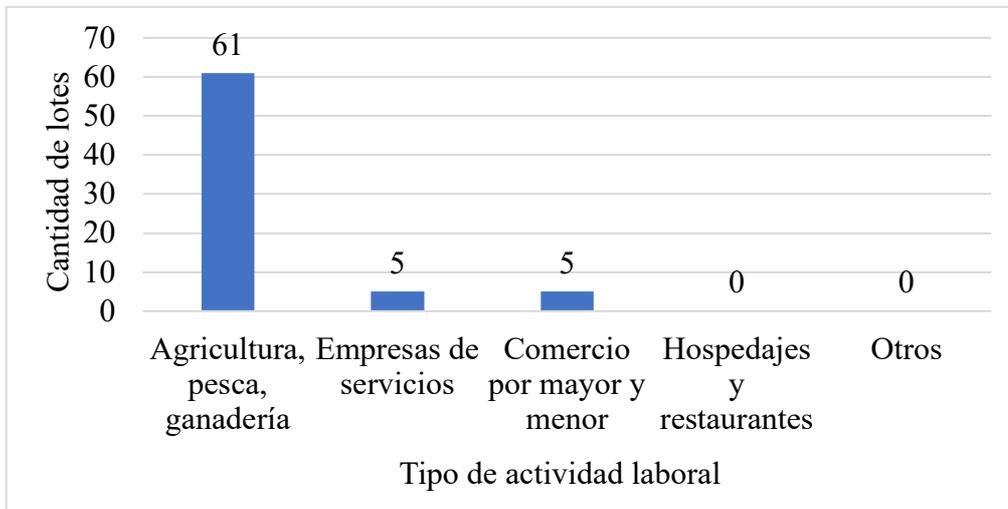
Encuesta sobre ocupación del jefe de hogar.



Nota. Elaboración propia.

Figura 97

Encuesta sobre actividad laboral.



Nota. Elaboración propia.

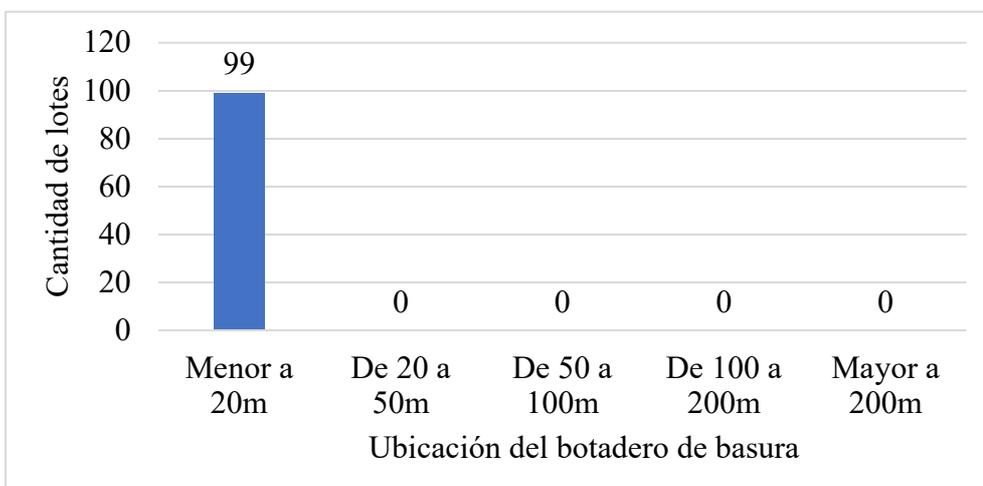
iii) Dimensión ambiental

Las características ambientales cumplen un rol importante en el desarrollo de la evaluación de susceptibilidad, pues muestra el comportamiento e interacción de la población con la correcta deposición de los residuos generados.

Por comentarios de todos los vecinos encuestados, la basura de las viviendas es quemada en la puerta de cada lote, lo cual puede emanar humos tóxicos y fuente de enfermedades, lo cual puede generar efectos perjudiciales para la población en un futuro cercano. La estadística se muestra en las Figuras 98, 99 y 100.

Figura 98

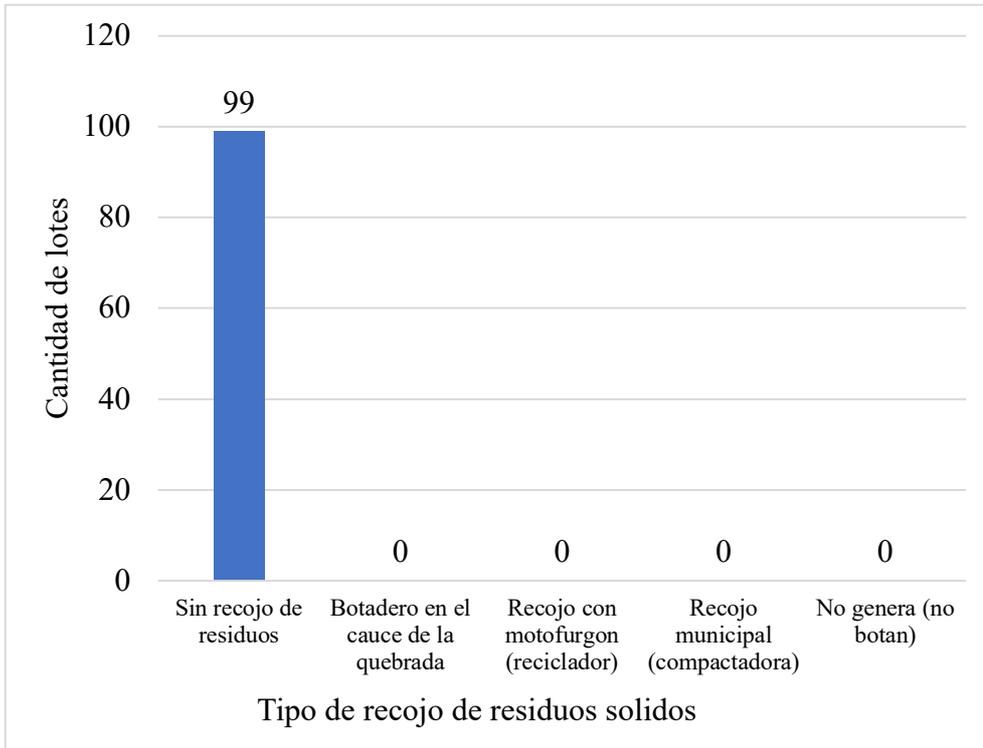
Encuesta sobre ubicación del botadero de basura.



Nota. Elaboración propia.

Figura 99

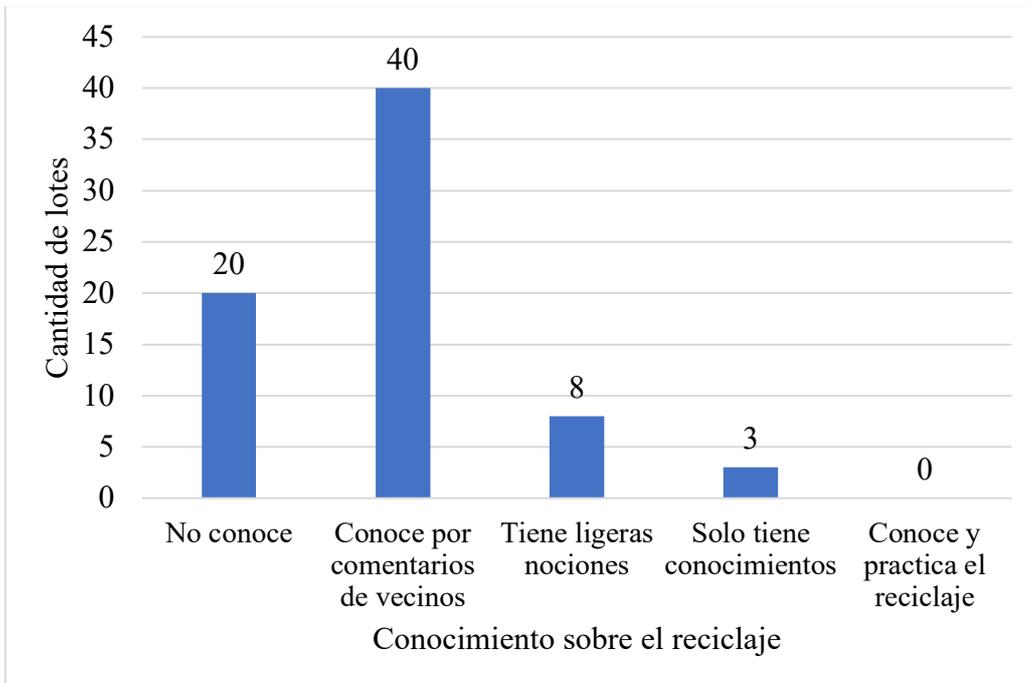
Encuesta sobre recojo de residuos sólidos.



Nota. Elaboración propia.

Figura 100

Encuesta sobre conocimiento sobre el reciclaje.



Nota. Elaboración propia.

c) Niveles de vulnerabilidad

En base a los análisis de cada parámetro considerado en la evaluación multicriterio de Saaty, se pueden calcular los rangos de la vulnerabilidad y sus niveles. Los resultados se muestran en la Tabla 102.

Tabla 202

Niveles de vulnerabilidad del sector San Carlos

Clasificación	Rango
Muy alto	$0.263 \leq V \leq 0.457$
Alto	$0.150 \leq V < 0.263$
Medio	$0.086 \leq V < 0.150$
Bajo	$0.044 \leq V < 0.086$

Nota. Elaboración propia.

d) Estratificación de los niveles de vulnerabilidad

Con los niveles calculados, se procede a elaborar el cuadro matriz de estratificación de la vulnerabilidad para el sector San Carlos, el desagregado se muestra en la Tabla 203.

Más de 6 personas por lote, sin acceso a ningún tipo de servicio higiénico, abastecimiento de agua y tipo de alumbrado. Desconocimiento total sobre la ocurrencia pasada de desastres en la zona, así como también nula capacitación en temas de riesgo de desastre natural, actitud fatalista y conformista ante la amenaza. Lote muy cerca de la zona afectada por el fenómeno, material de las paredes de estera o algún tipo de madera, sin un techo de material fijo y/o definido, en un estado de conservación muy malo. Ingresos familiares menores al sueldo mínimo, teniendo a la agricultura o ganadería como principal actividad laboral del jefe de familia o trabajador familiar no remunerado. Ubicación del depósito de basura menor a 20 metros del lote, sin recojo de residuos ni conocimiento del reciclaje.

Muy alto

De 3 a 6 personas por lote, acceso básico a servicios higiénicos (río, acequia o canal), abastecimiento de agua mediante canal y uso de la vela como único medio de alumbrado. Escaso conocimiento de la ocurrencia pasada de desastres en la zona, así como también en capacitación sobre temas de riesgo de desastre natural, actitud escasamente previsoría ante la amenaza. Lote cerca de la zona afectada por el fenómeno, material de las paredes de adobe o tapia, con un tipo de techo de madera o estera, en un estado de conservación malo. Ingresos familiares de S/.1025 a S/.1500 con actividad laboral de empresas de servicios en condición de obrero. Ubicación del depósito de basura de 20 a 50 metros del lote, con botadero en el cauce de la quebrada y conocimiento básico del reciclaje por comentarios de vecinos.

Alto

De 1 a 3 personas por lote, acceso a servicios higiénicos mediante pozo negro, abastecimiento de agua mediante camión cisterna o similar y uso de sistemas de petróleo o gas como medio de alumbrado. Regular conocimiento de la ocurrencia pasada de desastres en la zona, así como también en capacitación sobre temas de riesgo de desastre natural, actitud parcialmente previsoría (conoce y no previene) ante la amenaza. Lote medio cerca de la zona afectada por el fenómeno, material de las paredes de quincha o similar, con un techo de caña o estera con torta de barro, en un estado de conservación regular. Ingresos familiares de S/.1501 a S/.2200 con actividad laboral el comercio por mayor y menor en condición de empleado. Ubicación del depósito de basura de 50 a 100 metros del lote, con recojo de residuos mediante moto furgón y con ligeras nociones sobre el reciclaje.

Medio

Lotes con persona sola o deshabitados, con acceso a sistemas de agua potable y alcantarillado adecuados, además de un continuo flujo eléctrico. Buen conocimiento local de la ocurrencia pasada de desastres y capacitaciones constantes en temas de riesgo de desastre natural con una actitud completamente previsoría. Lote alejado o muy alejado de la zona afectada, construido con material noble en un estado de conservación bueno a muy bueno y con ingresos superiores a S/.2860. Principal ocupación del jefe de hogar como independiente o empleador. Botadero de basura a una distancia mayor a 200 metros del lote con recojo municipal de residuos sólidos y amplio conocimiento del reciclaje.

Bajo

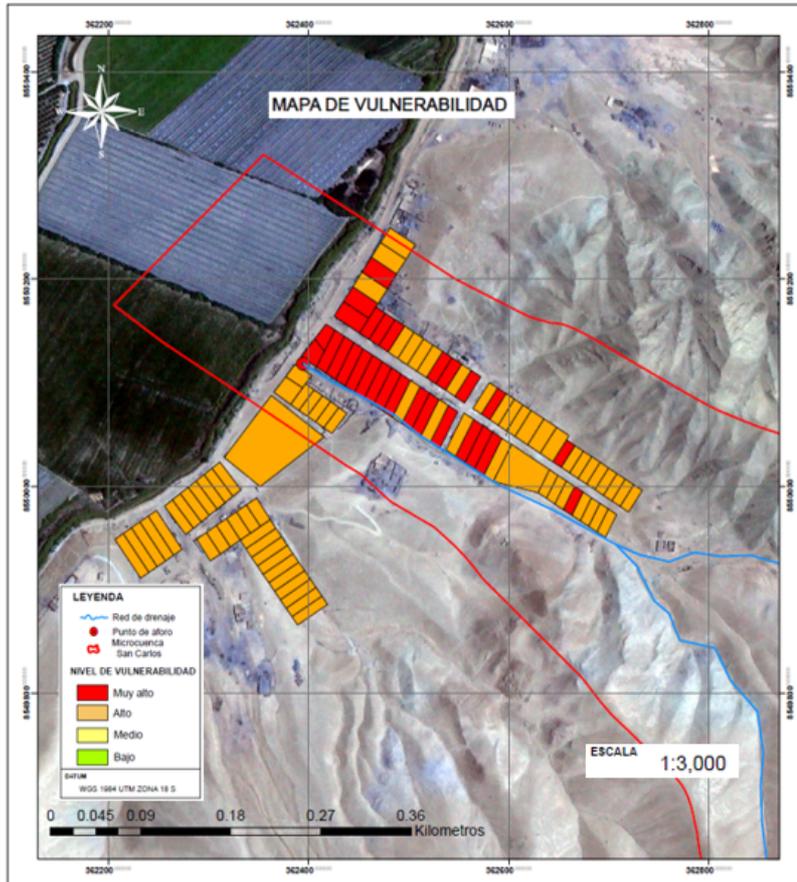
Nota. Elaboración propia.

e) Mapa de vulnerabilidad

A raíz del análisis multicriterio de Saaty y de los niveles calculados, se pudo elaborar un mapa de vulnerabilidad (ver Anexo 17) para el sector, de acuerdo a las encuestas e identificación de campo reportadas en las visitas a la zona, según la Figura 101.

Figura 101

Lotes vulnerables del sector San Carlos Alto.



Nota. Elaboración propia.

Como se puede observar, la mayoría de lotes se encuentran en un nivel alto de vulnerabilidad, esto principalmente por la falta de servicios básicos en la zona, conocimiento sobre el desastre natural que los amenaza y el estado actual de las viviendas. Dichos factores fueron considerados con un peso relevante al momento de la ponderación de parámetros.

5.5.3. Evaluación del riesgo

Para la evaluación del riesgo se tomaron los resultados obtenidos en el análisis de peligro y vulnerabilidad.

a) Cálculo del riesgo

El cálculo del riesgo se realizó mediante el cuadro doble entrada propuesto por el CENEPRED, el resultado se muestra en la Figura 102.

Figura 102

Cuadro doble entrada para la valoración del riesgo

PELIGROSIDAD	Muy Alto	0.440	0.038	0.066	0.116	0.201
	Alto	0.268	0.023	0.040	0.070	0.122
	Medio	0.180	0.016	0.027	0.047	0.082
	Bajo	0.133	0.011	0.020	0.035	0.061
			0.086	0.150	0.263	0.457
			Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
			VULNERABILIDAD			

Nota. Elaboración propia.

b) Niveles de riesgo

Los niveles de riesgo vienen dados por el detalle de la Tabla 204.

Tabla 204

Niveles de riesgo del sector San Carlos

Clasificación	Rango
Muy alto	$0.070 \leq R \leq 0.201$
Alto	$0.027 \leq R < 0.070$
Medio	$0.011 \leq R < 0.027$
Bajo	$0.010 \leq R < 0.011$

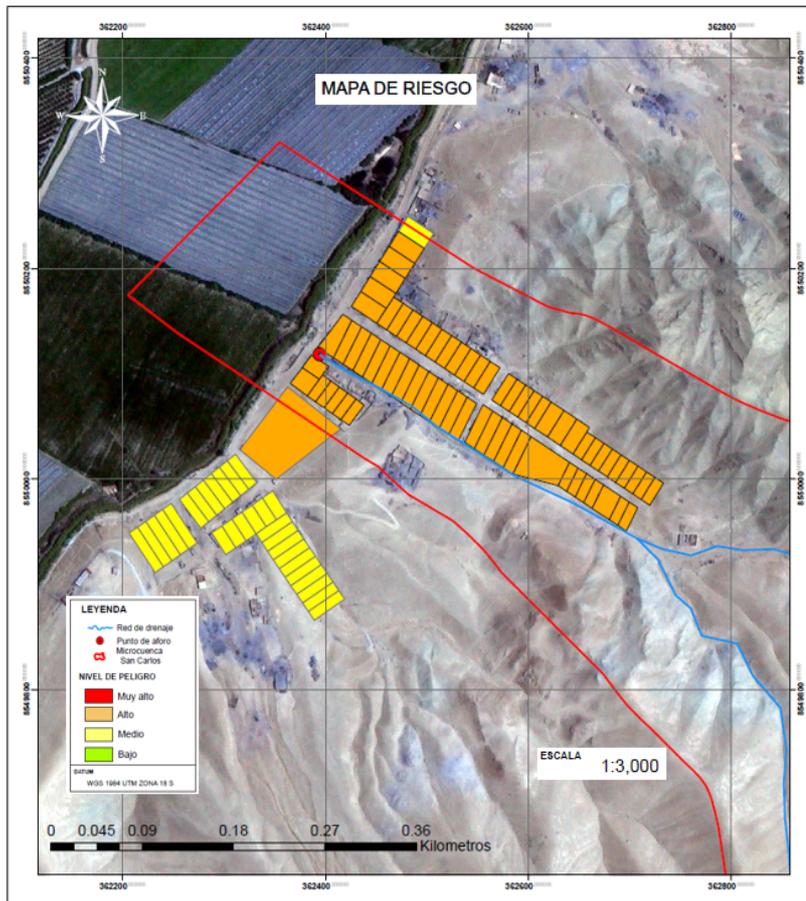
Nota. Elaboración propia.

c) Mapa de riesgo

En base a los niveles de riesgo calculados por el fenómeno de flujo de detritos, se puede obtener el mapa (ver Anexo 18), representado por la Figura 103.

Figura 103

Nivel de riesgo en lotes



Nota. Elaboración propia.

En la cual se pudo observar que todos los pobladores de la asociación de vivienda popular San Carlos Alto se encuentran en un riesgo alto (72 lotes) para la zona directamente afectada y medio (29 lotes) para la zona indirectamente afectada por el fenómeno de flujo de detritos que se presenta aproximadamente cada 25 años. Este mapa (ver anexo 18) sirve como base para la toma de acciones por parte de la municipalidad hacia los lotes que se verían directamente perjudicados.

d) Costos probables

Los costos probables por emergencia de flujo de detritos para el sector San Carlos Alto se detallan en la Tabla 205.

Tabla 205*Costos probables en daños estructurales*

Concepto	Soles/m 2	Área afectada (m2)	Total
Ladrillo y calamina	259.36	454.86	117,971.97
Adobe o quincha y calamina	211.13	2,274.29	480,170.85
Madera y calamina	144.81	1,137.15	164,669.97
Cemento pulido, ladrillo corriente	25.08	1,364.57	34,223.52
Tierra compactada	5.52	17,057.18	94,155.61
Madera corriente en marcos y ventanas	29.2	3,411.44	99,613.90
Baños blancos sin mayólicas	11.82	113.71	1,344.11
Agua fría, corriente monofásica sin empotrar	18.72	136.46	2,554.48

Nota. Resolución ministerial N° 351 – 2019 – VIVIENDA

Lo cual suma un total de S/.994,704.40 sin considerar los bienes muebles perdidos, animales, áreas de cultivo y remoción de escombros de la zona.

5.6. Alternativas de mitigación de riesgo por flujo de detritos

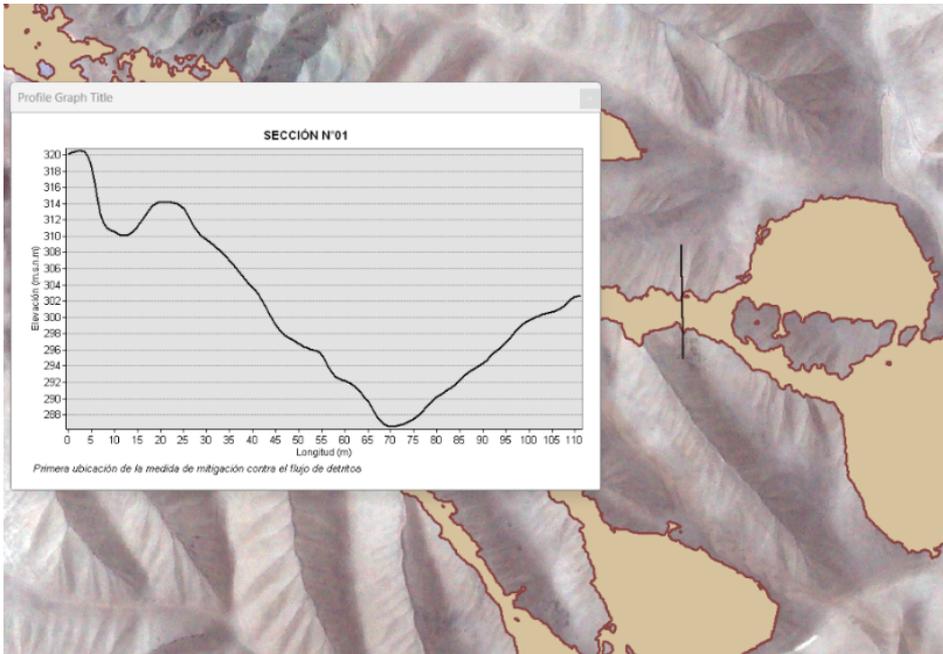
Para la mitigación del fenómeno, se plantearon soluciones del tipo estructural (tal como barreras dinámicas) y no estructural (tal como planes de capacitación y/o acciones de emergencia hacia la población)

5.6.1. Medidas estructurales

Según la simulación y evaluación de riesgos, se establecieron zonas clave para la implementación de medidas de mitigación del riesgo existente. Dichas ubicaciones se muestran en las Figuras 104 y 105.

Figura 104

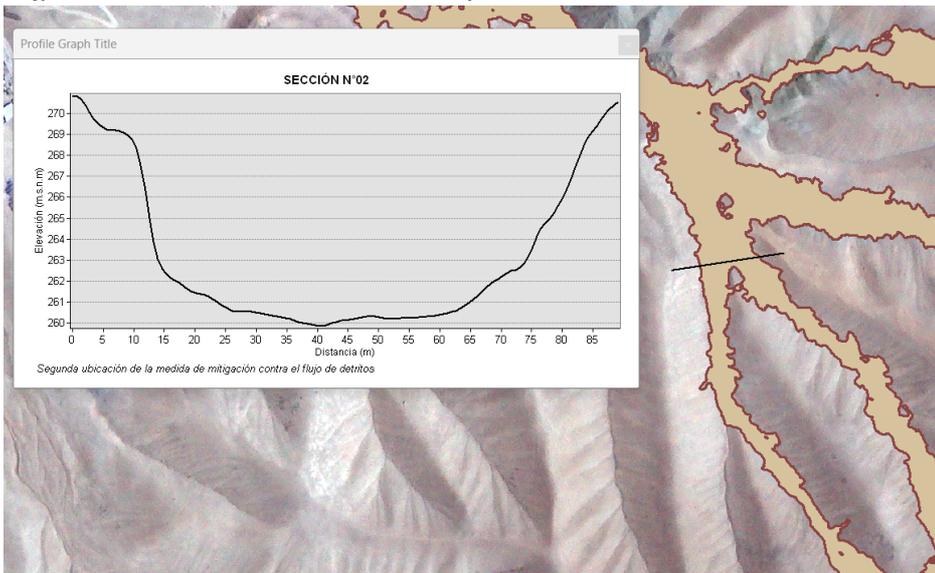
Primera ubicación de la medida de prevención.



Nota. Elaboración propia.

Figura 105

Segunda ubicación de la medida de prevención.



Nota. Elaboración propia.

Ambas ubicaciones han sido elegidas de acuerdo a su sección y a su ubicación, al colocarse la estructura en dichos puntos, impedirá la formación de flujo de barro en las cabeceras de la cuenca, rompiendo así la formación del frente pedregoso y la cola de arena limosa encontrada en el estudio geotécnico.

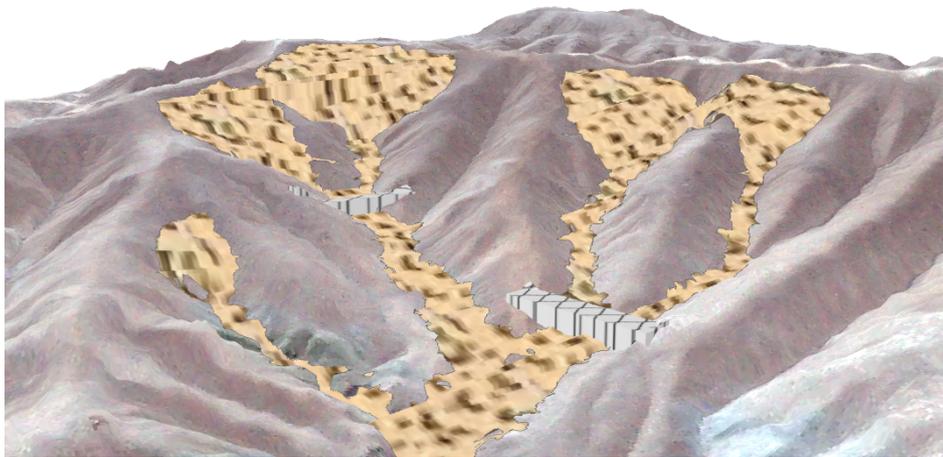
La sección N°01 se encuentra en las coordenadas 363156.980 E y 8549794.167 N.

La sección N°02 se encuentra en las coordenadas 362940.017 E y 8549769.010 N.

Según lo previamente detallado, se muestra la posición de las medidas mitigadoras en la Figura 106.

Figura 106

Visualización 3D de la solución a implementar en ArcScene



Nota: Elaboración propia

Al momento de la ocurrencia del evento, todo el material granular y arenoso será retenido por la medida de mitigación y el flujo de agua restante deberá ser canalizado mediante el badén presente en la zona hacia el canal Venturosa. Las alternativas de mitigación son las siguientes:

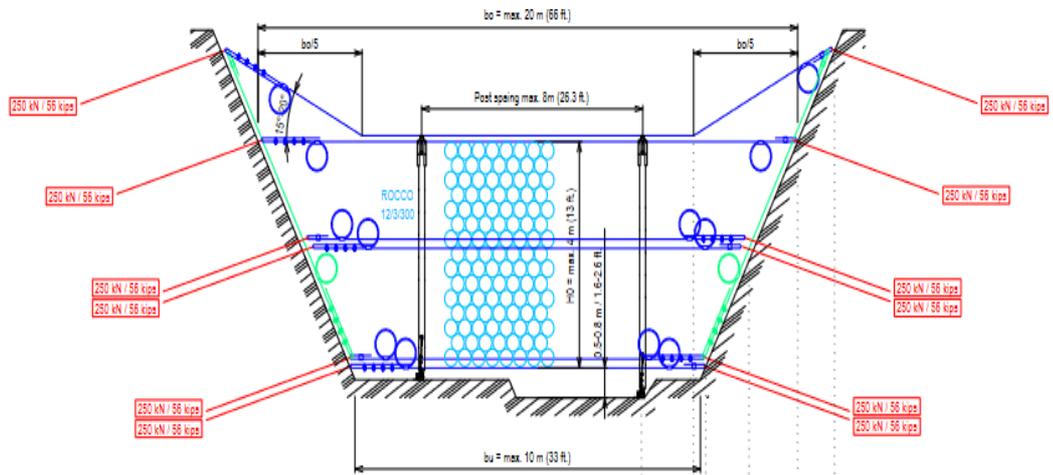
a) Barreras dinámicas:

Las barreras dinámicas son ampliamente usadas como método de mitigación por flujo de detritos, como ejemplo en las quebradas de Chosica, donde poseen una actividad más recurrente de activación. Dentro de los fabricantes de estas estructuras, se encuentran empresas como Maccaferri, Geobrugg, Prodac Bekaert, etc. Dichas barreras deben ser diseñadas en base a estudios geotécnicos y modelamientos numéricos.

En el caso de Geobrugg, cuenta con un programa llamado DEBFLOW. Este software realiza el dimensionamiento de barreras dinámicas contra el flujo de detritos, conformados por una red de anillos de alambre de alta resistencia ROCCO (véase Figuras 107 y 108).

Figura 107

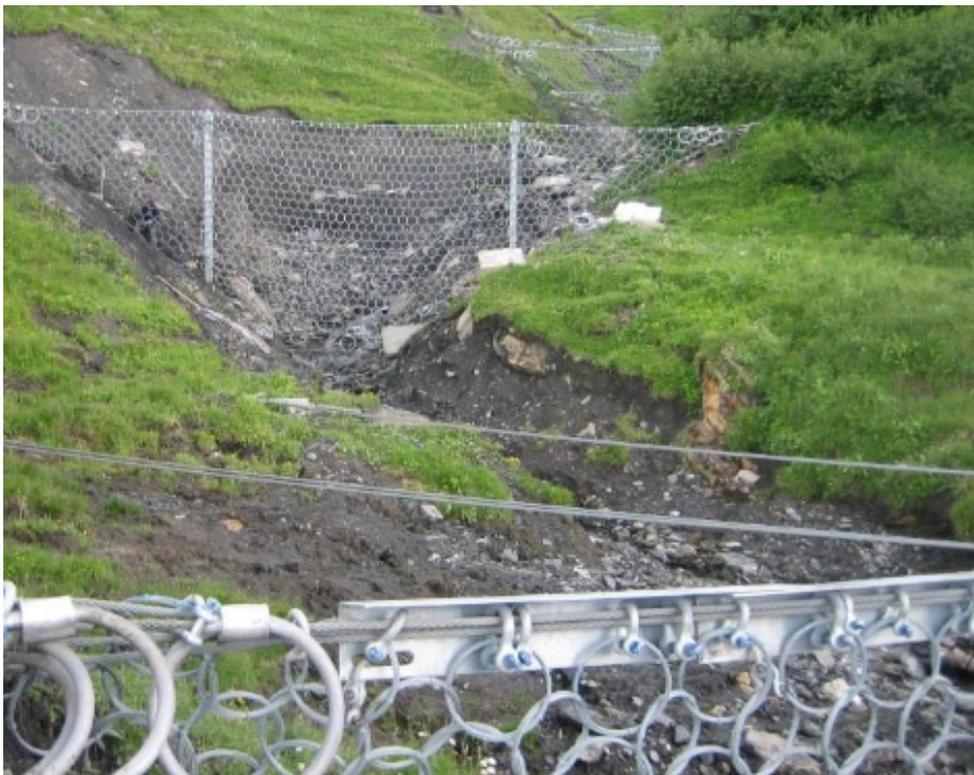
Barrera dinámica contra el flujo de detritos Geobrug tipo UX060L-H4.



Nota. Geobrug (2018)

Figura 108

Barreras multinivel UX en la región de Hasliberg en los Alpes berneses.



Nota. Geobrug (2018)

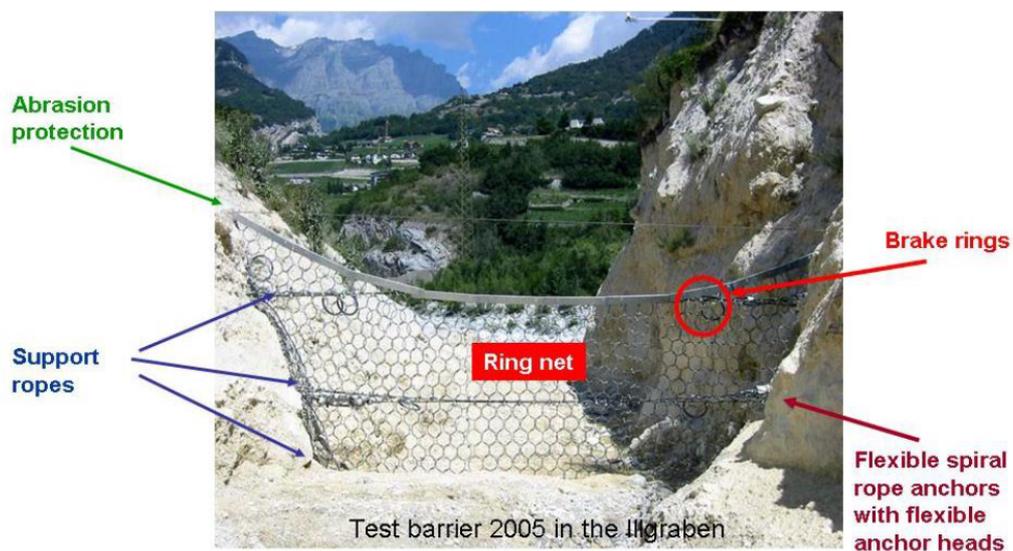
Dichas barreras dinámicas deberán contar con los siguientes elementos para su correcto funcionamiento:

- Red de anillos de alambre de alta resistencia.
- Anillos de frenado.
- Protección contra la abrasión.
- Anclajes fijos de cable espiral.
- Bulón autoperforante con cabezal FLEX.
- Apoyos.

Lo cual se muestran en la Figura 110.

Figura 109

Componentes de una barrera flexible VX instalada en Illgraben en 2005.



Nota. Geobruigg (2018)

La diferencia entre las barreras tipo VX y UX es que las barreras UX son colocadas en secciones más anchas, donde requerirán apoyos para mantener la altura de la barrera cuando ésta se llena. Para el sector San Carlos se recomiendan el tipo de barrera UX según las secciones obtenidas en las figuras X e Y.

b) Diques con geotextil:

Los diques son una manera tradicional y conservadora para la contención de flujos de detritos, ya sea de gaviones o de concreto, se debe colocar un geotextil de manera que la arena (que es el material originador del flujo) se quede contenida y no sobrepase la barrera, de esta manera solo se encauzaría el flujo de agua restante hacia el badén existente, mitigando el riesgo.

La desventaja principal de los diques es su costo y traslado, pues al trabajar solamente a gravedad, tienen un peso bastante grande para poder soportar las presiones ocasionadas tras la ocurrencia del fenómeno.

5.6.2. Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales recomendadas corresponden a una serie de acciones que se deben tomar por parte de las autoridades en carácter de urgente:

Integrar la gestión de riesgo de desastres en el crecimiento demográfico y urbanístico de la población de San Carlos Alto.

La constante capacitación e información sobre la gestión de riesgos naturales, principalmente el fenómeno de flujo de detritos, como actividades rutinarias en la zona.

Realizar simulacros de evacuación por peligros existentes en la zona.

La capacitación a la población sobre las normas de construcción civil y alternativas de constructivas apropiadas.

Identificación de zonas seguras mediante la orientación de entidades correspondientes, con un sustento técnico.

Incorporar la alternativa de barreras naturales en la zona, principalmente la reforestación.

Realizar proyectos de acceso a servicios básicos en la zona según las normativas.

5.7. Control del riesgo

5.7.1. Aceptabilidad y tolerancia

Tipo de fenómeno: Geodinámica externa – movimientos de masa.

Tipo de peligro: Flujo de detritos.

La aplicación de las medidas preventivas propuestas no puede garantizar un nivel de confiabilidad al 100% (sin consecuencias), razón por el cual el riesgo no puede ser

totalmente eliminado al ser un fenómeno natural. Sin embargo, existen límites para considerar como riesgo controlable o no controlable, del que derivarán las medidas de mitigación correspondientes a cada caso.

5.7.2 Valoración de las consecuencias

Para la valoración de las consecuencias del flujo de detritos en el sector San Carlos, se muestra la Tabla 206 con la clasificación correspondiente:

Tabla 206

Valoración de consecuencias por flujo de detritos

Descripción	Nivel	Valor
Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural son catastróficas.	Muy alto	4
Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas con apoyo externo.	Alto	3
Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural son gestionadas con los recursos disponibles	Medio	2
Las consecuencias debido al impacto de un fenómeno natural pueden ser gestionadas sin dificultad.	Bajo	1

Nota. Elaboración propia.

De la Tabla 206 obtenemos que la valoración de consecuencias para el fenómeno del flujo de detritos en el sector de San Carlos tiene un valor de 3 – Alto, debido a que las consecuencias por el evento requerirían de apoyo de la municipalidad local como provincial de acuerdo a los daños y magnitud.

5.7.3. Valoración de frecuencia

En cuanto a frecuencia, se puede evaluar mediante la Tabla 207.

Tabla 207

Valoración de frecuencia del flujo de detritos

Descripción	Nivel	Valor
Puede ocurrir en la mayoría de las circunstancias	Muy alto	4
Puede ocurrir en periodos de tiempo medianamente cortos según circunstancias	Alto	3
Puede ocurrir en periodos de tiempo medianamente largos según circunstancias	Medio	2
Puede ocurrir en circunstancias excepcionales	Bajo	1

*Nota.*Elaboración propia.

De la Tabla 207 obtenemos que la valoración de frecuencia del flujo de detritos para el sector San Carlos tiene un valor de 1 – Bajo. Esto de acuerdo al histograma de precipitaciones máximas de los datos brindados por el SENAMHI y también por los comentarios de los primeros vecinos de la zona, los cuales comentan que, en los 40 años de existencia de la asociación de viviendas, la única vez que se presentó el fenómeno fue en el año 2015.

5.7.4. Nivel de consecuencias y daños

Para la medición del valor de consecuencias y daños analizados en las Tablas 206 y 207, se procede a elaborar el cuadro de doble entrada mostrado en la Figura 110.

Figura 110

Cuadro doble entrada para la valoración de consecuencias y daño

CONSECUENCIAS	Muy Alto	4	ALTA	ALTA	MUY ALTA	MUY ALTA
	Alto	3	ALTA	ALTA	ALTA	MUY ALTA
	Medio	2	MEDIA	MEDIA	ALTA	ALTA
	Bajo	1	BAJA	MEDIA	MEDIA	ALTA
			1	2	3	4
			Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
			FRECUENCIA			

Nota. Elaboración propia.

De donde se obtuvo que el nivel de consecuencias y daños para la asociación de vivienda popular San Carlos Alto bajo el evento de flujo de detritos es 3 – Alto. Esto generaría lesiones grandes en las personas, pérdida de capacidad de producción (por animales muertos y campos de cultivos dañados) y pérdida de bienes (viviendas más vulnerables colapsadas).

Finalmente, la aceptabilidad y/o tolerancia al riesgo viene dado por la Tabla 208.

Tabla 208

Valoración de consecuencias por flujo de detritos

Descripción	Nivel	Valor
Se debe aplicar inmediatamente medidas de control físico y de ser posible transferir inmediatamente recursos económicos para reducir los riesgos.	Inadmisible	4
Se deben desarrollar actividades para el manejo de riesgos.	Inaceptable	3
Requiere tratamiento médico en las personas, pérdidas de bienes y financieras altas	Tolerable	2
El riesgo no presenta un peligro significativo	Aceptable	1

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, la aceptabilidad o tolerancia del riesgo por flujo de detritos del sector San Carlos es de nivel 3 – Inaceptable, con una prioridad de intervención II.

CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

6.1. Resultados de la investigación

6.1.1. Simulación con RAMMS Debris Flow

Los resultados de la simulación en RAMMS fueron presentados mediante las Figuras 80 y 81, en las cuales se pudo observar el recorrido del evento al darse bajo condiciones de precipitaciones extremas para un período de retorno de 50 años. Dicho período fue elegido mediante el tiempo de recurrencia del fenómeno en la zona (extremadamente inusual). En dichas simulaciones se muestran los caudales y velocidades máximas propias del flujo de detritos calculado mediante el análisis hidrológico y estudios geotécnicos realizados en laboratorio, viendo la necesidad de colocar estructuras en puntos críticos, para así mitigar en la mayor cantidad posible, los daños a ocurrir en el sector San Carlos. Estas soluciones fueron colocadas en la vista 3D con ArcScene, las cuales se visualizan en la Figura 82.

6.1.2. Análisis de susceptibilidad

Con respecto al análisis de susceptibilidad, se calcularon los valores para cada lote según las inspecciones de campo y encuestas realizadas, dando como resultado los valores de peligro (véase Tabla 97), vulnerabilidad (véase Tabla 203) y finalmente riesgo (véase Tabla 204).

6.2. Análisis e interpretación de resultados

En cuanto a los resultados de simulación, se pudieron establecer los puntos críticos de formación de frentes arenosos originadores del flujo de detritos, los cuales pueden ser mitigados mediante barreras dinámicas y diques arquelinos con geotextiles. Dichas medidas deberán estar en función de los tamaños de partículas de suelo halladas en los ensayos geotécnicos.

Santuyo y Zambrano (2019) muestran una calibración del fenómeno mediante fotografías de ocurrencia del evento en años anteriores, tomando como base las alturas de huella y alto del cauce principal. En el caso de la quebrada San Carlos se realizó el mismo trabajo, dado que la huella de detritos era evidente en la zona media, se realizó la excavación de la calicata C-02 para posteriormente medir el estrato gravoso arenoso de detritos, además de tomar fotografías a las estimaciones de alturas correspondientes. Al correr la simulación con los parámetros mencionados en su apartado, se obtuvieron valores con una diferencia máxima de 0.02m a los encontrados en campo, dichos puntos de toma

fueron la huella de detritos misma y la zona de estrechamiento de los afluentes, validando al modelamiento realizado.

Los parámetros de resistencia ingresados a RAMMS corresponden a las características del flujo, al tener una clasificación SUCS para la huella de SP-SM se tomaron los valores de $\mu = 0.100$ y un $\xi = 120$, los cuales fueron validados por Santuyo y Zambrano (2019). El análisis de susceptibilidad fue analizado mediante la metodología Saaty, propuesta por el CENEPRED en el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales – 02 versión. Este documento es la base para la elaboración de todo análisis de riesgos tanto por entidades públicas como privadas, como ejemplo se pueden citar a las investigaciones de Santuyo y Zambrano (2019), SIGRID, INGEMMET, entre otras.

6.3. Contrastación de hipótesis

Estando expuesta toda la metodología desarrollada y sus puntos claves, se puede contrastar de que el análisis de susceptibilidad realizado permitió calcular el nivel de amenaza por flujo de detritos percibido por los pobladores de San Carlos, resultando con valores entre los rangos medio y alto. De la misma manera se desarrollaron estudios de mecánicas de suelos con la finalidad de identificar las características geotécnicas y geológicas del lugar, permitiendo la elaboración de los mapas temáticos de cada una de los puntos propuestos. Así como también el estudio hidrológico efectuado permitió conocer los caudales para distintos tiempos de retorno por el método racional y según la disponibilidad de data pluviométrica proporcionada por el SENAMHI.

Los diversos puntos mencionados anteriormente fueron la base para realizar un modelo numérico que permitió conocer las propiedades del flujo de detritos existente en la zona, brindando la posibilidad de elaborar mapas de temáticos para realizar los análisis correspondientes para la estimación de la susceptibilidad ante el flujo de detritos en el sector San Carlos.

CONCLUSIONES

1. El nivel de amenaza percibido por los pobladores del Sector San Carlos es de nivel 3 – inaceptable, con una prioridad de intervención tipo II. Producto a que el fenómeno de flujo de detritos no es común en la zona y sólo se da en ocasiones muy extremas (como en el año 2015).
2. Se realizó la identificación de las formaciones geológicas en el sector San Carlos mediante visitas a campo e información en la plataforma del INGEMMET, encontrándose principalmente las Formaciones Geológicas Cañete Superior (Qpl-s_s), Atocongo (Ki-at) y Depósitos Aluviales (Qh-al). En cuanto a geotecnia, se realizaron la excavación y toma de muestras en 3 puntos clave (zona de estrechamiento, huella de detritos y material predominante) para caracterizar al flujo de detritos mediante ensayos de granulometría y corte directo en condición saturada, encontrándose una predominancia de arenas en los cerros (SM) y una combinación con gravas en la huella (SP-SM).
3. El estudio hidrológico del sector fue realizado gracias al aporte de data pluviométrica SENAMHI, calculadas las máximas avenidas para distintos tiempos de retorno se pudieron hallar los caudales máximos de barro por el método de Takahashi, el cual posee gran validez para la caracterización de los flujos de detritos.
El modelamiento numérico y simulación llevados a cabo con RAMMS Debris Flow permitió conocer la trayectoria del flujo de detritos en el sector de estudio, cuyos valores se contrastaron con las visitas a campo con la casi totalidad en similitud, validando así la veracidad y exactitud del software en estos procesos, facilitando la elección de alternativas de mitigación del flujo de detritos (barreras dinámicas y diques).
4. La topografía tuvo un gran rol en la ejecución de simulación, la cual fue generada en base a imágenes pancromáticas y multiespectrales del satélite peruano PeruSat-1 operado por la CONIDA, teniendo como resultado un modelo digital de superficie a una resolución de 0.7m de celda, cumpliendo con el rango recomendado para simular en RAMMS (5 metros).

5. La población de la asociación de vivienda San Carlos Alto se encuentra bajo un riesgo medio (27 lotes – 27.27%) y alto (79 lotes – 72.73%).

6. La vulnerabilidad de los lotes del sector San Carlos ascienden a 71 (71.72%) en un rango muy alto y 28 (28.28%) en alto, estos porcentajes fueron calculados en base a la metodología de análisis multicriterio Saaty y el CENEPRED, tomando como base encuestas propias realizadas a la mayoría de viviendas. Este sondeo fue necesario debido a la falta de información sobre la zona de estudio, ya que no se encuentran registradas en ningún geoportal de datos.

7. La asociación de vivienda San Carlos Alto se encuentra asentada bajo los siguientes niveles de peligro: bajo (5.80%), medio (29.02%), alto (59.60%) y muy alto (5.58%) tomando como escenario de un flujo de detritos con período de retorno de 50 años (fenómeno no recurrente) y la vulnerabilidad. Dichos niveles fueron calculados mediante el análisis de multicriterio de Saaty.

8. Las medidas de prevención propuestas han sido establecidas mediante los resultados de la simulación, topografía, geología e inspección en campo. El alcance se ha visto reducido por la falta de apoyo de los gobiernos provinciales, por lo tanto, dichas medidas deben ser verificadas mediante posteriores estudios y/o análisis.

RECOMENDACIONES

1. Para comprobar los parámetros exactos de las alternativas de mitigación, es necesaria una caracterización geotécnica más a fondo de las propuestas presentadas, es por ello que se recomienda realizar una mayor cantidad de calicatas (al menos 2 por formación geológica presente), además de ensayos in situ como el cono de arena, permitiendo así calcular la densidad en campo.
2. La información pluviométrica utilizada para el desarrollo de esta investigación corresponde al intervalo de años 1985-2010, lo cual no permite realizar el análisis de precipitaciones a la fecha de ocurrencia del fenómeno (10 de enero del 2015) ni tener una tendencia más cercana a las precipitaciones actuales reales, también se realizó la extracción de data del producto PISCOp del SENAMHI y la extensión de datos con HEC-4 pero los resultados fueron poco satisfactorios, por lo cual es recomendable la instalación de un nuevo pluviógrafo o la reanudación de las lecturas de la estación Cañete para tener un mayor acercamiento a los eventos recientes sucedidos en las zonas cercanas a la estación.
3. El uso de modelos digitales de superficie generados en base a imágenes del satélite peruano PeruSat-1 muestran una gran similitud topográfica con la realidad es por ello que se recomiendan. Sin embargo, para áreas clave como zonas de estrechamiento, estructuras existentes u otros (que no sean totalmente detectables por el satélite), es recomendable realizar un levantamiento topográfico con dron y calzarlo con el MDE generado de satélite, obteniendo así la mejor topografía para un área relativamente grande sin trabajos a gran escala.
4. Tanto las medidas estructurales como no estructurales presentadas en la investigación brindarían la capacidad del sector a poder formalizarse, debido al peligro al que están expuestos no pueden registrarse en ninguna entidad, por lo cual se recomienda que las entidades involucradas presten la atención y prioridad correspondiente al centro poblado.

5. En caso de ejecutarse las medidas de mitigación estructurales propuestas, se deberá realizar un mantenimiento rutinario de las mismas, para preservar su funcionalidad y evitar rupturas y/o desbordes.

6. Al realizar las encuestas para la elaboración del análisis de vulnerabilidad, se hicieron notorias las deficiencias y falta de conocimiento acerca de capacitaciones sobre riesgo natural y/o campañas de prevención de riesgo, lo cual repercute negativamente en el factor de Resiliencia social, por lo cual se hace un llamado a las entidades como CENEPRED e INDECI a tomar las acciones respectivas en favor de la población de San Carlos.

REFERENCIAS

- Bezák, N., Sodnik, J., & Mikoš, M. (2019). Impact of a random sequence of debris flows on torrential fan formation. *Geosciences*, 9(2), 64. doi:10.3390/geosciences9020064
- Blanco, A., Pascual, J. (2018). *Geomatics in water resources análisis* (Serie 6). Alcalá de Henares, España: Instituto IMDEA Agua. ISBN: 978-84-09-06041-2
- Bucarey, N. (2018). *Evaluación de la susceptibilidad de flujos de detritos en quebradas Carrizalillo y De Meléndez, comuna de Tierra Amarilla, región de Atacama* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].
- CENEPRED. (2015). *Manual para la evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales*. Lima, Perú: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.
- Chereque, W. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43(1), 27–29. doi:10.1007/bf02590167
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslide Types and Processes* (Vol. 247). U.S: Transportation Research Board.
- Escobar, P., Poma, V. (2018). *Análisis de amenaza por el transporte de detritos aplicado a la quebrada de Tantará del distrito de Tantará, provincia de Castrovirreyna de la región de Huancavelica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica].
- Franco-Ramos, O., Ballesteros-Cánovas, J. A., Figueroa-García, J. E., Vázquez-Selem, L., Stoffel, M., y Caballero, L. (2020). Modelling the 2012 lahar in a sector of Jamapa Gorge (Pico de Orizaba volcano, Mexico) using RAMMS and tree-ring evidence. *Water*, 12(2), 333. doi:10.3390/w12020333
- García, M., Maza, J. (1996). Origen y propiedades de los sedimentos. En Manual de ingeniería de ríos. Ciudad de México, México: Comisión Nacional del Agua.
- Hauser, A. (2000). *Remociones de masa en Chile* (Boletín No 59). Santiago de Chile, Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería. ISSN 0020-3939
- Hawker, L., Bates, P., Neal, J., & Rougier, J. (2018). Perspectives on digital elevation model (DEM) simulation for flood modeling in the absence of a high-accuracy

- open access global DEM. *Frontiers in earth science*, 6.
doi:10.3389/feart.2018.00233
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*, McGraw-Hill Companies.
- Hungr, O., Leroueil, S., & Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167–194. doi:10.1007/s10346-013-0436-y
- INEGI. (1999). *Modelos Digitales De Elevación. Generalidades Y Especificaciones. Escala 1: 50 000. Sistema Nacional De Información Geográfica*. Estados Unidos Mexicanos: Instituto Nacional De Estadística Y Geografía De México.
- Kim, S., Rhee, S., & Kim, T. (2018). Digital surface model interpolation based on 3D mesh models. *Remote Sensing*, 11(1), 24. doi:10.3390/rs11010024
- Konecny, G. (2002). Recent global changes in geomatics education. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(6), 1 – 6.
- Maidment, D. R., y Te Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Companies.
- Mardones, P. (2019). *Análisis estadístico de precipitaciones desencadenantes de flujos de detritos en la región de coquimbo* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].
- Muñoz, A. (2018). *Metodología para evaluar la amenaza de flujos de detritos utilizando un análisis jerárquico de procesos y el software RAMMS, con aplicación en la cuenca del estero San Alfonso, Región Metropolitana* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].
- Palacios, E. (2016). *Gestión integral de cuencas hidrográficas* (Cartilla). Managua, Nicaragua: Cooperación Suiza en América Central
- PMA - GCA (2007). *Movimientos de Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas* (Publicación geológica multinacional No. 4). Toronto, Canadá: Proyecto Multinacional Andino - Geociencias para las Comunidades Andinas. ISSN 0717 – 3733
- Ramírez, F., Quintana, C. (2021). *Análisis de las características de la cuenca en el flujo de detritos, de la quebrada Hatun Huayco – A.P.V. Ferroviarios en el Distrito de Saylla provincia de Cusco* [Tesis de pregrado, Universidad de Andina del Cusco].

- Santuayo, R., Zambrano, C. (2019). *Alternativas de mitigación para el flujo de detritos en la zona de descarga de la quebrada Quirio – Chosica – Perú – 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma].
- SENAMHI – ANA (2015). *Identificación de poblaciones vulnerables por activación de quebradas 2015 – 2016*. Lima, Perú: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y Autoridad Nacional del Agua
- Sepúlveda, S. (1998). *Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: Aplicación en la quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana* [Tesis de pregrado, Universidad de Chile].
- Sepúlveda, A., Patiño, J., Rodríguez, C. (2016). Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia caso Útica, Cundinamarca, Colombia. *Obras y Proyectos*, 20(1), 31 – 43.
- Takahashi, T. (2009). A review of Japanese debris flow research. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 2(1), 1–14. doi:10.13101/ijece.2.1
- Takahashi, T. (2007). *Debris Flow, Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Taylor & Francis Group.
- WSL. (2017). *Rapid Mass Movements Simulation (RAMMS): User Manual V1.7.0 Debris Flow*. Swiss Federal Institute For Forest, Snow And Landscape Research, Swiss Federal Institutes Of Technology. Institute For Snow And Avalanche Research Slf.
- Yang, H., Yang, T., Zhang, S., Zhao, F., Hu, K., & Jiang, Y. (2020). Rainfall-induced landslides and debris flows in Mengdong Town, Yunnan Province, China. *Landslides*, 17(4), 931–941. doi:10.1007/s10346-019-01336-y

ANEXOS

ANEXO 1: CARTA DE PRESENTACIÓN AL SENAMHI



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

LICENCIAMIENTO INSTITUCIONAL RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 040-2016-UNEDU/CD

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Carta Electrónico N.º 001-2022-FI-EIC-D

Santiago de Surco, 12 de mayo del 2022

Señor Magister
FIDEL PINTADO PASAPERA
GERENTE GENERAL DEL SENAMHI
Presente. -

De mi consideración:

Por medio del presente, me dirijo a usted para expresarle un cordial saludo y presentarle a los Señores Bachilleres **CHACALTANA GARCES**, Marco Daniel de código 201710548 y **ZENOBIO PARIASCA**, Alexis Iván de código 201711934 de esta Casa de Estudios, Carrera de Ingeniería Civil, quienes se encuentran realizando las investigaciones para la elaboración de su tesis de grado, el cual fue aprobado con el tema titulado **ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS – CAÑETE – LIMA – PERÚ**, siendo asesor de tesis el M.Sc. Ing. **MOGROVEJO GUTIÉRREZ, Rubén Esaú**, solicitando datos meteorológicos de las estaciones Cañete y SOCSI Cañete, con el objetivo de desarrollar el Estudio Hidrológico de la Zona (AA. HH San Carlos), el cual será usado con fines de investigación.

Seguros de vuestra gentil atención a la presente, a nombre de la Universidad Ricardo Palma, les quedamos anticipadamente agradecidos.

Muy atentamente,

Ing. OSCAR EDUARDO DONAYRE CÓRDOVA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil
Director

ODC:rg.

“Formamos seres humanos para una cultura de Paz”

Central: 708-0000 / Anexos: Secretaría de Decanato: 4203 Secretaría Académica: 4202 / Unidad de Planificación: 4275 /
Escuela de Ingeniería Civil: 4121 / Escuela de Ingeniería Electrónica: 4123 / Escuela de Ingeniería Industrial: 4122 /
Escuela de Ingeniería Informática: 4120 / Escuela de Ingeniería Mecatrónica: 4330
Av. Benavides 5440 – Urb. Las Gardenias – Surco, Código Postal 15039 Lima – Perú / Apartado Postal 18-0131
Página web: www.urp.edu.pe/ingenieria / Correo electrónico: esc-civ@urp.edu.pe

ANEXO 2: DECLARACIÓN JURADA DE DATOS PLUVIOMÉTRICOS

PROCEDIMIENTOS PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

ANEXO 03: FORMATO DE DECLARACIÓN JURADA

DECLARACION JURADA

Yo, **Marco Daniel Chacaltana Garcés** identificado (a) con DNI N° **76290754** con domicilio en **Jr. Eduardo Gallo N°463** en el Distrito de **Chorrillos**, Provincia de **Lima**, Departamento **Lima**



DECLARO BAJO JURAMENTO, QUE

La información hidrometeorológica proporcionada por SENAMHI, será de uso exclusivo de mi trabajo/proyecto/tesis titulado (a) "**ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CANETE - LIMA - PERÚ**" de la Universidad/Instituto **RICARDO PALMA**



12 de Mayo del 2022


Firma del Usuario

ANEXO 3: CARTA DE PRESENTACIÓN A LA MPC Y DOCUMENTOS



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

LICENCIAMIENTO INSTITUCIONAL RESOLUCIÓN DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 040-2016-UNEDU/CD

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Carta Electrónico N.º 002-2022-FI-EIC-D

Santiago de Surco, 25 de mayo del 2022

Señor C.P.C.

SEGUNDO CONSTANTINO DÍAZ DE LA CRUZ

Alcalde de la Municipalidad Provincial de Cañete

Jr. Bolognesi 250 – San Vicente de Cañete - Cañete

Presente. -

De mi consideración:

Por medio del presente, me dirijo a usted para expresarle un cordial saludo y presentarle a los Señores Bachilleres **CHACALTANA GARCES**, Marco Daniel de código 201710548 y **ZENOPIO PARIASCA**, Alexis Iván de código 201711934 de esta Casa de Estudios, Carrera de Ingeniería Civil, quienes se encuentran realizando las investigaciones para la elaboración de su tesis de grado, el cual fue aprobado con el tema titulado **ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS – CAÑETE – LIMA – PERÚ**, siendo asesor de tesis el M.Sc. Ing. **MOGROVEJO GUTIÉRREZ, Rubén Esaú**, solicitando el levantamiento topográfico del cauce principal y área colindante de la quebrada San Carlos, con la finalidad de realizar la simulación de flujos correspondientes y propuestas de mitigación ante la amenaza hidrológica, el cual será usado con fines de investigación.

Seguros de vuestra gentil atención a la presente, a nombre de la Universidad Ricardo Palma, les quedamos anticipadamente agradecidos.

Muy atentamente,

Ing. OSCAR EDUARDO DONAYRE CÓRDOVA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Director

ODC:rg.

“Formamos seres humanos para una cultura de Paz”

Central: 708-0000 / Anexos: Secretaría de Decanato: 4203 Secretaría Académica: 4202 / Unidad de Planificación: 4275 /

Escuela de Ingeniería Civil: 4121 / Escuela de Ingeniería Electrónica: 4123 / Escuela de Ingeniería Industrial: 4122 /

Escuela de Ingeniería Informática: 4120 / Escuela de Ingeniería Mecatrónica: 4330

Av. Benavides 5440 – Urb. Las Gardenias – Surco, Código Postal 15039 Lima – Perú / Apartado Postal 18-0131

Página web: www.urp.edu.pe/ingenieria / Correo electrónico: esc-civ@urp.edu.pe

FORMATO UNICO DE TRAMITE VIRTUAL

Sumilla: Solicitud levantamiento topográfico quebrada San Carlos

Sr. Alcalde de la MPC: C.P.C. Segundo Diaz De La Cruz

Nombres y apellidos: Marco Daniel Chacaltana Garces

Domicilio: Jr.Eduardo Gallo 463, Urb. Los Laureles, Chorrillos, Lima Metropolitana

DNI/RUC: DNI

Numero de documento: 76290754

Correo electronico: marco.chacaltana.g@gmail.com

Celular/Telefono: 918840387

Fundamento de la solicitud: En la actualidad, es necesario identificar las zonas vulnerables ante eventos naturales, como lo son el flujo de detritos. La presente investigación tiene como un objetivo el análisis hidrológico de la zona, con el fin de conocer su comportamiento ante un evento extremo, considerando los flujos de detritos para así establecer planes de mitigación de desastres por parte de las autoridades, minimizando al máximo los daños a los pobladores de la zona, además de establecer nuevas políticas ante el c

Fecha: 2022-05-25 11:03:31

IMPORTANTE: Declaro bajo responsabilidad que los datos consignados en la presente solicitud son ciertos y completos estando en conocimiento de las sanciones que se pueda imponer en caso de incumplimiento de conformidad con los dispuestos por las leyes vigentes.

CARGO

Lima, 25 de mayo del 2022

Señor

C.P.C Segundo Constantino Díaz De La Cruz

Alcalde de la Municipalidad Provincial de Cañete

Presente. –



De nuestra consideración:

Por intermedio de la presente, los señores Marco Daniel Chacaltana Garces y Alexis Iván Zenobio Pariasca, bachilleres de la escuela profesional de ingeniería civil de la Universidad Ricardo Palma, nos dirigimos a usted a fin de saludarle, aprovechando la oportunidad para expresarle nuestra especial consideración y estima personal. Hemos observado la problemática existente en el AA. HH San Carlos, el cual se encuentra en un estado de riesgo inminente ante la activación de su quebrada, de la que se tiene muy poca información. A raíz de lo mencionado, proponemos realizar un estudio por flujo de detritos (huayco) y posterior elaboración de mapas de riesgo, peligro y vulnerabilidad según normativas nacionales para tomar las medidas estructurales y no estructurales de prevención y mitigación ante los resultados que obtendremos, dicha investigación es parte de nuestra tesis de titulación como ingenieros civiles. Para realizar tan importante estudio, le solicitamos su apoyo con los datos de campo de la zona, el cual comprende un **levantamiento topográfico** del cauce de la quebrada San Carlos y área colindante, todo esto para obtener resultados precisos y acertados sobre el comportamiento del sector hidrológico. La investigación se encuentra en proceso de desarrollo de tesis, el cual, para seguir con su avance, necesitamos la confirmación de su apoyo por lo expuesto.

Agradeciendo de antemano la atención que se sirve prestar al presente, a fin de contar con su apoyo y aprobación con lo mencionado.

Sin algún otro particular, quedamos de usted a sus apreciables órdenes.

Atentamente

Bach. Ing. Marco Daniel Chacaltana Garces

DNI: 76290754

CEL:918840387

Bach. Ing. Alexis Ivan Zenobio Pariasca

DNI: 75351702

CEL:991883650

Anexo: Carta de presentación de los tesisistas por la Escuela de Ingeniería Civil - URP

ANEXO 4: MODELO DE ENCUESTA REALIZADA A LOS POBLADORES DE SAN CARLOS

ENCUESTA PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS DE LA TESIS: “ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS – CAÑETE – LIMA – PERÚ” ELABORADA POR:

BACH.ING. MARCO DANIEL CHACALTANA GARCES

BACH.ING. ALEXIS IVAN ZENOBIO PARIASCA

PARTE I. Antecedentes del encuestado			
Edad		Años de residencia	
Género	Femenino	Masculino	
Nivel educacional	Básica	Media	Técnico/universitario
Ocupación / oficio			
Unidad de análisis catastral	A B C D NN	NÚMERO:	_____

Nombre del encuestado: _____

PARTE II. DIMENSION SOCIAL		PARTE III. DIMENSION ECONOMICA	
EXPOSICIÓN SOCIAL		EXPOSICIÓN ECONOMICA	
1. Cantidad de personas por lote:		8. Cercanía a la zona afectada: a) Muy cerca, b) Cerca, c) Medio, d) Alejada, e) Muy alejada	
FRAGILIDAD SOCIAL		FRAGILIDAD ECONOMICA	
2. Servicios higiénicos: a) No tiene, b) Río, acequia o canal, c) Pozo ciego o negro d) Letrina e) Red pública de desagüe 3. Abastecimiento de agua: a) No tiene, b) Río, acequia, manantial o similar, c) Camión cisterna o similar, d) Pilón de uso público, e) Red pública 4. Tipo de alumbrado: a) No tiene, b) Vela y otros, c) Petróleo, gas o lámpara, d) Kerosene, mechero o lamparin, e) Electricidad		9. Material de las paredes: a) Estera, madera o triplay, b) Adobe o tapia, c) Quincha (caña con barro), d) Piedra con mortero de barro, e) Ladrillo o bloque de cemento 10. Material de los techos: a) Otro material, b) Madera, estera, c) Caña o estera con torta de barro, d) Calamina, e) Concreto 11. Estado de conservación: a) Muy malo, b) Malo, c) Regular, d) Bueno, e) Muy bueno	
RESILENCIA SOCIAL		RESILENCIA ECONOMICA	
5. Conocimiento local sobre ocurrencia pasada de desastres (causas y consecuencias): a) Desconocimiento, b) Escaso conocimiento, c) Regular conocimiento d) Mayoría de conocimiento, e) Buen conocimiento 6. Capacitación en temas de riesgo de desastre natural: a) Desconocimiento, b) Escaso conocimiento, c) Regular conocimiento, d) Mayoría de conocimiento, e) Buen conocimiento 7. Actitud frente al riesgo: a) Actitud fatalista y conformista, b) Actitud escasamente previsoría, c) Actitud parcialmente previsoría (conoce del riesgo pero no hace nada), d) Actitud parcialmente previsoría (asume riesgo para prevenir riesgo), e) Actitud completamente previsoría (implementa medidas para prevenir)		12. Ingreso promedio familiar: a) Menos de 1025, b) De 850 a 1500, c) De 1501 a 2200, d) De 2201 a 2860, e) Mayor a 2870 13. Actividad laboral: a) Agricultura, pesca, ganadería, b) Empresas de servicios, c) Comercio al por mayor y menor d) Hospedajes y restaurantes, e) Otros 14. Ocupación: a) Trabajador familiar no remunerado, b) Obrero, c) Empleado, d) Trabajador independ e) Empleador	

OBSERVACIONES: _____

FIRMA DEL ENCUESTADOR

FIRMA CONFORMIDAD DEL ENCUESTADO

DNI:

DNI:

ANEXO 5: ACTAS DE ENTREGA DE IMÁGENES SATELITALES PERUSAT-1



CARGO

ACTA DE ENTREGA FTP Y RECEPCIÓN DE PRODUCTOS IMAGEN DEL CNOIS N° 295-2022

Por medio de la presente la unidad de atención y soporte al usuario del CNOIS hace entrega de las siguientes imágenes satelitales solicitadas por:

INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD RICARDO PALMA - URP

USUARIO COF: PR1vmogrovejo

Provenientes del CNOIS que se describen a continuación y declaro bajo juramento que estos productos imagen no serán utilizados nunca en contra de los intereses del Estado o en intereses que pongan en peligro la seguridad y/o los intereses nacionales. Asimismo, de corresponderme me comprometo a administrar y controlar el adecuado uso, el destino y la custodia de las imágenes recibidas. Los productos imagen recibidos son:

N°	N° PEDIDO	I.D. IMAGEN	ZONA	AREA (KM2)	SENSOR	PRODUCTO	MODO	REF. (USD)	REF. (S/)
1	CO_2207042032228	201802061520311	LIMA	207	PERUSAT-1	PAN+MS	ARCHIVO	1,656.00	6,453.43
2	CO_2207231525287	201803301520469	LIMA	90	PERUSAT-1	PAN+MS	ARCHIVO	720	2,805.84
TOTAL								2,376.00	9,259.27

Pucusana miércoles, 17 de agosto de 2022

DATOS DE QUIEN ENTREGA

Nombres y apellidos:

Mayor. FAP. Jorge Luis Huarniz Guillen

Cargo: Jefe de la Unidad de Atención y Soporte al Usuario del CNOIS

DNI: 42062614

FIRMA:

Abastecimiento
JORGE L. HUARNIZ GUILLEN

DATOS DE QUIEN RECIBE

Nombres y apellidos:

RUBÉN ESAÚ MOGROVEJO GUTIÉRREZ

Cargo: Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Civil

DNI: 10623893

FIRMA:

HUELLA DIGITAL:



NOTA:

Las imágenes proveídas por la entidad fueron usadas netamente para fines de investigación por parte de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma, sin fines de lucro y teniendo en cuenta los acuerdos del usuario final CNOIS, el representante del convenio URP-CONIDA, MSc. Ing. Rubén Mogrovejo Gutiérrez es el asesor de la tesis "ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERÚ", presentado por los bachilleres Marco Chacaltana y Alexis Zenobio para lo cual se hicieron los pedidos detallados, a continuación se muestra la condición actual de las imágenes:

CO_2207042032228: El pedido corresponde a una imagen ortorectificada, y en modo MONO, lo cual la hace no útil para el objetivo de generar el modelo digital de superficie del Centro Poblado San Carlos Alto, por lo cual la imagen fue descartada.

CO_2207231525287: El pedido corresponde a una imagen en sensor primario y en modo MONO, lo cual la hace no útil para el objetivo de generar el modelo digital de superficie del Centro Poblado San Carlos alto, por lo cual la imagen fue descartada.

Cabe recalcar que en la plataforma COF no se encuentra la opción de solicitud de imagen ESTEREOSCÓPICA, por lo cual se realizaron llamadas y consultas al número de atención al usuario, los correos de consulta se enviaron a partir del día 13/07/2022 y fueron contestados el día 17/08/2022, por motivos de tiempo y plazos de la investigación se hicieron más pedidos en búsqueda de la imagen estereo durante esas fechas.

El presente documento será ingresado como cargo a la E.P. de Ingeniería Civil de la URP, a fin de que el director de escuela, Ing. Oscar Donayre, tenga conocimiento de los procesos y solicitudes llevados a cabo.

Bach. Ing. Marco Danjel Chacaltana Garces
Tesisista - URP
DNI: 76290754

Bach. Ing. Alexis Ivan Zenobio Pariasca
Tesisista - URP
DNI: 75351702

TC= 3.897

REF= <https://e-consulta.sunat.gob.pe/cl-at-ittipcam/tcS01A/alias>

1 de 1

ACTA DE ENTREGA FTP Y RECEPCIÓN DE PRODUCTOS IMAGEN DEL CNOIS N° 351-2022

Por medio de la presente la unidad de atención y soporte al usuario del CNOIS hace entrega de las siguientes imágenes satelitales solicitadas por:

INSTITUCIÓN UNIVERSIDAD RICARDO PALMA - URP
USUARIO COF PRlvmogrovejo

Provenientes del CNOIS que se describen a continuación y declaro bajo juramento que estos productos imagen no serán utilizados nunca en contra de los intereses del Estado o en intereses que pongan en peligro la seguridad y/o los intereses nacionales. Asimismo, de corresponderme me comprometo a administrar y controlar el adecuado uso, el destino y la custodia de las imágenes recibidas. Los productos imagen recibidos son:

N°	N° PEDIDO	I.D. IMAGEN	ZONA	AREA (KM2)	SENSOR	PRODUCTO	MODO	REF. (USD)	REF. (S/)
1	CO_2208081800187	201803301520469	LIMA	62	PERUSAT-1	PAN+MS	ARCHIVO	496	1,908.11
2	CO_2208081802202	201803301520469	LIMA	63	PERUSAT-1	PAN+MS	ARCHIVO	504	1,938.89
TOTAL								1,000.00	3,847.00

Pucusana lunes, 22 de agosto de 2022

DATOS DE QUIEN ENTREGA

Nombres y apellidos:
Mayor. FAP. Jorge Luis Huarniz Guillen
Cargo: Jefe de la Unidad de Atención y Soporte al Usuario del CNOIS
DNI: 42062614
FIRMA:



JORGE L. HUARNIZ GUILLEN

DATOS DE QUIEN RECIBE

Nombres y apellidos:
RUBÉN ESAÚ MOGROVEJO GUTIÉRREZ
Cargo: Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Civil
DNI: 10623893
FIRMA:
HUELLA DIGITAL:



NOTA:

Las imágenes proveídas por la entidad fueron usadas netamente para fines de investigación por parte de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma, sin fines de lucro y teniendo en cuenta los acuerdos del usuario final CNOIS, el representante del convenio URP-CONIDA, MsC. Ing. Rubén Mogrovejo Gutiérrez es el asesor de la tesis "ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERÚ", presentado por los bachilleres Marco Chacaltana y Alexis Zenobio para lo cual se hicieron los pedidos detallados, a continuación se muestra la condición actual de las imágenes:

CO_2208081800187: El pedido corresponde a una imagen en sensor primario, y en modo **MONO**, lo cual la hace no útil para el objetivo de generar el modelo digital de superficie del Centro Poblado San Carlos Alto, por lo cual la imagen fue descartada.

CO_2208081802202: El pedido corresponde a una imagen en sensor primario y en modo **MONO**, lo cual la hace no útil para el objetivo de generar el modelo digital de superficie del Centro Poblado San Carlos alto, por lo cual la imagen fue descartada.

La idea era generar el modelo necesario con las imágenes enlistadas solicitadas de distintas imágenes del catálogo, pero al momento de realizar la revisión correspondiente, **ambas imágenes tenían las mismas características (Fecha y hora de toma, ángulo de incidencia, etc)**, por lo cual las hace inservibles para la obtención del resultado esperado, **dicho reclamo de imágenes repetidas fue presentada mediante un correo el día 17/08/2022.**

Cabe recalcar que en la plataforma COF no se encuentra la opción de solicitud de imagen **ESTEREOSCÓPICA**, por lo cual se realizaron llamadas y consultas al número de atención al usuario, **los correos de consulta se enviaron a partir del día 13/07/2022 y fueron contestados el día 17/08/2022**, por motivos de tiempo y plazos de la investigación se hicieron más pedidos en búsqueda de la imagen estéreo durante esas fechas. El presente documento será ingresado como cargo a la E.P de Ingeniería Civil de la URP, a fin de que el director de escuela, Ing. Oscar Donayre, tenga conocimiento de los procesos y solicitudes llevados a cabo.



Bach. Ing. Marco Daniel Chacaltana Garces
Tesisista - URP
DNI: 76290754



Bach. Ing. Alexis Ivan Zenobio Pariasca
Tesisista - URP
DNI: 75351702

TC= 3.847

REF= <https://e-consulta.sunat.gob.pe/cl-at-ittipcam/tc501Alias>

1 de 1

ACTA DE ENTREGA FTP Y RECEPCIÓN DE PRODUCTOS IMAGEN DEL CNOIS N° 419-2022

Por medio de la presente la unidad de atención y soporte al usuario del CNOIS hace entrega de las siguiente imágenes satelitales solicitadas por:

INSTITUCIÓN UNIVERSIDAD RICARDO PALMA - URP
USUARIO COF PRlvmogrovejo

Provenientes del CNOIS que se describen a continuación y declaro bajo juramento que estos productos imagen no serán utilizados nunca en contra de los intereses del Estado o en intereses que pongan en peligro la seguridad y/o los intereses nacionales. Asimismo, de corresponderme me comprometo a administrar y controlar el adecuado uso, el destino y la custodia de las imágenes recibidas. Los productos imagen recibidos son:

N°	N° PEDIDO	I.D. IMAGEN	ZONA	AREA (KM2)	SENSOR	PRODUCTO	MODO	REF. (USD)	REF. (S/)
1	CO_2208230509229	201802061520311	LIMA	40	PERUSAT-1	PAN+MS	ARCHIVO	320	1,264.64
TOTAL								320	1,264.64

Pucusana lunes, 3 de Octubre de 2022

DATOS DE QUIEN ENTREGA

Nombres y apellidos:

Mayor. FAP. Jorge Luis Huarniz Guillen

Cargo: Jefe de la Unidad de Atención y Soporte al Usuario del CNOIS

DNI: 42062614

FIRMA:



Atestado
Mayor FAP
JORGE L. HUARNIZ GUILLEN

DATOS DE QUIEN RECIBE

Nombres y apellidos:

RUBÉN ESAÚ MOGROVEJO GUTIÉRREZ

Cargo: Profesor Investigador de la Escuela de Ingeniería Civil

DNI: 10623893

FIRMA:

HUELLA DIGITAL:

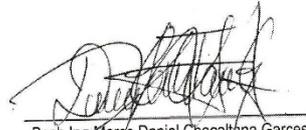


NOTA:

La imagen proveída por la entidad fue usada netamente para fines de investigación por parte de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma, sin fines de lucro y teniendo en cuenta los acuerdos del usuario final CNOIS, el representante del convenio URP-CONIDA, MsC.Ing.Rubén Mogrovejo Gutiérrez es el asesor de la tesis "ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERÚ" presentada por los bachilleres Marco Chacaltana y Alexis Zenobio, para el desarrollo de tal investigación se hizo el pedido de la presente acta, para lo cual se detalla su estado y uso:

CO_2208230509229: El pedido corresponde a una imagen en sensor primario en condición de pancromática + multispectral en bandas separadas en MONO, junto con otros pedidos anteriores a éste se tienen 3 ángulos de inclinación del satélite peruano para la correcta generación del modelo digital de superficie de la asociación de vivienda popular San Carlos Alto, la cual es la zona de estudio de la tesis. Dichos pedidos se hicieron de manera separada debido a la falta de la opción de solicitud de toma estereoscópica en el sistema COF, pro más que se especificó en el box de comentarios. **Es por ello el motivo que se requirieron las 3 imágenes disponibles en el catálogo del sistema.**

Con la finalidad de dejar documentado el uso de las imágenes brindadas, culminada la investigación y revisión por parte del jurado, **se remitirá una copia de la tesis a la entidad como prueba de la condición y empleo de los productos.** Asimismo la presente acta será ingresado como cargo a la E.P de Ingeniería civil a fin de que el director de escuela, Ing.Oscar Donayre, esté enterado de los procesos realizados en el sistema COF.



Bach. Ing. Marco Daniel Chacaltana Garces
DNI: 76290754
Tesisista URP

TC= 3.952

REF= <https://e-consulta.sunat.gob.pe/cl-at-ittipcam/tc501A/alias>

1 de 1

ANEXO 6: RESULTADOS DE ENSAYOS GEOTÉCNICOS

TECNOLABPERÚ S.A.

TECNOLOGÍA Y LABORATORIOS PERÚ S.A

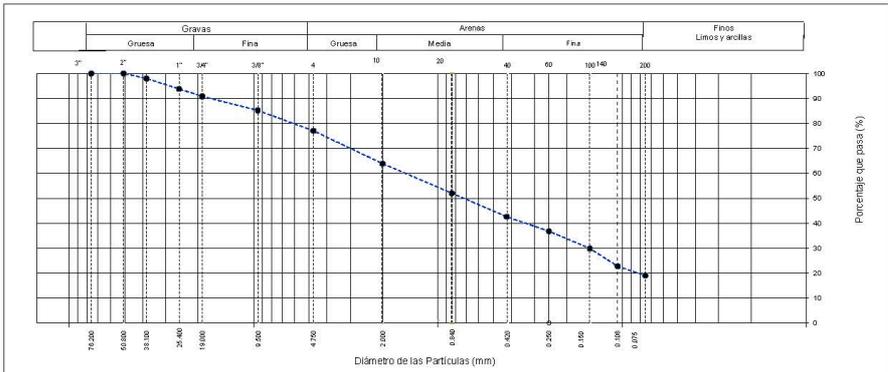
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE SUELOS UTILIZANDO ANÁLISIS DE TAMIZ ASTM D 6913 - 17		
PROYECTO	: TESIS: ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERU	Coordenadas
PROPIETARIO	: BACH. ING. MARCO DANIEL CHACALTANA GARCÉS / BACH. ING. ALEXIS IVAN ZENOBIO PARIASCA	N:
FECHA	: 05/06/22	E:
SECTOR	: CENTRO POBLADO HERBAY ALTO - SAN VICENTE DE CAÑETE - CAÑETE	C:
UBICACION	: ASOCIACION DE VIVIENDA POPULAR SAN CARLOS ALTO	Código:
SONDAJE	: C-1	Version:
		Página:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO	PORCENTAJE TOTAL RETENIDO
3"	76.200	100.0		
2"	50.800	100.0		2.03
1 1/2"	38.100		2.03	6.20
1"	25.400	93.8	4.17	9.18
3/4"	19.000	90.8	2.97	14.66
3/8"	9.500	85.2	5.67	22.99
Nº 4	4.750	77.0	8.14	36.14
Nº 10	2.000	63.9	13.15	48.00
Nº 20	0.840	52.0	11.87	57.42
Nº 40	0.425	42.6	9.41	63.22
Nº 60	0.250	36.8	5.80	70.15
Nº 100	0.150	29.8	6.93	77.29
Nº 140	0.106	22.7	7.14	80.96
Nº 200	0.075	19.0	3.68	100.00
PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"			
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto			
TAMIZ SEPARADOR	Nº 4			
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"A"			

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	23.0
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	58.0
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	19.0

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.7
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"A"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	
LÍMITE PLÁSTICO	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto



CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SM
CLASIFICACIÓN USPTU (ASTM D2486)	ML-S (0)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena limosa con grava

observaciones

JUAN FERNANDO PEREZ AYALA
INGENIERO CIVIL
GPIF 260128

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE SUELOS UTILIZANDO ANÁLISIS DE TAMIZ										
ASTM D6913 - 17										
PROYECTO	: TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUERRADA SAN CARLOS - CANETE - LIMA - PERÚ	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Coordenadas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N:</td> <td>8548834</td> </tr> <tr> <td>E:</td> <td>362884</td> </tr> <tr> <td>C:</td> <td>241</td> </tr> </tbody> </table>	Coordenadas		N:	8548834	E:	362884	C:	241
Coordenadas										
N:	8548834									
E:	362884									
C:	241									
PROPIETARIO	: BACH. ING. MARIO DANIEL CHACALTANA GARCÉS / BACH. ING. ALEXIS IVAN ZENOBIO PARIASCA									
FECHA	: 05/06/22									
SECTOR	: CENTRO POBLADO HERBAY ALTO - SAN VICENTE DE CANETE - CANETE									
UBICACIÓN	: ASOCIACIÓN DE VIVIENDA POPULAR SAN CARLOS ALTO									
SONDAJE	: C-2	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Código:</td> <td>TL5-002-22</td> </tr> <tr> <td>Versión:</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Página:</td> <td>1 de 1</td> </tr> </tbody> </table>	Código:	TL5-002-22	Versión:	2	Página:	1 de 1		
Código:	TL5-002-22									
Versión:	2									
Página:	1 de 1									

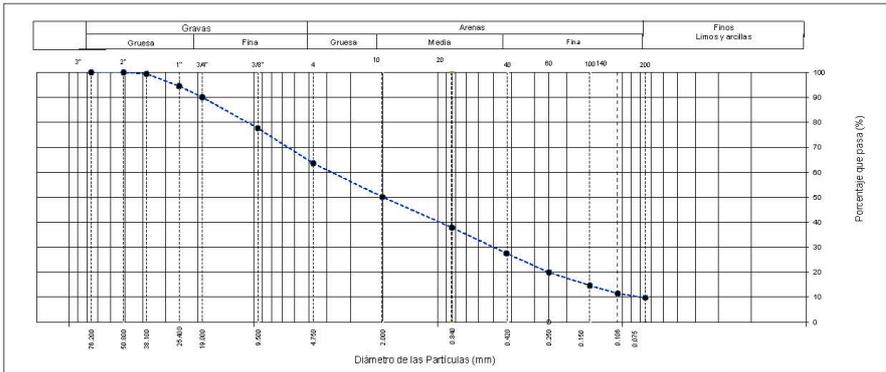
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO	PORCENTAJE TOTAL RETENIDO
3"	76.200	100.0		
2"	50.800	100.0		
1 1/2"	38.100	99.4		5.46
1"	25.400	94.5	4.88	9.96
3/4"	19.000	90.0	4.50	22.35
3/8"	9.500	77.7	12.38	36.43
Nº 4	4.750	63.6	14.09	49.93
Nº 10	2.000	50.1	13.50	62.18
Nº 20	0.840	37.8	12.25	72.62
Nº 40	0.425	27.5	10.34	80.15
Nº 60	0.250	19.8	7.63	85.36
Nº 100	0.150	14.6	5.21	88.69
Nº 140	0.106	11.4	3.22	90.31
Nº 200	0.075	9.7	1.72	100.00

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	Nº4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"A"

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	36.4
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	53.9
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	9.7

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.0
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"A"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	
LÍMITE PLÁSTICO	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto



CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SP - SM
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-2.4 (1)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena pobremente graduada con limo y grava

observaciones

Juan Fernando Pérez Ayala
 JUAN FERNANDO PEREZ AYALA
 INGENIERO CIVIL
 CIP Nº 260126

Ensayo Corte Directo
ASTM - D3080

DATOS DE MUESTRA

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERÚ; CODIGO : TLS - 02-22

OBRA : BACH. ING. MARCO DANIEL CHACALTANA GARCES / BACH. ING. ALEXIS IVAN ZENOBIO PARIASCA

FECHA : Jun-22

SECTOR : CENTRO POBLADO HERBAY ALTO - SAN VICENTE DE CAÑETE - CAÑETE

UBICACIÓN : ASOCIACIÓN DE VIVIENDA POPULAR SAN CARLOS ALTO

CALICATA : M-2

PROFUNDIDAD : - m VELOCIDAD : 0.174 mm/min

SUCS : SP-SM AASHTO : A-2-4(1)

ESFUERZO NORMAL	kg/cm2	1.0 kg/cm2		2.0 kg/cm2		4.0 kg/cm2	
		inicial	final	inicial	final	inicial	final
Etapas	cm	2.75	2.68	2.75	2.43	2.75	2.40
Altura	cm	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96
Diametro	cm	1.00	13.48	1.00	10.84	1.00	11.41
Humedad	%						
Densidad Seca	g/cm3	1.39	1.27	1.39	1.44	1.39	1.44

deformacion %	1.0 kg/cm2		2.0 kg/cm2		4.0 kg/cm2	
	ESF. De Corte (kg/cm2)	deformacion %	ESF. De Corte (kg/cm2)	deformacion %	ESF. De Corte (kg/cm2)	deformacion %
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.20	0.25	0.35	0.25	0.25	0.52
0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.72
0.75	0.28	0.75	0.70	0.75	0.75	0.90
1.00	0.31	1.00	0.80	1.00	1.00	1.03
1.25	0.34	1.25	0.93	1.25	1.25	1.16
1.50	0.36	1.50	0.93	1.50	1.25	1.25
1.75	0.38	1.75	0.97	1.75	1.35	1.35
2.00	0.40	2.00	1.03	2.00	1.49	1.49
2.50	0.44	2.50	1.08	2.50	1.67	1.67
3.00	0.48	3.00	1.11	3.00	1.76	1.76
4.00	0.55	4.00	1.24	4.00	2.10	2.10
4.50	0.58	4.50	1.27	4.50	2.22	2.22
5.00	0.61	5.00	1.30	5.00	2.32	2.32
6.00	0.66	6.00	1.34	6.00	2.48	2.48
7.00	0.69	7.00	1.37	7.00	2.65	2.65
8.00	0.71	8.00	1.43	8.00	2.86	2.86
9.00	0.73	9.00	1.46	9.00	2.99	2.99
10.00	0.77	10.00	1.49	10.00	3.10	3.10
11.00	0.79	11.00	1.52	11.00	3.19	3.19
12.00	0.80	12.00	1.55	12.00	3.24	3.24
13.00	0.79	13.00	1.56	13.00	3.30	3.30
14.00	0.81	14.00	1.59	14.00	3.35	3.35

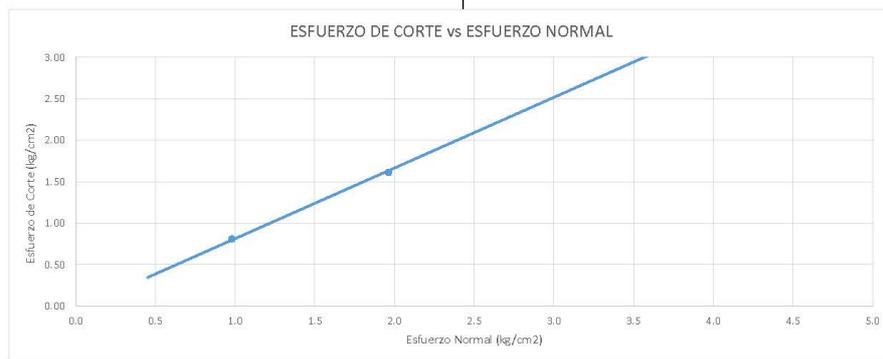
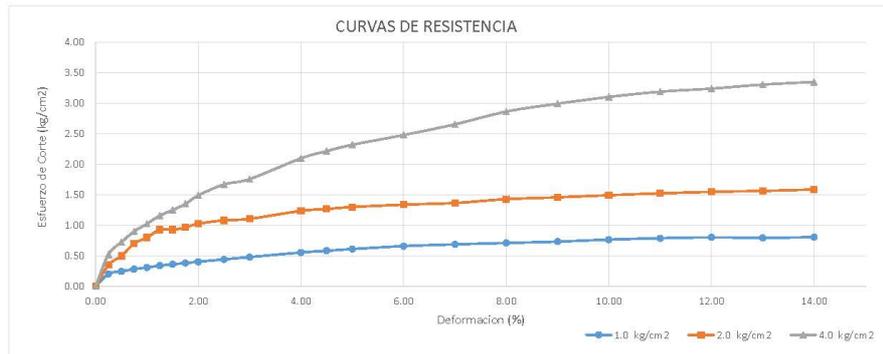

JUAN FERNANDO PEREZ AYALA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 260128

Ensayo Corte Directo

ASTM - D3080

DATOS DE MUESTRA

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESC CODIGO : TLS - 02-22
 OBRA : BACH. ING. MARCO DANIEL CHACALTANA GARCES / BACH. ING. ALEXIS IVAN ZENOBIO PARIASCA
 FECHA : Jun-22
 SECTOR : CENTRO POBLADO HERBAY ALTO - SAN VICENTE DE CAÑETE - CAÑETE
 UBICACIÓN : ASOCIACIÓN DE VIVIENDA POPULAR SAN CARLOS ALTO
 CALICATA : C-3
 PROFUNDIDAD : - m VELOCIDAD : 0.174 mm/min
 S U C S : SP-SM AASHTO : A-2-4(1)



C	0.0
φ (°)	40

Juan Fernando Perez Ayala
 JUAN FERNANDO PEREZ AYALA
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 260128

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA (GRADACIÓN) DE SUELOS UTILIZANDO TAMIZ ANÁLISIS DE TAMIZ ASTM D6913 - 17																
PROYECTO	: TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUERRADA SAN CARLOS - CANETE - LIMA - PERÚ	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Coordenadas</th> </tr> <tr> <td>N:</td> <td>8548603</td> </tr> <tr> <td>E:</td> <td>365371</td> </tr> <tr> <td>C:</td> <td>365</td> </tr> <tr> <td>Código:</td> <td>TL5-003-22</td> </tr> <tr> <td>Versión:</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Página:</td> <td>1 de 1</td> </tr> </table>	Coordenadas		N:	8548603	E:	365371	C:	365	Código:	TL5-003-22	Versión:	2	Página:	1 de 1
Coordenadas																
N:	8548603															
E:	365371															
C:	365															
Código:	TL5-003-22															
Versión:	2															
Página:	1 de 1															
PROPIETARIO	: BACH. ING. MARIO DANIEL CHACALTANA GARCÉS / BACH. ING. ALEXIS IVAN ZENOBIO PARIASCA															
FECHA	: 05/06/22															
SECTOR	: CENTRO POBLADO HERBAY ALTO - SAN VICENTE DE CANETE - CANETE															
UBICACIÓN	: ASOCIACIÓN DE VIVIENDA POPULAR SAN CARLOS ALTO															
SONDAGE	: C-3															

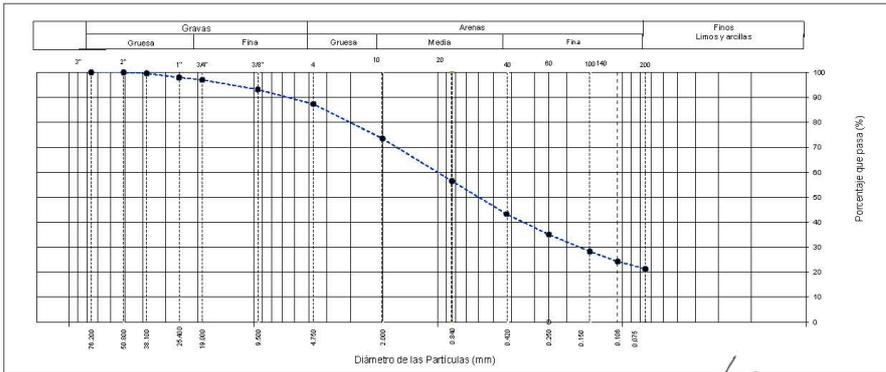
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO	PORCENTAJE TOTAL RETENIDO
3"	76.200	100.0		
2"	50.800	100.0		
1 1/2"	38.100	99.6		2.06
1"	25.400	97.9	1.68	2.97
3/4"	19.000	97.0		6.86
3/8"	9.500	93.1	3.89	12.68
Nº 4	4.750	87.3	5.62	26.51
Nº 10	2.000	73.5	13.83	43.52
Nº 20	0.840	56.5	17.01	56.77
Nº 40	0.425	43.2	13.24	64.96
Nº 60	0.250	35.0	8.21	71.75
Nº 100	0.150	28.3	6.77	75.78
Nº 140	0.106	24.2	4.03	78.71
Nº 200	0.075	21.3	2.93	100.00

PROCEDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE MUESTRA	"Secada al horno a 110 +/- 5°C"
PROCEDIMIENTO DE TAMIZADO	Tamizado compuesto
TAMIZ SEPARADOR	Nº4
MÉTODO DE REPORTE DE RESULTADOS	"A"

COMPOSICIÓN FÍSICA DEL SUELO EN FUNCIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULAS	
CONTENIDO DE GRAVA PRESENTE EN EL SUELO %	12.7
CONTENIDO DE ARENA PRESENTE EN EL SUELO %	66.0
CONTENIDO DE FINOS PRESENTES EN EL SUELO %	21.3

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.9
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"A"
MATERIALES EXCLUIDOS	Ninguno

LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	
LÍMITE PLÁSTICO	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto



CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	A-1-B (U)
NOMBRE DEL GRUPO	Arena limosa

Juan Fernando
 JUAN FERNANDO PEREZ AYALA
 INGENIERO CIVIL
 CP Nº 260128

observaciones

Ensayo Corte Directo
ASTM - D3080

DATOS DE MUESTRA

PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERÚ; CODIGO : TLS - 03-22

OBRA : BACH. ING. MARCO DANIEL CHACALTANA GARCES / BACH. ING. ALEXIS IVAN ZENOBIO PARIASCA

FECHA : Jun-22

SECTOR : CENTRO POBLADO HERBAY ALTO - SAN VICENTE DE CAÑETE - CAÑETE

UBICACIÓN : ASOCIACIÓN DE VIVIENDA POPULAR SAN CARLOS ALTO

CALICATA : C-3

PROFUNDIDAD : - m VELOCIDAD : 0.174 mny/min

SUCS : SP-SM AASHTO : A-2-4(1)

ESFUERZO NORMAL	kg/cm2	1.0 kg/cm2		2.0 kg/cm2		4.0 kg/cm2	
		inicial	final	inicial	final	inicial	final
Etapas	cm	2.75	2.36	2.75	2.31	2.75	2.16
Altura	cm	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96	6.96
Diámetro	cm	0.90	12.74	0.90	11.75	0.90	10.69
Humedad	%	1.59	1.67	1.59	1.72	1.59	1.85
Densidad Seca	g/cm3						

deformacion %	1.0 kg/cm2		2.0 kg/cm2		4.0 kg/cm2	
	ESF. De Corte (kgcm2)	deformacion %	ESF. De Corte (kgcm2)	deformacion %	ESF. De Corte (kgcm2)	deformacion %
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.18	0.25	0.22	0.25	0.25	0.54
0.50	0.22	0.50	0.33	0.50	0.71	0.71
0.75	0.26	0.75	0.40	0.75	0.89	0.89
1.00	0.29	1.00	0.47	1.00	0.96	0.96
1.25	0.33	1.25	0.53	1.25	1.07	1.07
1.50	0.36	1.50	0.53	1.50	1.07	1.07
1.75	0.38	1.75	0.59	1.75	1.17	1.17
2.00	0.39	2.00	0.68	2.00	1.29	1.29
2.50	0.43	2.50	0.74	2.50	1.46	1.46
3.00	0.46	3.00	0.77	3.00	1.53	1.53
4.00	0.53	4.00	0.94	4.00	1.86	1.86
4.50	0.56	4.50	0.99	4.50	1.97	1.97
5.00	0.60	5.00	1.05	5.00	2.08	2.08
6.00	0.64	6.00	1.12	6.00	2.23	2.23
7.00	0.68	7.00	1.22	7.00	2.44	2.44
8.00	0.72	8.00	1.30	8.00	2.63	2.63
9.00	0.74	9.00	1.37	9.00	2.74	2.74
10.00	0.77	10.00	1.41	10.00	2.85	2.85
11.00	0.79	11.00	1.45	11.00	2.93	2.93
12.00	0.80	12.00	1.49	12.00	3.01	3.01
13.00	0.81	13.00	1.53	13.00	3.12	3.12
14.00	0.82	14.00	1.55	14.00	3.17	3.17

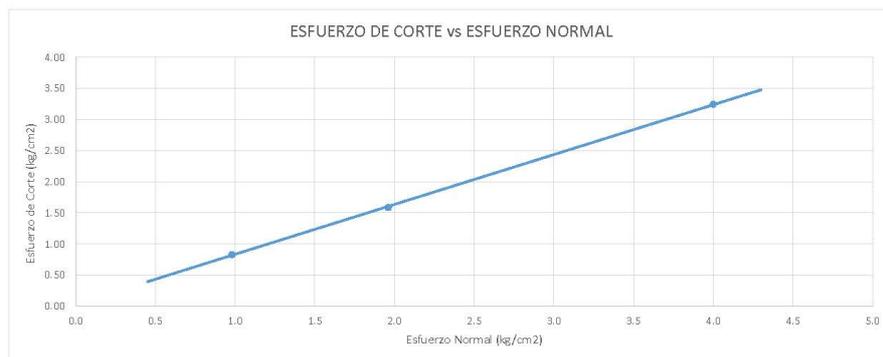
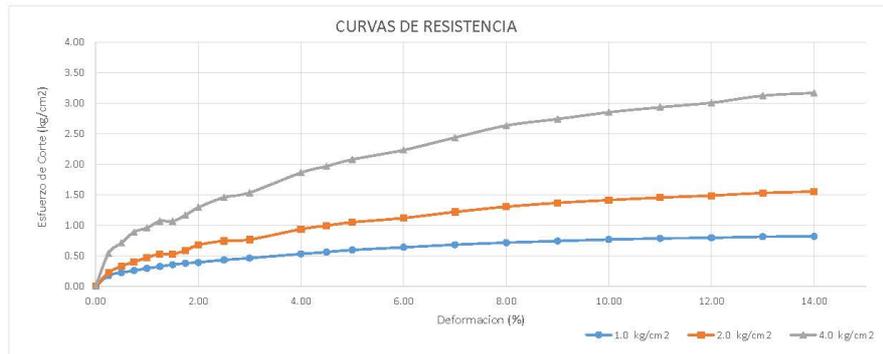

JUAN FERNANDO PEREZ AYALA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 260128

Ensayo Corte Directo

ASTM - D3080

DATOS DE MUESTRA

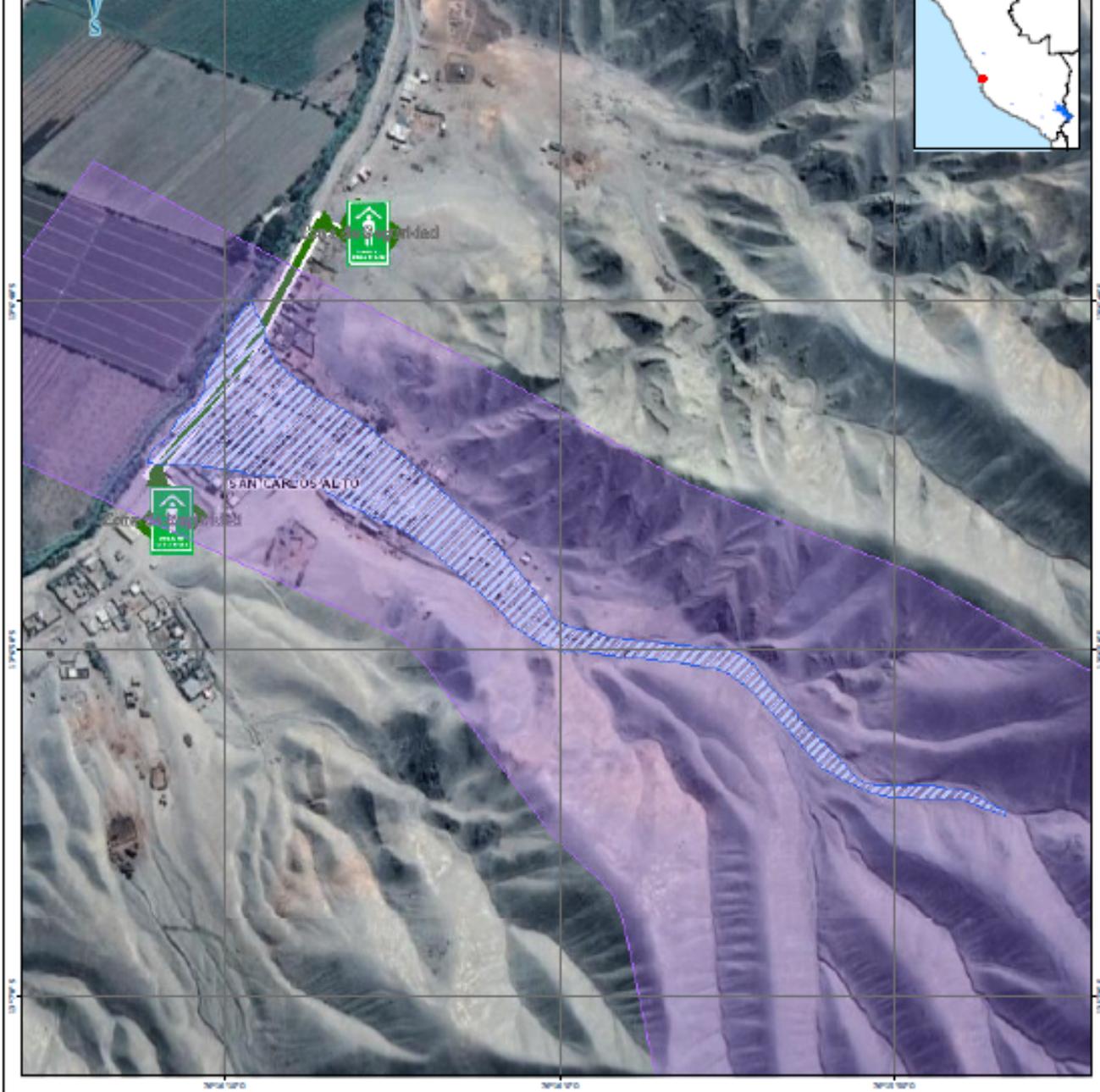
PROYECTO : TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESC CODIGO : TLS - 03-22
 OBRA : BACH. ING. MARCO DANIEL CHACALTANA GARCES / BACH. ING. ALEXIS IVAN ZENOBIO PARIASCA
 FECHA : Jun-22
 SECTOR : CENTRO POBLADO HERBAY ALTO - SAN VICENTE DE CAÑETE - CAÑETE
 UBICACIÓN : ASOCIACIÓN DE VIVIENDA POPULAR SAN CARLOS ALTO
 CALICATA : C-3
 PROFUNDIDAD : - m VELOCIDAD : 0.174 mm/min
 S U C S : SP-SM AASHTO : A-2-4(1)



C	0.0
φ (°)	38.7

Juan Fernando Perez Ayala
 JUAN FERNANDO PEREZ AYALA
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 260128

ANEXO 7: MAPA SIGRID DE LA ZONA DE ESTUDIO

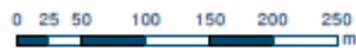


LEYENDA

- 02Cuenca SanC
- Centros Poblados
- Áreas de exposición
- Rutas de Evacuación

REFERENCIA CARTOGRAFICA

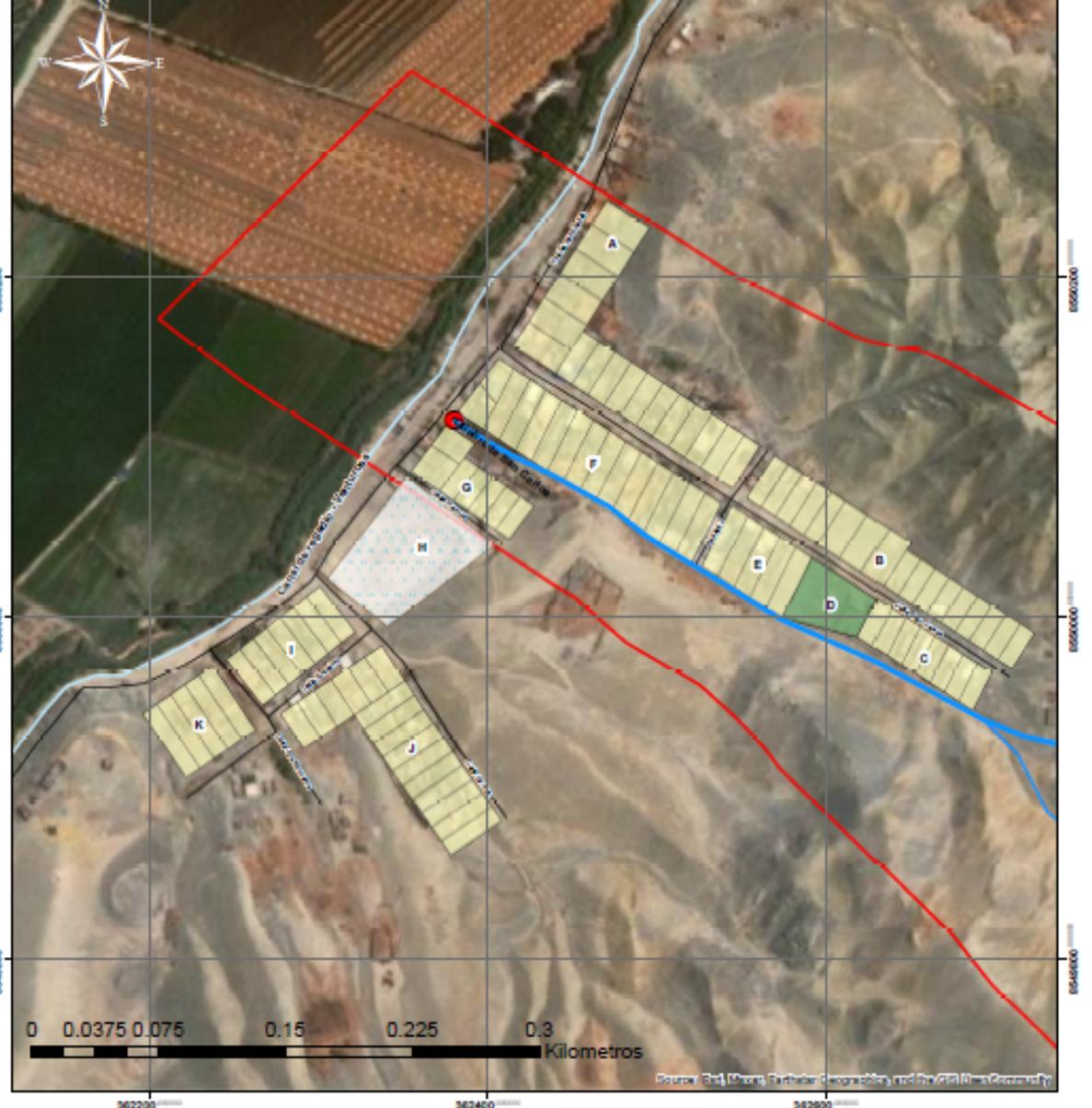
Escala: 1:5,000



1 cm en el mapa equivale a 50 metros en el terreno
 La superficie visible sólo es representada en el mapa
 en su aproximación a 25 m

Sistema de Coordenadas Geográficas
 Datum Horizontal de Referencia WGS84

**ANEXO 8: MAPA DE LA ASOCIACIÓN DE VIVIENDA POPULAR SAN
CARLOS ALTO**



- LEYENDA**
- Red de drenaje
 - Punto de aforo
 - Microcuenca San Carlos

- SIMBOLOGÍA**
- Área verde
 - Colegio
 - Trocha
 - Canal



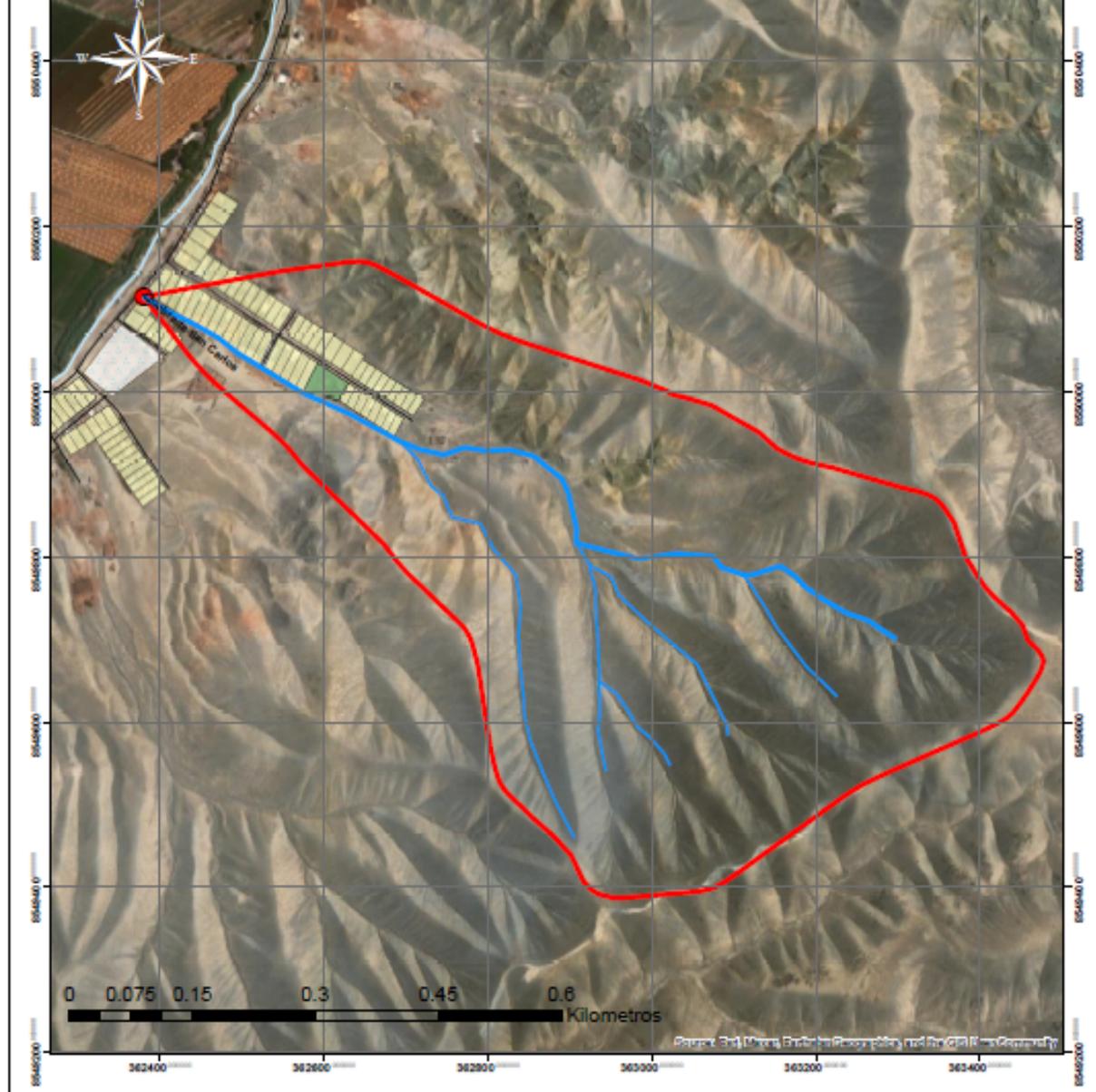
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERÚ

ASOCIACIÓN DE VIVIENDA POPULAR SAN CARLOS ALTO

UBICACIÓN Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: San Vicente de Cañete	ELABORADO POR Bach. Ing. Marco Chacaltana G. Bach. Ing. Alexis Zenobio P. ASESOR	MAPA M-01
--	---	---------------------

ANEXO 9: SECTOR HIDROGRÁFICO SAN CARLOS



- LEYENDA**
- Red de drenaje
 - Punto de aforo
 - Microcuenca San Carlos

- SIMBOLOGÍA**
- Área verde
 - Colegio
 - Vivienda
 - Trocha
 - Canal



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS
 EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS -
 CAÑETE - LIMA - PERÚ

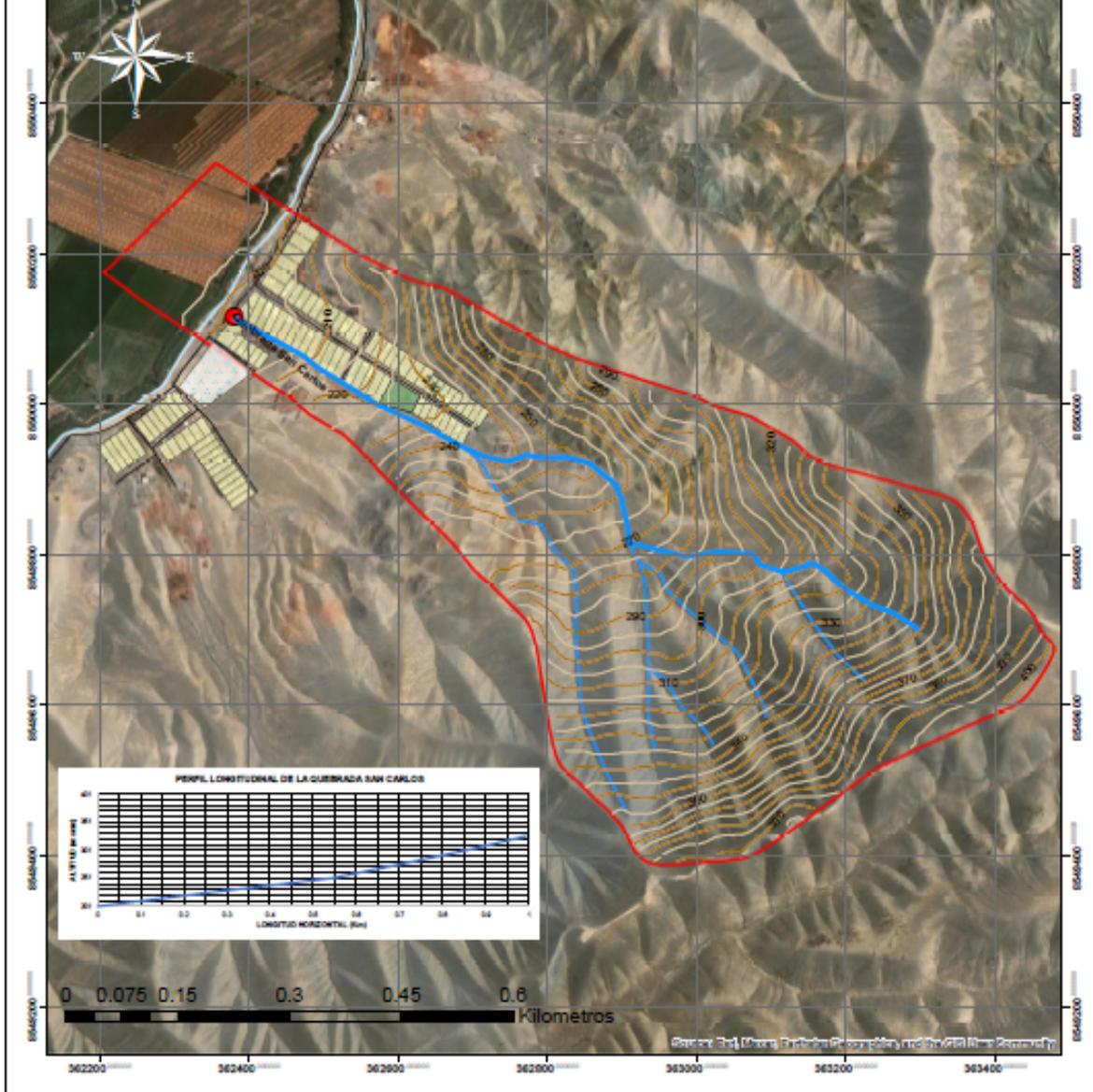
SECTOR HIDROGRÁFICO SAN CARLOS

UBICACIÓN
 Departamento: Lima
 Provincia: Cañete
 Distrito: San Vicente de Cañete
 Centro poblado:
 Asociación de vivienda popular

ELABORADO POR
 Bach. Ing. Marco Chacaltana G.
 Bach. Ing. Alexis Zenobio P.
ASESOR
 M.Sc. Ing. Rubén Mogrovejo G.

MAPA
M-02

ANEXO 10 : TOPOGRAFÍA DEL SECTOR SAN CARLOS



LEYENDA

- Red de drenaje
- Punto de aforo
- Microcuenca San Carlos
- Curva maestra - 10m
- Curva de nivel - 5m

SIMBOLOGÍA

- Área verde
- Trocha
- Colegio
- Canal
- Vivienda



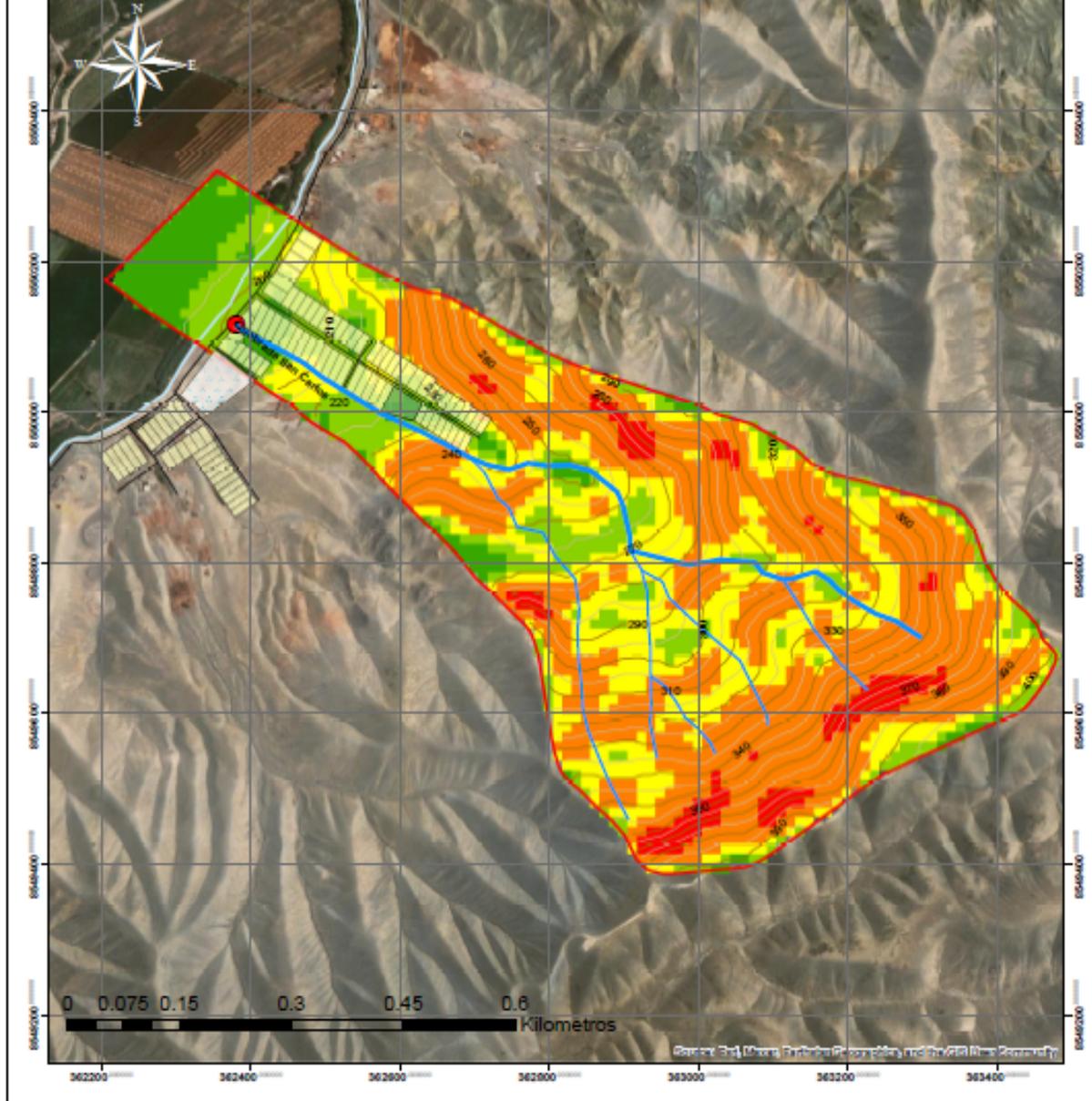
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERÚ

TOPOGRAFÍA DEL SECTOR SAN CARLOS

UBICACIÓN Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: San Vicente de Cañete Centro poblado: Asociación de vivienda popular San Carlos Alto	ELABORADO POR Bach. Ing. Marco Chacaltana G. Bach. Ing. Alexis Zenobio P.	MAPA M-03
	ASESOR M.Sc. Ing. Rubén Mogrovejo G.	
	FECHA Julio del 2022	

ANEXO 11: MAPA DE PENDIENTES



LEYENDA

RANGO	DESCRIPCIÓN
0° - 5°	LLano
5° - 10°	Moderada baja
10° - 15°	Moderada
15° - 25°	Fuerte
>25°	Muy fuerte

SIMBOLOGÍA

	Área verde		Trocha
	Colegio		Canal



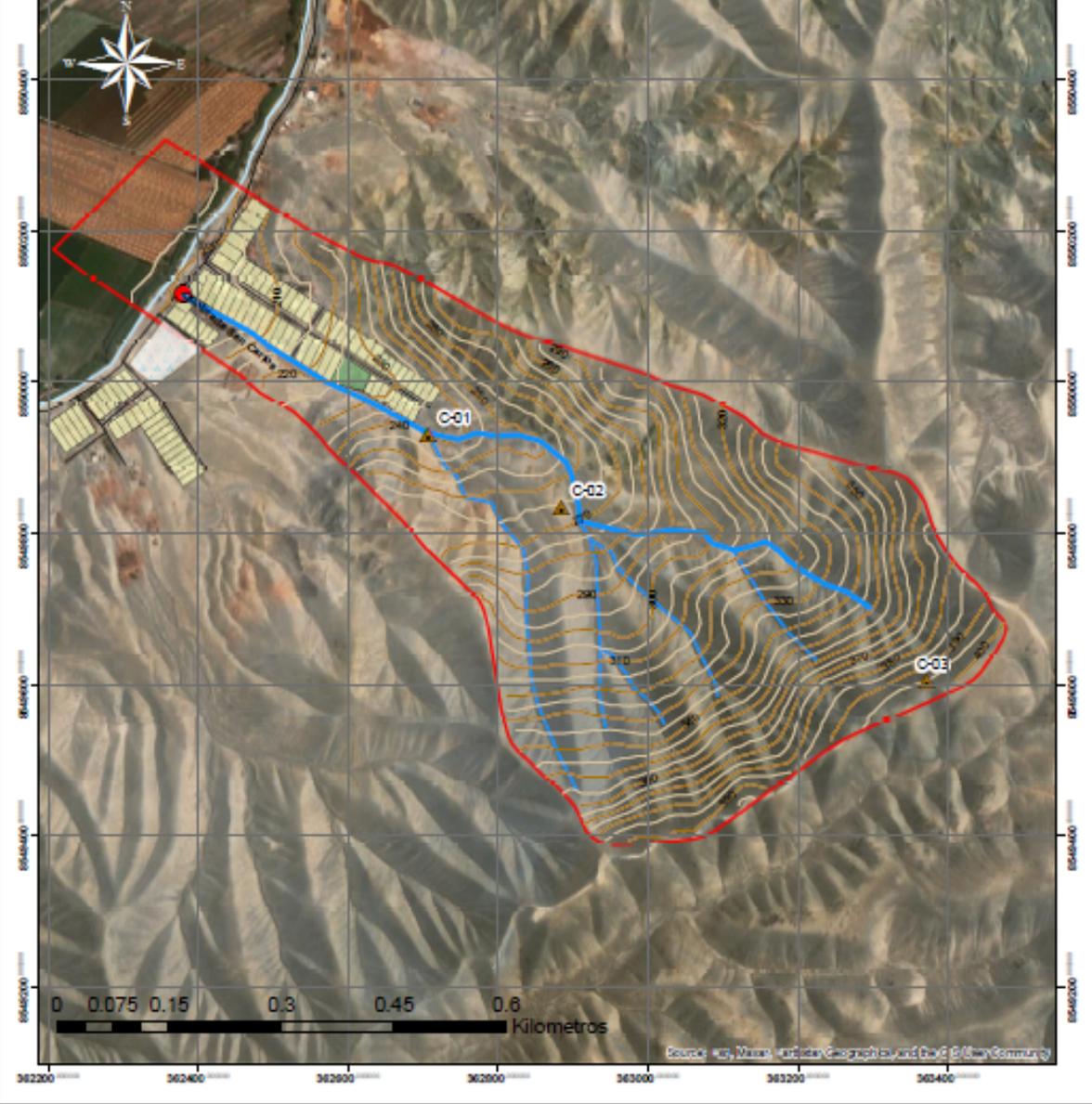
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS
 EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS -
 CAÑETE - LIMA - PERÚ

MAPA DE PENDIENTES

UBICACIÓN Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: San Vicente de Cañete Centro poblado: Asociación de vivienda popular	ELABORADO POR Bach. Ing. Marco Chacaltana G. Bach. Ing. Alexis Zenobio P. ASESOR M.Sc. Ing. Rubén Mogrovejo G.	MAPA M-04
---	--	--------------------------------

ANEXO 12: UBICACIÓN DE CALICATAS



- LEYENDA**
- Red de drenaje
 - Punto de aforo
 - Microcuenca San Carlos
 - Calicatas

- SIMBOLOGÍA**
- Área verde
 - Colegio
 - Vivienda
 - Trocha
 - Canal



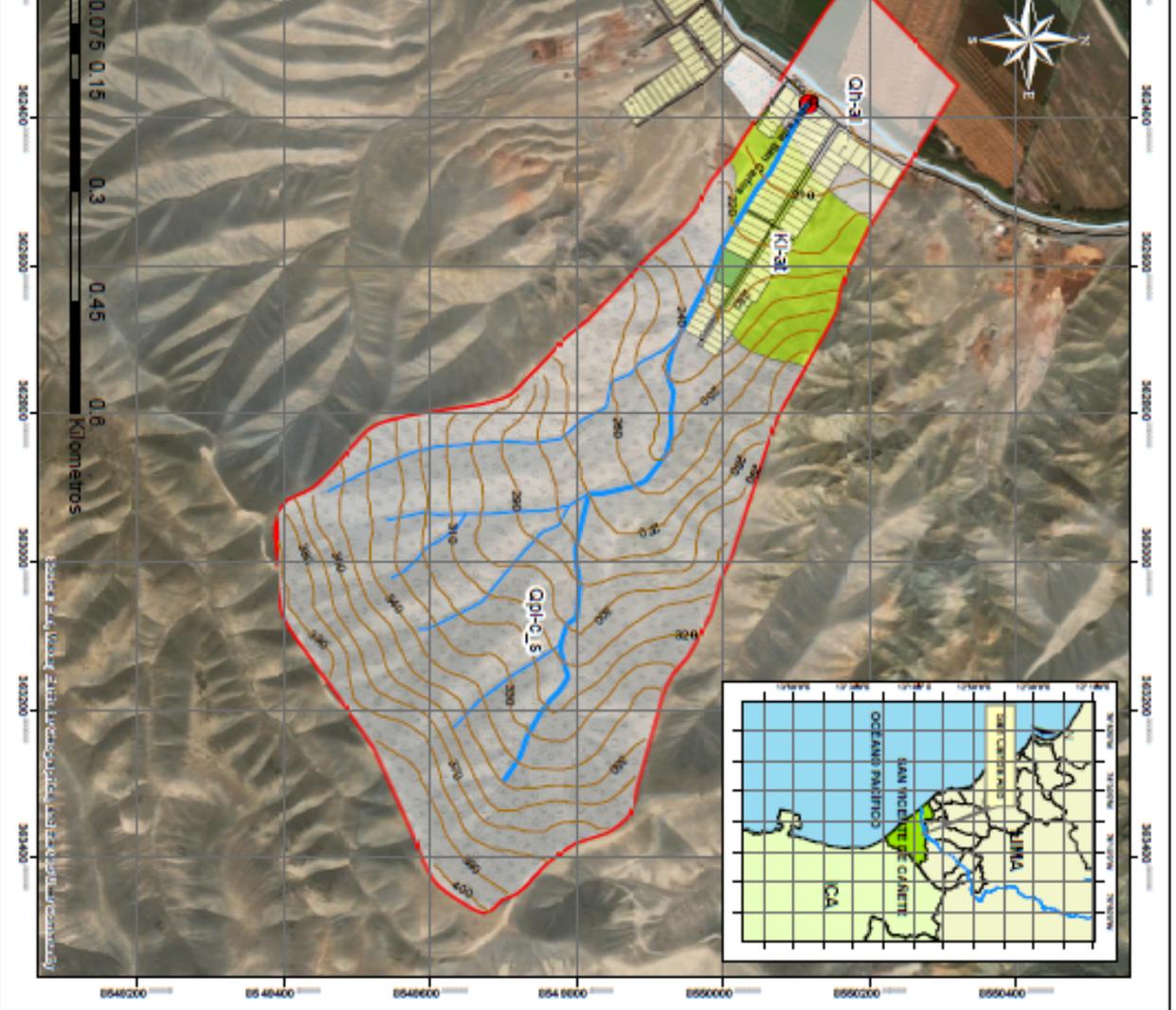
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS
 EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS -
 CAÑETE - LIMA - PERÚ

UBICACIÓN DE CALICATAS

UBICACIÓN Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: San Vicente de Cañete Centro poblado: Asociación de vivienda popular San Carlos Alto	ELABORADO POR Bach. Ing. Mero Chacaltana G. Bach. Ing. Alexis Zenobio P.	MAPA M-05
	ASESOR M.Sc. Ing. Rubén Mogrovejo G.	
FECHA		

ANEXO 13: GEOLOGÍA REGIONAL DEL SECTOR SAN CARLOS



- LEYENDA**
- Red de drenaje
 - Punto de aforo
 - Microcuencina San Carlos
 - Curva de nivel

FORMACIONES GEOLOGICAS REGIONALES

- Qp1-c1s**
Formación Cañete Superior: Conglomerados matriz arena - limosa semiconsolidados con subredondeados de litología variada, presenta superficies de erosión.
- Qh-3l**
Depositos Aluviales: Representan los conos de deyección de las quebradas de la zona, consta de material muy grueso, arenoso y limo arcilloso, lo cual lo hace totalmente cultivable.
- K1-al**
Formación Alcobongo: Pequeñas colinas de calizas margosas en aparente concordancia, debajo de las calizas, arenizas y volcánicas de la unidad superior (Formación Qullimani).

SIMBOLOGIA

- Área verde
- Colegio
- Vivienda
- Trocha
- Canal

DATUM

WGS 1984 UTM ZONA 18 S

Proyecto: Mapa geológico regional Lima III

UNIVERSIDAD RICARDO PAZ Y BARRAL

FACULTAD DE INGENIERIA,
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE LAVA EN LA ZONA DE DESCAJGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS DE CAÑETE - LIMA - PERU

GEOLOGIA REGIONAL DEL SECTOR SAN CARLOS DE CAÑETE

UBICACION

Departamento: Lima
Provincia: Cañete
Distrito: San Vicente de Cañete
Centro poblado:
Asociación de vivienda popular
San Carlos Alto

ELABORADO POR

Dra. Ing. María Chiriquis G.

Dra. Ing. Anika Zorobal P.

ASESOR

M. Sc. Ing. Rubén Magrovec G.

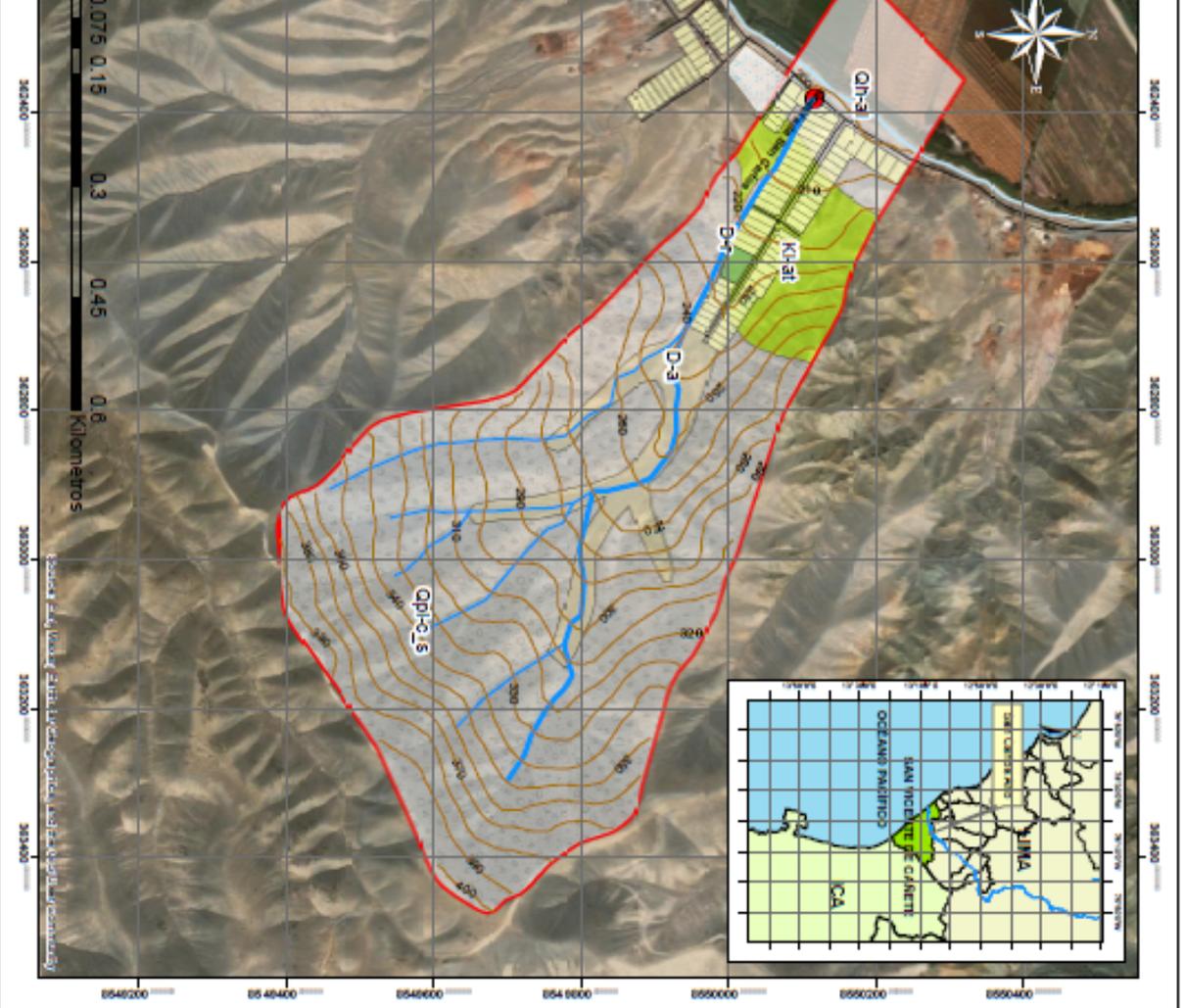
FECHA

Julio del 2022

ESCALA

1:6.000

ANEXO 14: GEOLOGÍA LOCAL DEL SECTOR SAN CARLOS



- LEYENDA**
- Red de drenaje
 - Curva de nivel
 - Punto de atforo
 - Microcuencena San Carlos

FORMACIONES GEOLOGICAS LOCALES

- Qp1-c-1s**
Formación Cabello Superior: Conglomerados mal clasificados en un arenoso - arenas arenconglomeradas con chales subredondeados de biología variada; presencia arenconglomerados arenosos.
Depositos Aluviales: Depósitos, los conos de deyección de las porciones de la zona. Consta de material mal clasificado de gravas, arenas y limo arcilloso, lo cual lo hace altamente colmatado.
Formación Alcobonga: Pequeñas colinas de calizas grises y marroñas en su parte concavidad, chapales de mariposa, tizas, calizas, arenitas y volutas de la unidad superpuesta (calatrava).
- K1-1t**
Depositos andénicos: Generados por la erosión del basalto San Carlos hacia las zonas de material granular y grueso de las Formaciones Cabello Superior y Alcobonga.
- D-1**
Depositos aluviales: Generados a partir de la deposición de las porciones de arena gruesa, conforman una capa delgada de material grueso con botones superficiales, se ha modificado por la erosión lateral y construcción de terrazas.
- D-3**

SIMBOLOGIA

- Área verde
- Colegio
- Vivienda
- Trocha
- Canal

DATUM

WGS 1984 UTM ZONA 18 S

Proyecto de tesis: Ingeniería Civil, Universidad Ricardo Palma, 2022

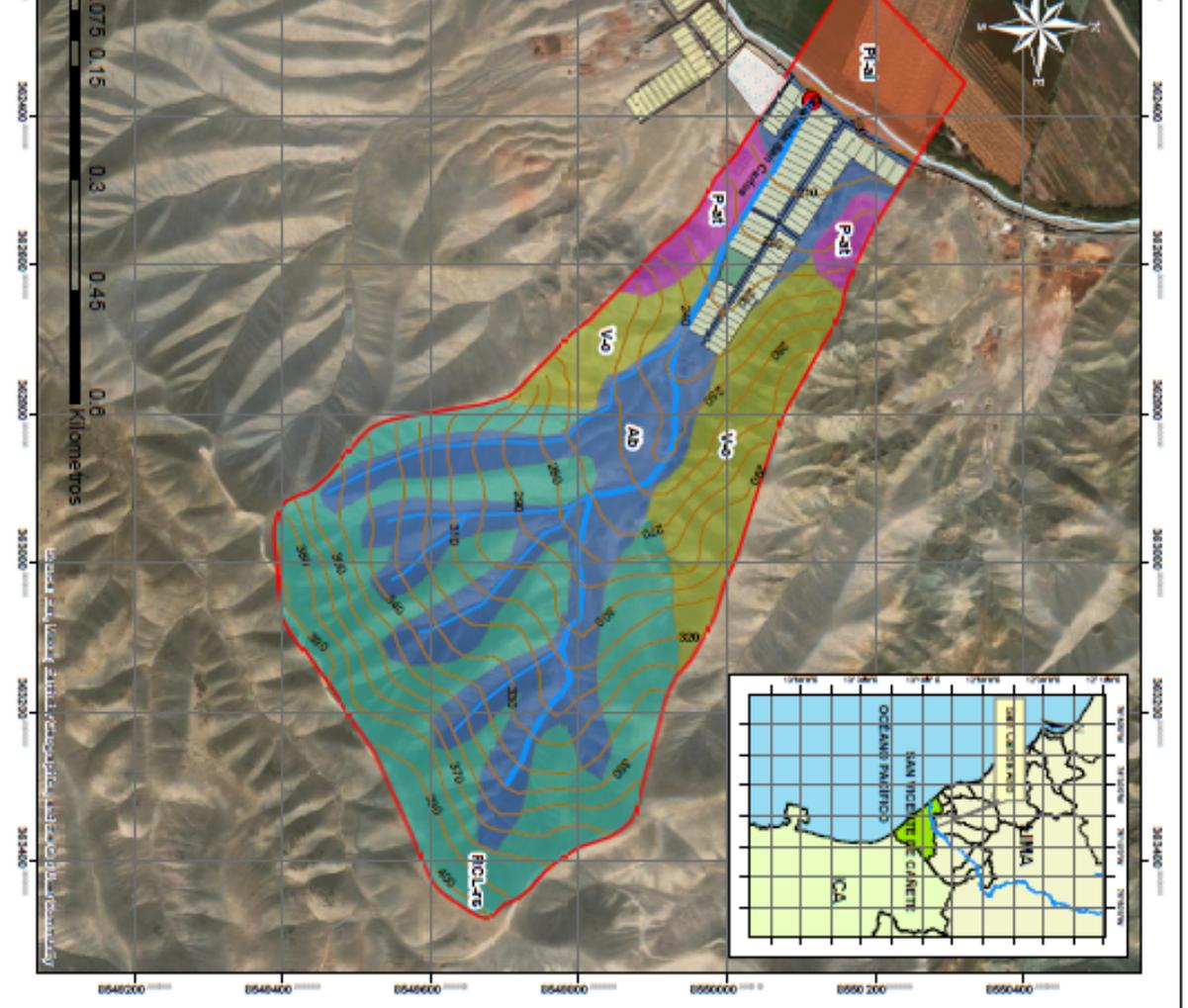
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITO EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA CUENCA SAN CARLOS CÁMETE - LIMA - PERU

GEOLOGÍA LOCAL DEL SECTOR SAN CARLOS CÁMETE - LIMA - PERU

ELABORADO POR:		MAPA:	
Bach. Ing. Marco Chacabaza G. Bach. Ing. Alexis Zavala P.			
AUTOR: MSc. Ing. Rubén Magrovec G.			
UBICACIÓN: Departamento: Lima Provincia: Cabello Distrito: San Carlos de Cabello Centro: Urbanización de vivienda popular San Carlos Alto		FECHA: Julio del 2022	
ESCALA: 1:6,000			

ANEXO 15: GEOMORFOLOGÍA LOCAL DEL SECTOR SAN CARLOS



- LEYENDA**
- Red de drenaje
 - Punto de aforo
 - Microcuencena San Carlos
 - Curva de nivel

FORMACIONES GEOMORFOLOGICAS LOCALES

- RCL-7s**
Corteza formada en roca andesítica. Tiene un origen estructural-erosional controlado por fallas y zonas discordantes a la zona de planicies costeras, donde se produce el por rocas sedimentarias y volcánicas erosionadas por acción y marida.
- Ab**
Atercio de sedimentación. Conformado al depósito generado por reactivación de tipo de detritivo generado por las aluviones presentes en el sector San Carlos.
- P-3t**
Volcánica o piroclástica suave torrencial. Corresponde a los depósitos de tipo de detritivo generados por fragmentos rocosos heterométricos (depósitos en una matriz arcillo-arenosa).
- P-3l**
Llanura o planicie aluvial. Zona plana conformada por sedimentos finos o arenales, limos y lodos. Se identificó de acuerdo a los campos de cultivo encontrados en el área.
- V-C**
Volcánica colada de detritivo. Son depósitos de bloques de roca en la base de conos volcánicos, conformados por fragmentos de rocas de gran tamaño generados por caídas, volcánicas y meteorización física (aluviones escarpados).

- SIMBOLOGIA**
- Área verde
 - Colegio
 - Vivienda
 - Trocha
 - Canal

DATUM WGS-1984 UTM ZONA 18 S

Fecha: 08/08/2022

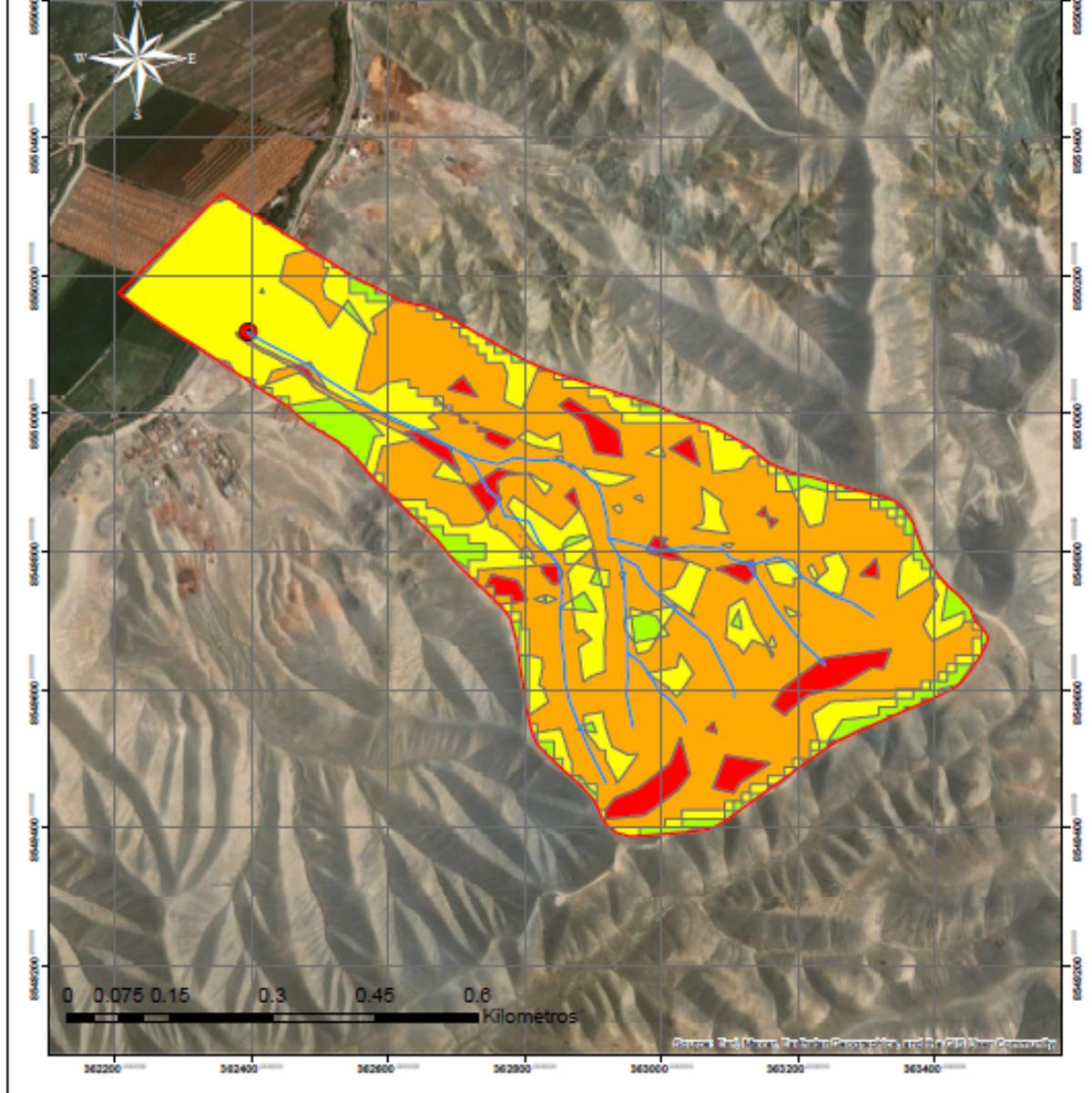
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS: ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITO EN LA ZONA DE DESGARRA DE LA QUERRADA SAN CARLOS CÁMETE - LIMA - PERU

GEOMORFOLOGIA LOCAL DEL SECTOR SAN CARLOS

UBICACION: Departamento: Lima Provincia: Canta Distrito: San Vicente de Cañete Centro poblado: Asociación de vivienda popular San Carlos Alto	ELABORADO POR: Dra. Ing. María Chacabaza G. Dra. Ing. Anika Zavala P. ASESOR: M.Sc. Ing. Rubén Magroño G.	MAPA
ESCALA 1:6,000	FECHA Julio 08/ 2022	M-1

ANEXO 16: MAPA DE PELIGRO



LEYENDA

- Red de drenaje
- Punto de aforo
- Microcuenca San Carlos

NIVEL DE PELIGRO

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS
EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS -
CAÑETE - LIMA - PERÚ

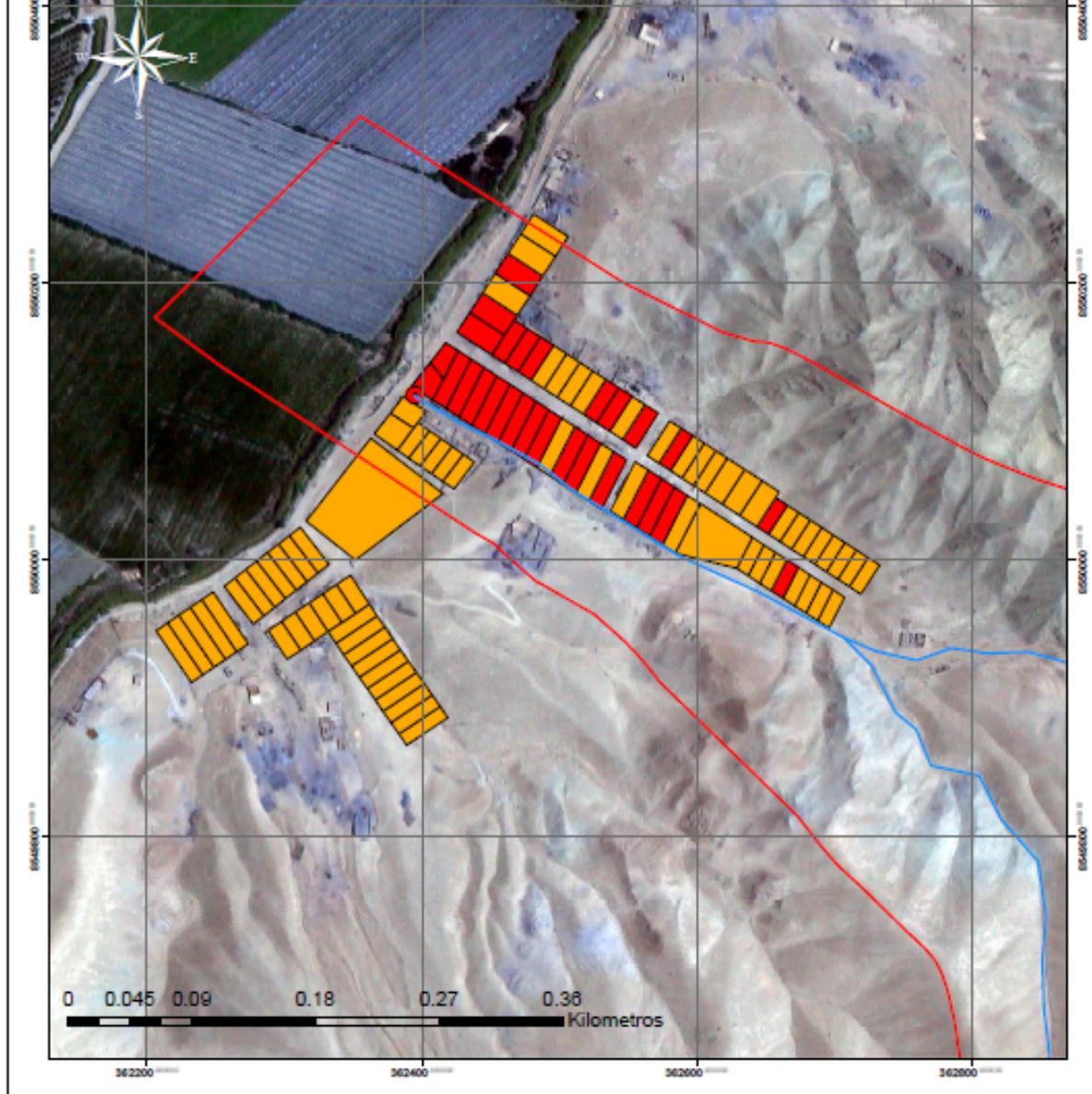
MAPA DE PELIGRO

UBICACIÓN
Departamento: Lima
Provincia: Cañete
Distrito: San Vicente de Cañete
Centro poblado:
Asociación de vivienda popular
San Carlos Alto

ELABORADO POR
Bach. Ing. Marco Chacaltana G.
Bach. Ing. Alexis Zenobio P.
ASESOR
M. Sc. Ing. Rubén Mogrovejo G.

MAPA
M-09

ANEXO 17: MAPA DE VULNERABILIDAD



LEYENDA

- Red de drenaje
- Punto de aforo
- Microcuenca San Carlos

NIVEL DE VULNERABILIDAD

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo



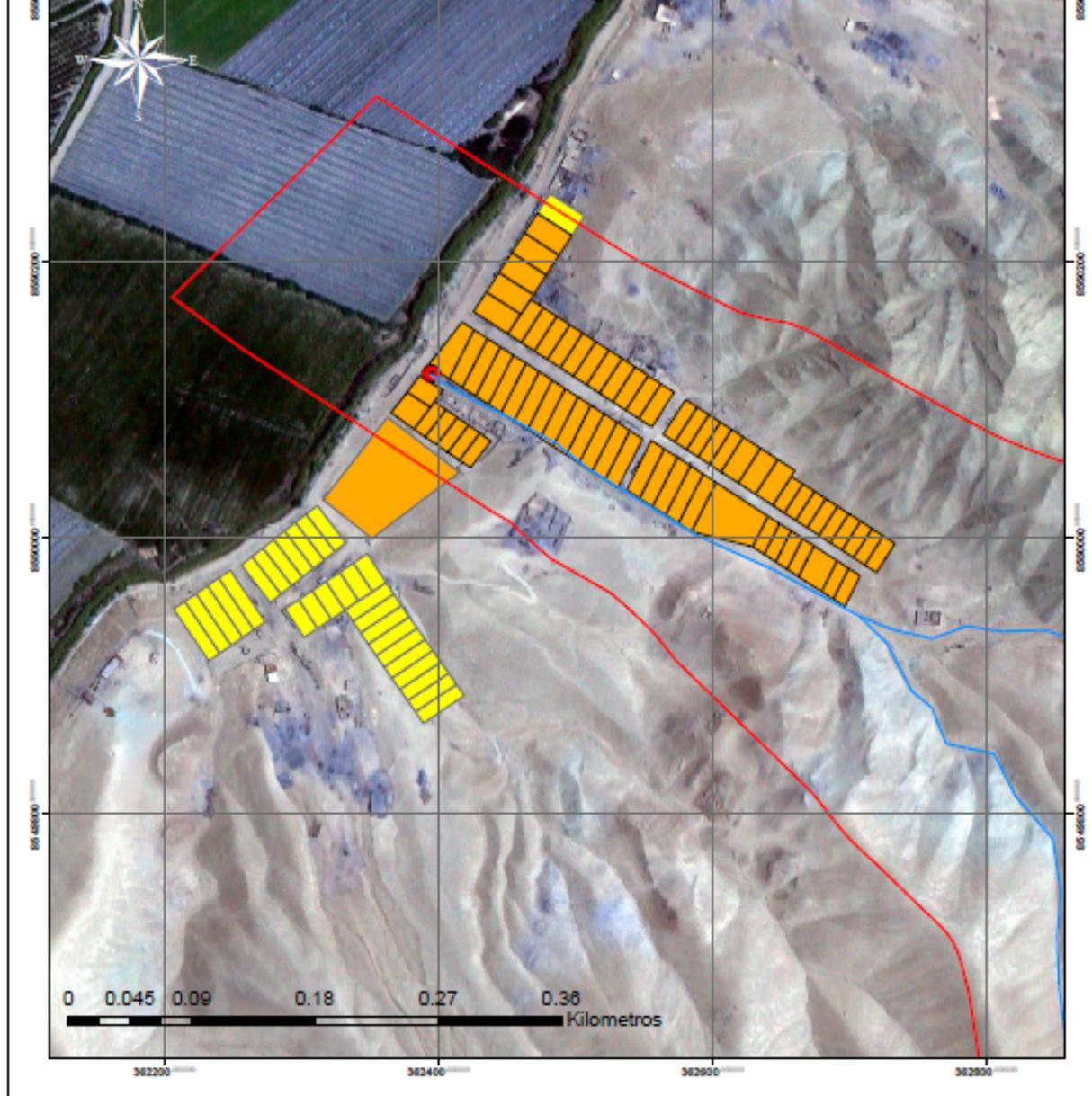
UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS
EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS -
CAÑETE - LIMA - PERÚ

MAPA DE VULNERABILIDAD

<p>UBICACIÓN</p> <p>Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: San Vicente de Cañete Centro poblado: Asociación de vivienda popular San Carlos Alto</p>	<p>ELABORADO POR</p> <p>Bach. Ing. Marco Chacabana G. Bach. Ing. Alexis Zenobio P.</p> <p>ASESOR</p> <p>M. Sc. Ing. Rubén Mogrovejo G.</p> <p>FRONTERA</p>	<p>MAPA</p> <p style="font-size: 2em;">M-10</p>
--	---	---

ANEXO 18: MAPA DE RIESGO



LEYENDA

-  Red de drenaje
-  Punto de aforo
-  Microcuenca San Carlos

NIVEL DE PELIGRO

-  Muy alto
-  Alto
-  Medio



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS
 EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS -
 CAÑETE - LIMA - PERÚ

MAPA DE RIESGO

UBICACIÓN

Departamento: Lima
 Provincia: Cañete
 Distrito: San Vicente de Cañete
 Centro poblado:

ELABORADO POR

Bach. Ing. Marco Chacabana G.
 Bach. Ing. Alexis Zenobio P.

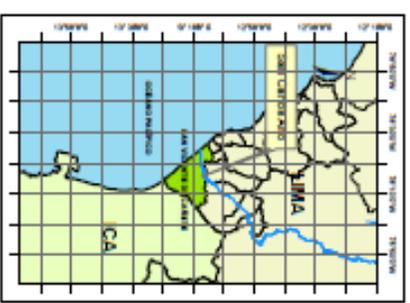
ASESOR

M. Sc. Ing. Rubén Morosuelo G.

MAPA

M 11

**ANEXO 19: GÉNESIS DEL FLUJO DE DETRITOS EN EL SECTOR SAN
CARLOS**



LEYENDA	
	Red de drenaje
	Punto de aforo
	Microcuenca San Carlos
SIMBOLOGIA	
	Area verde
	Colegio
	Vivienda
	Flujo de detritos
	Canal
DATUM WGS 1984 UTM ZONA 18 S	

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
TESIS: ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA DE DESCARGA DE LA QUEBRADA SAN CARLOS - CAÑETE - LIMA - PERU

GÉNESIS DEL FLUJO DE DETRITOS EN EL SECTOR SAN CARLO

UBICACIÓN	ELABORADO POR	MAPA
Departamento: Lima Provincia: Cañete Distrito: San Vicente de Cañete Centro poblado: Microcuenca y parroquia: La Cruz de San Carlos Alto	Diseño: Marco Chacabarro G. Diseño: María Zorobio P. Asesor: M.Sc. Ing. Stibán Magroño G.	
ESCALA	FECHA	
1:8,000	Julio del 2022	

ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD POR FLUJO DE DETRITOS EN LA ZONA POBLADA DE LA QUEBRADA SA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE
¿Cuál es el nivel de amenaza que sufren los pobladores del AA. HH San Carlos causado por el flujo de detritos?	Analizar la susceptibilidad por flujo de detritos en la zona de descarga de la quebrada San Carlos - Cañete - Lima - Perú.	El análisis de susceptibilidad permite identificar el nivel de amenaza por flujo de detritos percibido por los pobladores del AA.HH San Carlos.	Variable independiente (V.I) : Flujo de detritos Dimensiones 1. Geología 2. Geotecnia 3. Precipitaciones 4. Velocidades 5. Volumen
¿Cuáles son las formaciones geológicas y geotécnicas encontradas en el sector hidrológico de San Carlos?	Realizar una identificación, mapeo geológico y estudio de mecánica de suelos para el sector hidrológico de San Carlos.	El desarrollo de estudios de mecánica de suelos e investigaciones geológicas posibilita identificar las características geotécnicas y geológicas del AA.HH San Carlos.	Variable dependiente (V.D): Análisis de susceptibilidad Dimensiones 1. Peligro 2. Vulnerabilidad 3. Riesgo
¿Cuáles serán los caudales en distintos tiempos de retorno en el sector hidrológico de San Carlos?	Llevar a cabo el estudio hidrológico para diferentes tiempos de retorno en el sector hidrológico de San Carlos.	El desarrollo de un estudio hidrológico de máximas avenidas para distintos tiempos de retorno permite conocer los caudales respectivos para la quebrada San Carlos.	
¿Cuál será el comportamiento del flujo de detritos en el sector hidrológico de San Carlos?	Ejecutar el modelamiento numérico y posterior simulación de flujo de detritos para analizar su comportamiento.	El desarrollo del modelado numérico permitirá conocer la interacción del flujo de detritos en el sector hidrológico de la quebrada San Carlos.	
¿Cuáles serán los mapas de susceptibilidad ante flujo de detritos utilizando la metodología Saaty para la zona poblada del sector hidrológico de San Carlos?	Producir los mapas de riesgos usando la metodología Saaty propuesta por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED).	El desarrollo de los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo permitirá realizar un análisis de susceptibilidad ante flujo de detritos en el AA.HH San Carlos.	