

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“RIESGO CUANTITATIVO POR FLUJO DE DETRITOS DESENCADENADOS POR
PRECIPITACIONES PLUVIALES EN LA MICROCUENCA SAHUANAY, DISTRITO DE
TAMBURCO – ABANCAY – APURÍMAC, 2023”

Presentado por:

Wilmer Alberto Tuñoque Zela

Para optar el Título de Ingeniero Civil

Abancay, Perú

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“RIESGO CUANTITATIVO POR FLUJO DE DETRITOS DESENCADENADOS POR
PRECIPITACIONES PLUVIALES EN LA MICROCUENCA SAHUANAY,
DISTRITO DE TAMBURCO – ABANCAY – APURÍMAC, 2023”**

Presentado por **Wilmer Alberto Tuñoque Zela**, para optar el Título de:
INGENIERO CIVIL

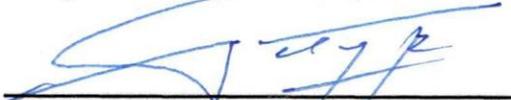
Sustentado y aprobado el 27 de diciembre del 2023, ante el jurado evaluador:

Presidente:



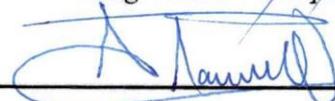
Ing. Darwin Duhamel Loayza Encalada

Primer Miembro:



Mag. James Velazque Rojas

Segundo Miembro:



Mag. Calixto Cañari Otero

Asesor:



PhD. Lucy Marisol Guanuchi Orellana

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac (UNAMBA) por brindarme experiencias a través de docentes y maestros, que me inculcaron en valores de ética y profesionalismo, por lo cual estaré eternamente agradecido a cada uno de ellos.

A la Minera MMG Las Bambas que a través del financiamiento para investigadores de la región de Apurímac en convenio con la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac a través del Programa “Generación de conocimiento desde la UNAMBA para Apurímac, me brindaron la confianza y apostaron por mi investigación como una de las tantas en beneficio y desarrollo de la sociedad peruana y apurimeña.

A las diferentes Instituciones del Estado peruano que por medio de estudios científicos brindan conocimientos y desarrollo al Perú; entre ellas agradezco al Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), que a través de la Ph.D. Sandra Villacorta me han brindado información y conocimiento en el desarrollo de la investigación, al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) por la data meteorológica, a la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA) por imágenes satelitales del satélite PeruSAT-1, así mismo, al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) por brindarme información del proyecto GLOP “Evaluación del riesgo por aluvión en la ciudad de Abancay, Distritos de Abancay y Tamburco, Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac, 2022” financiado por FONDECYT, a su voluntariado de profesionales jóvenes y amigos.

A mi asesora de tesis Ph.D, Ing. Lucy Marisol Guanuchi Orellana, por su paciencia, experiencia, profesionalismo, docencia y ética, permitieron encaminar el desarrollo de esta investigación.

Y a mi querida madre Ing. Rusby Victoria Zela Anamaría, por estar siempre presente en cada etapa de mi vida, por brindarme su apoyo y enseñarme todo lo que sé.

A mis amigos que considero mis maestros por enseñarme, apoyarme en el desarrollo de la investigación a través de su experiencias y conocimientos. También a A.A.E.

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad en esta vida para poder aprender de ello.

A mis padres, mi hermano y familiares, que me brindan su amor y su apoyo incondicional.

A mis docentes y maestros que me formaron profesionalmente en este largo camino.

Como así también a todos mis amigos y amigas, que me enseñaron el valor de la amistad, por lo que siempre estaré agradecido con cada uno de ellos. Gracias por todo.

Wilmer Alberto Tuñoque Zela

“Riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023”

Línea de investigación: Ingeniería de la construcción

Esta publicación está bajo una Licencia *Creative Commons*



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos	6
1.3 Justificación de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1 Objetivos de la investigación	8
2.2.1 Objetivo general	8
2.2.2 Objetivos específicos	8
2.2 Hipótesis de la investigación	8
2.2.3 Hipótesis general	8
2.2.4 Hipótesis específicas	8
2.3 Operacionalización de variables	10
CAPÍTULO III	12
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	12
3.1 Antecedentes	12
3.2 Marco teórico	17
3.2.1 Gestión de riesgos de desastres	17
3.2.1.1 Evaluación del riesgo de desastres	18
3.2.1.2 Metodologías para la evaluación del riesgo de desastres	19
3.2.2 Movimiento en masa	27
3.2.3 Flujo de detritos o escombros	30
3.2.3.1 Clasificación y características de los flujos de detritos	31
3.2.3.2 Características morfológicas	34
3.2.3.3 Mecanismos de ocurrencia en los flujos de detritos	34
3.2.3.3.1 Flujo de detritos debido a la erosión del lecho de quebradas	35
3.2.3.3.2 Flujo de detritos inducido por deslizamientos de tierra	35
3.2.3.3.3 Flujo de detritos e inundación inducida por el colapso de embalse	37
3.2.4 Susceptibilidad	37

3.2.4.1 Metodologías de análisis de susceptibilidad	38
3.2.4.2 Factores condicionantes	42
3.2.4.3 Precipitación como factor desencadenante de flujo de detritos	43
3.2.4.4 Mapa de susceptibilidad	43
3.2.5 Topografía y cartografía	44
3.2.6 Hidrología	44
3.2.6.1 Curvas intensidad – duración – frecuencia IDF	44
3.2.6.2 Número de curva (CN)	44
3.2.6.3 Tiempo de concentración	45
3.2.6.4 Hietograma de diseño	47
3.2.6.5 Caudal líquido	47
3.2.7 Geotecnia	52
3.2.7.1 Volumen de sólidos (tierra)	52
3.2.7.1.1 Estabilidad de taludes	56
3.2.7.1.2 Desplazamiento del deslizamiento (run out)	62
3.2.8 Hidráulica	65
3.2.8.1 Presa de barrera natural	66
3.2.8.1.1 Formación y estabilidad	68
3.2.8.1.2 Rotura de presas	72
3.2.8.2 Fluido no – newtoniano (reológico)	77
3.2.8.2.1 Ecuaciones de gobierno flujo no – newtoniano (HEC – RAS)	78
3.2.8.2.2 Clasificación de flujos no-newtonianos	81
3.2.8.2.3 Concentración volumétrica de sedimentos	81
3.2.8.2.4 Modelos reológicos	85
3.2.9 Peligro (H)	90
3.2.10 Vulnerabilidad (V)	91
3.2.10.1 Vulnerabilidad física	91
3.2.10.2 Vulnerabilidad social	92
3.2.11 Riesgo (R)	93
3.2.11.1 Riesgo económico	93
3.2.11.2 Riesgo social	93
3.3 Marco conceptual	94
CAPÍTULO IV	96
METODOLOGÍA	96
4.1 Tipo y nivel de investigación	96
4.2 Diseño de la investigación	96
4.3 Descripción ética de la investigación	97
4.4 Población y muestra	98

4.5	Procedimiento	99
4.6	Técnica e instrumentos	103
4.7	Análisis estadístico de la investigación	105
CAPÍTULO V		109
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		109
5.1	Análisis de resultados	109
5.1.1	Fase: Identificación del Riesgo (Risk Identification)	109
5.1.1.1	Categorización del fenómeno	111
5.1.1.2	Análisis de Susceptibilidad	112
5.1.1.3	Topografía y cartografía	116
5.1.1.3.1	Modelo digital de elevación	118
5.1.2	Fase: Análisis del Riesgo (Risk Analysis)	119
5.1.2.1	Modelamiento hidrológico	119
5.1.2.2	Modelamiento geotécnico	143
5.1.2.2.1	Estimación del volumen de tierra (deslizamiento)	145
5.1.2.3	Modelamiento hidráulico	153
5.1.2.3.1	Presa de deslizamiento de tierra (dam landslide)	155
5.1.2.3.2	Rotura de la presa de deslizamiento	157
5.1.2.3.3	Modelamiento del flujo no – Newtoniano (flujo de detritos)	159
5.1.2.4	Análisis del Peligro	168
5.1.2.4.1	Exposición al peligro	170
5.1.2.5	Análisis de la Vulnerabilidad	171
5.1.2.5.1	Vulnerabilidad física	171
5.1.2.5.2	Catastro urbano	177
5.1.2.5.3	Costo unitario de viviendas	178
5.1.2.6	Análisis del Riesgo	180
5.1.2.6.1	Riesgo social	180
5.1.2.6.2	Riesgo económico	180
5.1.2.6.3	Curva de riesgo	186
5.1.3	Fase: Valoración del Riesgo (Risk Evaluation)	187
5.2	Contrastación de hipótesis	188
5.3	Discusión	194
CAPÍTULO VI		197
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		197
6.1	Conclusiones	197
6.2	Recomendaciones	199
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		201
ANEXOS		214

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Operacionalización de variables	10
Tabla 2 — Ventajas y desventajas de los métodos para el análisis de riesgos	25
Tabla 3 — Tipos de evaluación de riesgos	27
Tabla 4 — Clasificación de los procesos de remoción o movimientos en masa	29
Tabla 5 — Comparación de la terminología de caracterización de flujo de detritos	32
Tabla 6 — Técnicas de análisis en relación de escalas por movimientos de masas	40
Tabla 7 — Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración	45
Tabla 8 — Métodos para caracterizar superficies de falla y volúmenes	54
Tabla 9 — Estimación del volumen del deslizamiento promedio, máximo y mínimo	62
Tabla 10 — Estimación del desplazamiento del deslizamiento de tierra (tipología)	62
Tabla 11 — Estimación del desplazamiento del deslizamiento de tierra (causa)	63
Tabla 12 — Comparación de diferentes tipos de presas de barrera natural	67
Tabla 13 — Parámetros geométricos de una presa de deslizamiento y cuenca	69
Tabla 14 — Índices de evaluación probabilística de bloqueo y generación de presa	69
Tabla 15 — Índices elaborados para categorizar represas estables e inestables	70
Tabla 16 — Etapas en la evolución de río interrumpido por deslizamientos	71
Tabla 17 — Ecuaciones empíricas para estimar el caudal pico de descarga	74
Tabla 18 — Parámetros de ruptura de presas por deslizamiento de tierra	75
Tabla 19 — Clasificaciones y modelos de flujos no newtonianos	81
Tabla 20 — Clasificación en función de la concentración volumétrica	84
Tabla 21 — Taxonomía de flujos no-Newtoniano y modelos reológicos	87
Tabla 22 — Propiedades de las matrices de flujos de detritos (sólo limo y arcilla)	89
Tabla 23 — Esfuerzo de cedencia y viscosidad en función Cv	89
Tabla 24 — Intensidad para los niveles de peligros (3 niveles)	90
Tabla 25 — Intensidad para los niveles de peligros (4 niveles)	91
Tabla 26 — Función de vulnerabilidad para cada tipo de estructura de edificación	92
Tabla 27 — Interpretaciones del Alfa de Cronbach	105
Tabla 28 — Nivel y codificación Pfafstetter de la ubicación hidrográfica	110
Tabla 29 — Reporte de propiedades de la cámara del vuelo en DRON	116
Tabla 30 — Coeficientes de calibración y matriz de correlación	117
Tabla 31 — Resultados de la prueba de bondad de ajuste diaria y mensual	122
Tabla 32 — Valores de la prueba de coeficiente de determinación (R^2)	123
Tabla 33 — Valores de la prueba de Nash – Sutcliffe (NSE)	123

Tabla 34 — Grado de aceptabilidad de la bondad de ajuste	123
Tabla 35 — Dimensiones de la microcuenca Sahuanay	128
Tabla 36 — Parámetros de forma de la microcuenca Sahuanay	129
Tabla 37 — Parámetros relativos al relieve de la microcuenca Sahuanay	129
Tabla 38 — Clasificación de la quebrada Sahuanay	131
Tabla 39 — Tiempo de concentración en las subcuencas aportantes	132
Tabla 40 — Tiempo de retardo de las subcuencas aportantes	132
Tabla 41 — Enrutamientos de las subcuencas aportantes	133
Tabla 42 — Números de curva CN (III) asociados al tipo de uso de suelo	134
Tabla 43 — Número de curva de las subcuencas	134
Tabla 44 — Fuentes o manantes de agua de la microcuenca Sahuanay	134
Tabla 45 — Ubicación de estaciones virtuales y su respectiva asociación	135
Tabla 46 — Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria	136
Tabla 47 — Prueba de Kolmogorov - Smirnov de las estaciones virtuales	137
Tabla 48 — Precipitación máxima en 24h por periodos de retorno	137
Tabla 49 — Intensidades máximas para cada estación virtual	139
Tabla 50 — Hietograma de diseño 24h para distintos periodos de retorno de E-1	140
Tabla 51 — Hietograma de diseño 24h para distintos periodos de retorno de E-2	140
Tabla 52 — Hietograma de diseño 24h para distintos periodos de retorno de E-3	141
Tabla 53 — Caudal pico de descarga y volumen	143
Tabla 54 — Valores de granulometría y clasificación ASTM D422 (Chuyllurpata)	145
Tabla 55 — Valores geotécnicos de corte directo del cerro Chuyllurpata	146
Tabla 56 — Propiedades de los materiales de ingreso del modelo Slide	147
Tabla 57 — Valores obtenidos para estabilidad de taludes (Chuyllurpata)	147
Tabla 58 — Medidas de la superficie de falla del cerro Chuyllurpata	148
Tabla 59 — Desplazamiento de tierra por deslizamiento según su tipo	149
Tabla 60 — Volumen de tierra total generado por deslizamiento según su tipo	149
Tabla 61 — Volumen de tierra total generado por deslizamiento según su tipo	150
Tabla 62 — Volumen de tierra total generado por deslizamiento según su tipo	150
Tabla 63 — Parámetros de ingreso para el modelo RAMMS Avalanche	150
Tabla 64 — Parámetros geomorfológicos de la presa y del deslizamiento	155
Tabla 65 — Índice de formación de presa por deslizamiento	156
Tabla 66 — Índice de formación de presa por deslizamiento	156
Tabla 67 — Parámetros de falla de la presa (deslizamiento de tierra)	157
Tabla 68 — Parámetros de falla de la presa (terraplén)	157

Tabla 69 — Caudales pico por rotura de presa de deslizamiento de tierra	158
Tabla 70 — Caudal pico de descarga y volumen (rotura de presa)	158
Tabla 71 — Niveles de peligro por flujo de detritos	168
Tabla 72 — Exposición al peligro de viviendas según el tipo de estructura	170
Tabla 73 — Exposición al peligro de habitantes según el tipo de estructura	171
Tabla 74 — Vulnerabilidad de las viviendas en función de la presión de impacto	174
Tabla 75 — Cantidad de viviendas según el nivel de vulnerabilidad	174
Tabla 76 — Cantidad de viviendas por tipo material de construcción	178
Tabla 77 — Cantidad de viviendas por número de pisos	178
Tabla 78 — Cuadro de valores unitarios oficiales de edificación para la Sierra	179
Tabla 79 — Estimación de los costos totales de la vivienda construida	180
Tabla 80 — Cantidad de viviendas del riesgo según el costo	180
Tabla 81 — Cantidad de viviendas según el tipo de intervención	181
Tabla 82 — Costo de la intervención total por tipo de estructura	185
Tabla 83 — Costo de la intervención total por tipo de material de construcción	185
Tabla 84 — Estimación del número de fallecidos (riesgo individual)	187
Tabla 85 — Prueba de normalidad	188
Tabla 86 — Análisis Rho de Spearman en la identificación del riesgo	189
Tabla 87 — Análisis Rho de Spearman en el análisis del riesgo	191
Tabla 88 — Análisis Rho de Spearman en la valoración del riesgo	193
Tabla 89 — Matriz de consistencia	215
Tabla 90 — Parámetros de tensión de fluencia	221
Tabla 91 — Coeficientes para el multiplicador exponencial de viscosidad	221
Tabla 92 — Precipitaciones medias anuales de las estaciones virtuales	230
Tabla 93 — Hietogramas de precipitación de diseño para $Tr=50$ años	231
Tabla 94 — Hietogramas de precipitación de diseño para $Tr=100$ años	234
Tabla 95 — Hietogramas de precipitación de diseño para $Tr=500$ años	237
Tabla 96 — Afectación de viviendas por flujo de detritos	242
Tabla 97 — Validación de instrumentos	271

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Estructura del plan básico de gestión de desastres de Japón	18
Figura 2 — Estructura de la GRD en el Perú	18
Figura 3 — Proceso de la gestión del riesgo (ISO 31000:2018)	19
Figura 4 — Marco básico para la evaluación de riesgos	20
Figura 5 — Evaluación probabilística de riesgos con escenarios de peligro	21
Figura 6 — Método determinista cuantitativo que utiliza escenarios de peligro	21
Figura 7 — Representación esquemática de un análisis de árbol de eventos	22
Figura 8 — Enfoque de matriz de riesgo por combinación	23
Figura 9 — Representación simple de los elementos en riesgo y el área afectada	23
Figura 10 — Enfoque de riesgo cualitativo con indicadores	24
Figura 11 — Tipos de movimiento en masa	30
Figura 12 — Flujo de detritos, con pendiente y población	31
Figura 13 — Perfil de un frente típico para un flujo de detritos	31
Figura 14 — Clasificación de los depósitos de flujo de detritos bajo agua	33
Figura 15 — Representación idealizada de un brazo de flujo de detritos	34
Figura 16 — Proceso de transformación del deslizamiento a un flujo de detritos	36
Figura 17 — Diagrama de la evolución de la cadena de peligro	37
Figura 18 — Métodos de evaluación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra	39
Figura 19 — Tiempos característicos en un hidrograma típico	45
Figura 20 — Hidrograma unitario triangular del SCS	48
Figura 21 — Ventana del HEC - HMS de un modelo y su hidrograma	49
Figura 22 — Representación típica de la escorrentía de la cuenca	50
Figura 23 — Diversas fases del trabajo del HEC – HMS	51
Figura 24 — Relación entre el área de drenaje y coeficiente de sedimentos	52
Figura 25 — Partes de un deslizamiento o falla de talud	56
Figura 26 — Modos de falla de un talud finito	58
Figura 27 — Etapas de falla de deslizamientos de tierra	59
Figura 28 — Esquema de la superficie de falla elipsoidal	59
Figura 29 — Relación entre ancho y largo de deslizamientos	60
Figura 30 — Relación entre tensión normal y cortante	65
Figura 31 — Parámetros geométricos de una presa de deslizamiento y cuenca	68
Figura 32 — Escalas de tiempo del proceso de presas y lagos de deslizamientos	71
Figura 33 — Modos de falla de presas	73

Figura 34 — Parámetros geométricos de una presa de deslizamiento de tierra	74
Figura 35 — Relación típica entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación	77
Figura 36 — Clasificación de los procesos de flujo y deslizamientos	83
Figura 37 — Clasificación, procesos, modelo conceptual y modelo reológico	86
Figura 38 — Parámetros definidos de la ecuación cuadrática de O'Brien	88
Figura 39 — Diferentes tipos de enfoque de vulnerabilidad física	91
Figura 40 — Curva de vulnerabilidad del edificio por flujo de detritos	92
Figura 41 — Valoración del riesgo social de deslizamientos de tierra (criterio FN)	93
Figura 42 — Unidades hidrográficas de la ciudad de Abancay	99
Figura 43 — Propuesta del “proceso de gestión de riesgos de desastres”	100
Figura 44 — Flujograma del proceso	103
Figura 45 — Observación in situ de la microcuenca Sahuanay	104
Figura 46 — Mapa de ubicación de la microcuenca Sahuanay	110
Figura 47 — Predicción morfométrica del tipo de flujo	111
Figura 48 — Área de entrenamiento (2 cuencas)	112
Figura 49 — Factores influyentes en el flujo de detritos y entrenamiento	114
Figura 50 — Mapa de susceptibilidad por flujo de detritos (Sahuanay)	115
Figura 51 — Capturas de imágenes de vuelo RPAS	116
Figura 52 — Estación diferencial en diferentes puntos del plan de vuelo	117
Figura 53 — Nube de puntos de la fotogrametría	118
Figura 54 — Modelo Digital de Elevación y sus respectivas curvas de nivel	119
Figura 55 — Registro histórico de precipitaciones (EMA Granja San Antonio)	119
Figura 56 — Registro histórico de precipitaciones (Data Grillada PISCO)	120
Figura 57 — Data grillada PISCO de precipitación a nivel nacional	120
Figura 58 — Extracción de datos de precipitación de la data grillada PISCO	121
Figura 59 — Pruebas de bondad de ajuste entre observada y simulada	122
Figura 60 — Pruebas de bondad de ajuste R^2 (diario)	124
Figura 61 — Pruebas de bondad de ajuste R^2 (mensual)	124
Figura 62 — Data grillada PISCO en 3 zonas	125
Figura 63 — Modelo hidrológico de la microcuenca Sahuanay	125
Figura 64 — Precipitación anual acumulada	127
Figura 65 — Precipitación media anual a largo plazo, TMPA (1998 – 2013)	128
Figura 66 — Curva hipsométrica de la microcuenca Sahuanay	130
Figura 67 — Curva hipsométrica y su fase de madurez	130
Figura 68 — Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes	131

Figura 69 — Mapa de número de curva (CN) para la microcuenca Sahuanay	133
Figura 70 — Modelo hidrogeológico conceptual de flujo de agua subterránea	135
Figura 71 — Precipitación máxima anual de las 3 estaciones virtuales	136
Figura 72 — Curva IDF (ajustada) y su ecuación respectiva	139
Figura 73 — Hietograma de diseño de una estación virtual	141
Figura 74 — Hidrograma de salida (caudal) en la microcuenca Sahuanay	142
Figura 75 — Hidrograma de salida para distintos tiempos de retorno	143
Figura 76 — Curva granulométrica del cerro Chuyllurpata (corona)	144
Figura 77 — Curva granulométrica del cerro Chuyllurpata (pie de talud)	144
Figura 78 — Corona del deslizamiento configuración dipolo – dipolo	145
Figura 79 — Estabilidad de talud del cerro Chuyllurpata	146
Figura 80 — Parámetros geométricos de la superficie de falla (Chuyllurpata)	148
Figura 81 — Volumen de tierra por deslizamiento, en el cerro Chuyllurpata	149
Figura 82 — Parámetros MuXi del cerro Chuyllurpata y Sahuanay	151
Figura 83 — Simulación del deslizamiento en el cerro Chuyllurpata	152
Figura 84 — Simulación del deslizamiento y presa de tierra (Chuyllurpata)	153
Figura 85 — Coeficiente de rugosidad de Manning de Sahuanay	154
Figura 86 — Curva de superficie y nivel por represamiento	157
Figura 87 — Hidrograma de salida por rotura de presa de deslizamiento de tierra	159
Figura 88 — Calculadora de conversión de concentración del software Hec-Ras	160
Figura 89 — Flujo de detritos ocurrido el 18 de marzo del 2012	160
Figura 90 — Malla estructurada y no estructurada en HEC-RAS del modelo	161
Figura 91 — Condiciones de perímetro del modelo para la simulación numérica	162
Figura 92 — Tirantes máximos de flujo (m) (Sahuanay)	164
Figura 93 — Velocidades máximas de flujo (m/s) (Sahuanay)	165
Figura 94 — Presiones máximas de impacto (KPa) (Sahuanay)	167
Figura 95 — Mapa de peligro por flujo de detritos (Sahuanay)	169
Figura 96 — Exposición al peligro de viviendas según el tipo de estructura	170
Figura 97 — Exposición al peligro de habitantes según el tipo de estructura	171
Figura 98 — Tipos de construcción, RC (izquierda), No-RC (derecha)	172
Figura 99 — Vulnerabilidad física de viviendas por tirante de flujo (d)	172
Figura 100 — Vulnerabilidad física de viviendas por velocidad de flujo (v)	173
Figura 101 — Vulnerabilidad física de viviendas por presión de impacto (p)	173
Figura 102 — Cantidad de viviendas según el nivel de vulnerabilidad	175
Figura 103 — Mapa de vulnerabilidad física por flujo de detritos (Sahuanay)	176

Figura 104 — Catastro urbano y la mancha de inundación	177
Figura 105 — Cantidad de viviendas del riesgo según el costo	181
Figura 106 — Cantidad de viviendas según el tipo de intervención	182
Figura 107 — Mapa de riesgo del costo de intervención (Sahuanay)	183
Figura 108 — Mapa de riesgo del tipo de intervención (Sahuanay)	184
Figura 109 — Costo de la intervención total por tipo de material de construcción	185
Figura 110 — Curva de riesgo económico por flujo de detritos (Sahuanay)	186
Figura 111 — Diagrama FN por periodos de retorno (Sahuanay)	187
Figura 112 — Diagrama de procesos de movimientos en masa	217
Figura 113 — Taxonomía de los flujos geológicos	218
Figura 114 — Varias taxonomías de flujos geofísicos	218
Figura 115 — Terminología y uso de la nomenclatura de tipos de flujo	219
Figura 116 — Esfuerzo de cedencia	220
Figura 117 — Viscosidad dinámica	220
Figura 118 — Mapa litológico de la microcuenca Sahuanay	222
Figura 119 — Análisis granulométrico del cerro Chuyllurpata	223
Figura 120 — Límite líquido y plástico	224
Figura 121 — Corte directo de Antabamba Alta (Sahuanay)	225
Figura 122 — Flujo de detritos ocurrido el año 2012	228
Figura 123 — Afectación por flujos de detritos en la ciudad de Abancay	229
Figura 124 — Codificación de la RNA (Python) para el análisis de susceptibilidad	241
Figura 125 — Validación de instrumentos Dr. Sandra Villacorta	262
Figura 126 — Validación de instrumentos Dr. Santiago Montenegro	264
Figura 127 — Validación de instrumentos Dr. Juan Montero	266
Figura 128 — Validación de instrumentos Ph.D. Abbon Vásquez	268
Figura 129 — Validación de instrumentos Mg. Washington Palomino	270
Figura 130 — Validación de la metodología de la tesis	272
Figura 131 — Perfil de la experta Dr. Sandra Paula Villacorta Chambi	273
Figura 132 — Solicitud de información al INAIGEM	274
Figura 133 — Solicitud de información a CONIDA	275
Figura 134 — Solicitud de información al SENAMHI	276
Figura 135 — Solicitud de información al INGEMMET	276
Figura 136 — Certificado de participación el proyecto GLOP	277
Figura 137 — Vista panorámica del Nevado Ampay	278
Figura 138 — Laguna Angascocha del Santuario Nacional del Ampay	278

Figura 139 — Medición de tirantes, ancho y sección de manantiales	279
Figura 140 — Pendientes altas en el cerro Chuyllurpata	279
Figura 141 — Estado actual de muros de contención de la quebrada Sahuanay	280
Figura 142 — Estado actual de muros de contención y almacenamiento	280
Figura 143 — Empadronamiento de viviendas y recopilación de información	281
Figura 144 — Ensayo de mecánica de suelos del cerro Chuyllurpata	281

INTRODUCCIÓN

Los desastres son originados por fenómenos naturales o de origen humano, están al interactuar con las actividades humanas o sus medios, generan el desastre propiamente dicho, se refleja con la exposición de viviendas que están asentadas en lugares con niveles de peligrosidad alta o muy alta, provocando múltiples daños a la vida y pérdidas económicas. Según la Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR), en su reporte “The Human Cost of Weather Related Disasters” del periodo 1995 – 2015, las mayores pérdidas y daños en el mundo está asociada a los fenómenos relacionados al clima, cobrando un saldo de 606 000 vidas y más de 4 billones de afectados, donde cada año 205 millones de personas son afectadas por estos desastres (THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION Y CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS 2015).

La dinamicidad y recurrencia de desastres en el territorio peruano es debido a su posición dentro del Cinturón de Fuego, una de ellas son los fenómenos de geodinámica externa, en especial los movimientos de masas, cuya característica es el flujo rápido. Eventos de gran destrucción suscitados en el Perú, condicionados por la presencia de zonas montañosas, diversidad litológica, grados de alteración y fracturamiento, asociados al clima y a la tectónica, casos registrados como Ranrahirca – Ancash (1962) 4,000 fallecidos, Yungay – Ancash (1970) 18,000 fallecidos, Mayunmarca – Huancavelica (1974) 600 fallecidos, Aobamba – Cusco (1998) 3 fallecidos, Chosica – Lima (2017), entre otros (VILCHEZ 2013).

Según la información estadística de emergencias y daños, periodo 2003 al 2019 del Compendio Estadístico del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), se ha registrado en el departamento de Apurímac 9,163 emergencias, entre ellos 64 derrumbes, 168 deslizamientos, 13 erosiones y 66 HUAYCOS (INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL 2020), siendo así el departamento con mayor número de personas afectadas y emergencias ocurridas.

En la cuenca Mariño tiene presencia de pendientes pronunciadas y profundos valles ubicada entre los distritos de Tamburco y Abancay, de la provincia de Abancay en el departamento de Apurímac, han ocurrido desastres por movimientos de masas, aluvi3n en la microcuenca Sahuanay ocurrido en 1951, avalancha de Ccocha Pumararra en 1997, avalancha del cerro Chuyllurpata en 2012 (microcuenca Sahuanay) entre otros (VILLACORTA et al. 2019).

De acuerdo a lo mencionado es necesario determinar la afectación del fenómeno natural que pone en riesgo la vida y salud de las personas que se encuentran en la microcuenca Sahuanay, así también la afectación a sus medios de vida, en especial a las viviendas.

El objetivo de la investigación fue realizar la afectación del riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, en la cual se determinará la identificación del riesgo, análisis del riesgo y valoración del riesgo por flujo de detritos.

Bajo este contexto se aplicó los lineamientos de la ISO 31000:2018 “Gestión del Riesgo”, la metodología cuantitativa para el riesgo de desastres (VAN WESTEN, KUMAR HAZARIKA y NASHRRULLAH 2020). Mientras que para la identificación y caracterización del flujo de detritos las teorías de (VANDINE 1984; TAKAHASHI 2014; MULDER y ALEXANDER 2001; IVERSON 2005), estas se manifiestan como la afectación física del flujo de detritos como un modelo reológico no newtoniano (O’BRIEN 2009).

El capítulo I contiene el planteamiento del problema de la investigación y en este se explican los motivos por los cuales se realizó el estudio, es decir, se presentó la fundamentación, y los objetivos del mismo. El capítulo II contiene los objetivos e hipótesis tanto generales como específicas. En el capítulo III el marco teórico referencial que se detalló los antecedentes, marco teórico y marco conceptual en la presente investigación. El capítulo IV contiene la metodología de la investigación, la población y la muestra. Asimismo, en este apartado se contemplan el tipo y nivel de investigación, diseño, procedimientos técnicos e instrumentos y análisis estadístico de la investigación. El capítulo V contemplan los resultados y discusión de la investigación en función de los objetivos y las hipótesis planteadas. Y, por último, en el capítulo VI se presentó las conclusiones, recomendaciones de la investigación y bibliografías.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el riesgo por flujo de detritos de origen natural en la microcuenca Sahuanay, por medio del método cuantitativo para determinar la afectación del fenómeno en los elementos y medios de vida dentro de la microcuenca, identificándose el tipo de flujo, analizando y valorando el riesgo, de manera secuencial. Empadronándose a 1,360 viviendas y 3,401 personas expuestas al peligro en la huella de inundación por flujo de detritos, identificándose el tipo de flujo y puntos críticos susceptibles a través de la inteligencia artificial, así mismo, la determinación del peligro, vulnerabilidad y riesgo, fue determinado por el modelamiento numérico – físico, umbrales físicos, curvas de daño y la estimación de pérdidas en vidas y económicas, con escenarios de periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, obtenido una valoración del riesgo como inaceptable. Los resultados por medio de indicadores, fichas, tablas, estimaciones, dieron como tipología predominante al flujo de detritos, pérdidas de vidas, 708, 741 y 748, así también, pérdidas económicas, S/65,061,251.7, S/68,116,296.4 y S/73,275,803.9 para los escenarios de 50, 100 y 500 años, respectivamente. Se concluye que el índice de Melton determina el tipo de flujo, la fenomenología es compleja, avalancha, presa de deslizamiento y flujo, al ser de valoración inaceptable se deben aplicar medidas estructurales y no estructurales para mitigar o reducir el riesgo.

Palabras claves: Flujo de detritos, susceptibilidad, peligro, vulnerabilidad física, riesgo.

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the risk of natural debris flow in the Sahuayanay micro-basin, using a quantitative method to determine the impact of the phenomenon on the elements and livelihoods within the micro-basin, identifying the type of flow, analyzing and assessing the risk, sequentially. A total of 1,360 homes and 3,401 people exposed to danger in the flood footprint due to debris flow were registered, identifying the type of flow and critical points susceptible through artificial intelligence. Likewise, the determination of danger, vulnerability, and risk was determined by numerical-physical modeling, physical thresholds, damage curves, and the estimation of losses in lives and economics, with scenarios of return periods of 50, 100, and 500 years, obtaining a risk assessment as unacceptable. The results through indicators, cards, tables, estimates, gave as the predominant typology the debris flow, loss of lives, 708, 741, and 748, as well as, economic losses, S/65,061,251.7, S/68,116,296.4, and S/73,275,803.9 for the scenarios of 50, 100, and 500 years, respectively. It is concluded that the Melton index determines the type of flow, the phenomenology is complex, avalanche, landslide dam, and flow, being of unacceptable valuation, structural and non-structural measures must be applied to mitigate or reduce the risk.

Keywords: Debris flow, susceptibility, hazard, physical vulnerability, risk.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Los fenómenos de movimientos en masa son desencadenados principalmente por precipitaciones, generalmente en los meses de diciembre a marzo (temporada húmeda), provocan daños en la salud con pérdidas económicas y humanas, viviendas destruidas, medios de vida (agrícola, ganadero, acuícola, entre otros relacionados), transporte (carreteras y puentes), servicios básicos (agua, desagüe y electricidad).

La clasificación de desastres de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, cataloga de familia hidrológica a los eventos de deslizamientos asociados a peligros como avalanchas, flujos de lodo y detritos, caída de rocas.

(GFLD, 2018) registró a nivel mundial un total de 5490 deslizamientos en los periodos de 2007 al 2017, con un saldo de 64,218 fallecidos. Concentrado en Asia (75%), Sudamérica (8%) con daños en la región de la Cordillera de los Andes y Brasil, Centro, Caribe y Norteamérica (8%), África (5%) y Europa (3%).

(INDECI, 2023) a través de la plataforma SINPAD periodo 2003 al 2023, registró un total de 6,664 deslizamientos, 3,187 huaycos, 2,969 derrumbes y 587 similares; a nivel departamental los mayores registros fueron, Lima 1,292, Cajamarca 1,047, Huancavelica 936. Respecto a los daños de la vida y salud, 91,161 personas damnificadas, 674,059 personas afectadas y 416 fallecidas.

Así mismo INDECI registró para Apurímac, 478 incidencias, a nivel de daños 78,733 personas afectadas, 3,116 damnificados, 34 fallecidos, 962 viviendas afectadas y 587 viviendas destruidas. Siendo la segunda región con mayor número de daños después de Huánuco. A nivel provincial, Abancay es la de mayor incidencia con 153 registros, 53050 personas afectadas, 260 damnificadas, 22 fallecidas, 219 viviendas afectadas y 42 viviendas destruidas.

La determinación del riesgo por peligros de deslizamientos, flujos de detritos o movimientos complejos, son determinados a través del método multicriterio establecidos en el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales elaborado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), la cual utiliza un análisis semicuantitativo, donde un evaluador (profesional de distintas especialidades) realiza una evaluación en función a su experiencia y punto de vista. Por lo tanto, está sujeto a la subjetividad del evaluador, provocando discrepancia con otros evaluadores en el proceso de valorar los pesos para cada parámetro, es por ello la intención de establecer una metodología con un análisis cuantitativo y de mayor objetividad, aplicando nuevas tecnologías, que mejoran la precisión y análisis.

Actualmente en el Perú no existe una metodología estandarizada para la evaluación de riesgos por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones (similar a las normas de construcción como E030), solamente existe el Manual para la Evaluación originados por Fenómenos Naturales segunda versión, utilizado por los evaluadores acreditados por CENEPRED, generando la Evaluación del Riesgo (EVAR), documento técnico en Gestión de Riesgos de Desastres, que son tomados con suma importancia integrados a planes de gobiernos locales, regionales y nacionales.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la afectación del Riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la Identificación del Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es el Análisis del Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es la Valoración del Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023?

1.3 Justificación de la investigación

Los fenómenos naturales son una de las mayores amenazas que afronta la humanidad a lo largo de la historia, provocando daños a la vida, salud, económicos y otros (desastre), entre ellas se encuentra los flujos de detritos (huaycos), un fenómeno que tanto a nivel mundial como nacional se han suscitado principalmente por precipitaciones pluviales intensas, algunos de ellos asociados al Fenómeno el Niño, estas necesitan ser tratadas con mayor detalle y precisión.

Fue importante estimar el riesgo de manera precisa y detallada, permitió desarrollar estrategias óptimas para reducir el riesgo. En otras palabras, mejoró las herramientas de la gestión del riesgo de desastres y así articuladas con los gobiernos nacionales, regionales y locales, con la finalidad de reducir el riesgo, gestionar el territorio, para reducir la pérdida de vidas humanas y económicas. Además, la Directiva N° 012-2017-OSCE/CD hace de su conocimiento obligatorio para las entidades que se encuentran bajo el ámbito de aplicación de la normativa de contrataciones del Estado donde se implementa la gestión de riesgos en la planificación de ejecución de obras (ORGANISMO SUPERVISOR DE LAS CONTRATACIONES DEL ESTADO 2017).

La investigación mostró a detalle todos los aspectos y especialidades necesarias para determinar y conocer el riesgo por flujo de detritos dentro del marco de cuencas hidrográficas, las cuales son, la topografía, hidrología, geotecnia, hidráulica, catastro, análisis del riesgo.

Estos procesos descritos para la evaluación del riesgo de desastres por flujo de detritos, son similares a algunas normativas y lineamientos nacionales existentes, vulnerabilidad sísmica de la norma técnica E.030 “Diseño sismorresistente” del MVCS, delimitación y mantenimiento de fajas marginales (AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA 2016), entre otras.

La originalidad de la presente investigación es única, esto se ha plasmado en los repositorios tanto nacionales como internacionales, que dan detalle de métodos cualitativos o semicuantitativos, generando poca información y detalle del riesgo ante flujo de detritos. Se ha elegido la microcuenca Sahuanay debido a su recurrencia de antecedentes por flujos de detritos y su complejidad de la microcuenca, sumado con la gran población asentada en la cuenca baja (ciudad).

En la microcuenca Sahuanay (ciudad de Abancay) actualmente hay una gran cantidad de población e infraestructura expuesta a sufrir pérdidas de vidas y económicas, ante un posible desastre por flujo de detritos, esto puede reducirse en medida se identifique, analice y valore el riesgo por flujo de detritos, permitiendo así estrategias adecuadas en la reducción del riesgo, en otras palabras, salvar vidas.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.2.1 Objetivo general

Determinar la afectación del riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.

2.2.2 Objetivos específicos

- Identificar el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.
- Analizar el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.
- Valorar el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.3 Hipótesis general

Riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales afecta a la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.

2.2.4 Hipótesis específicas

- Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es identificado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.

- Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es analizado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.
- Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es valorado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Escala de medición
Riesgo cuantitativo	<p>Analiza el riesgo cuantitativamente utilizando un número limitado de escenarios de peligro que han sido modelados para diferente frecuencia, Los valores de intensidad se utilizan en combinación con el tipo de elemento en riesgo o expuesto para encontrar la vulnerabilidad correspondiente (VAN WESTEN, KUMAR HAZARIKA Y NASHRRULLAH 2020).</p>	<p>La variable se determinará por un cálculo y evaluación consecutiva de las tres fases: identificación del riesgo, análisis del riesgo y valoración del riesgo, enfocada al flujo de detritos desencadenado por precipitaciones en distintos escenarios (periodos de retorno) de la microcuenca Sahuanay.</p>	Identificación del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> • Topografía • Geología • Litología • Geomorfología • Hidrogeología • Aspectos generales • Susceptibilidad 	Formatos	<ul style="list-style-type: none"> • Pixel/m • Nominal • Muy Alto, Alto, Medio y Bajo
			Análisis del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> • Peligro • Vulnerabilidad • Costo • Riesgo 	Formatos	<ul style="list-style-type: none"> • Muy Alto, Alto, Medio y Bajo • Completo, Extensivo, Moderada, Leve • Nuevo Soles (S/)
			Valoración del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riesgo tolerable ▪ Riesgo aceptable 	Formatos	<ul style="list-style-type: none"> • Número de personas fallecidas • Probabilidad anual de excedencia
Flujo de detritos	Es un flujo torrencial de la combinación con agua,	La variable se determinará a través del	Precipitación pluvial	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intensidad de precipitación 	Formatos	<ul style="list-style-type: none"> • mm/h • m³/s

<p>lodo y escombros que repentinamente avanza con una vanguardia enorme, empujando y rodando cantos rodados, presentando diferentes mecanismos de ocurrencia: debido por erosión del lecho de quebradas, inducidos por deslizamientos de tierra y flujo de detritos e inundación inducido por colapso de presa (TAKAHASHI 2014).</p>	<p>cálculo (modelamiento) de la ocurrencia, efecto y taxonomía del flujo de detritos desencadenado por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay.</p>		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caudal ▪ Periodo de retorno 		<ul style="list-style-type: none"> • años
		Taxonomía del fenómeno	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de flujo de detritos 	Formatos	<ul style="list-style-type: none"> • C_v • D_{50} • %
		Iniciación del fenómeno	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de mecanismo de iniciación 	Formatos	<ul style="list-style-type: none"> • Nominal • Adimensional
		Intensidad o magnitud	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tirante o calado ▪ Velocidad ▪ Presión de impacto 	Formatos	<ul style="list-style-type: none"> • m • m/s^2 • Pa

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

Internacionales

- a) CERQUERA (2022) en su planteamiento de tesis de maestría “Determinación de la amenaza por flujo de detritos en la cuenca de la quebrada Estaquecá”, con su objetivo principal de determinar la amenaza por flujo de detritos mediante herramientas de modelación cualitativas en la cuenca Estaquecá, siendo esta su población y muestra de estudio. Aplicando la metodología cualitativa para la generación de susceptibilidad y amenaza, siendo de tipo descriptiva. Aplicando teorías de análisis heurístico, estadístico, bivariado. Los resultados mostraron la generación del mapa de amenazas por flujos de detritos, visualizando el cono de deyección en la zona urbana, así mismo, los elementos expuestos frente al peligro. Concluyó que la quebrada Estaquecá tiene un área de 12 Km² y una longitud de cauce de aproximadamente 6.18 Km con una pendiente del 25.9%, lo que representa una pendiente alta, dando capacidad al flujo para erosionar y transportar sedimentos; adicionalmente, por ser un cauce típico de alta montaña, presenta una sección tipo v, encañonado y conformado por taludes con altas pendientes, los cuales presentan un alto estado de erosión, sólo en algunas zonas se evidencian taludes recubiertos con baja vegetación, el análisis del uso de suelo se evidenció que la cuenca tiene la mayor parte del área con un uso de suelo de protección y de importancia ambiental, con zonas de conservación de bosques naturales.
- b) ACERO (2019) en su planteamiento de tesis “Predicción de flujos de detritos detonados por lluvias extremas mediante exportación de modelos estocásticos: aplicación en la cuenca de la Quebrada Grande (Labranzagrande – Boyacá, Colombia)” cuyo objetivo fue validar las metodologías para calcular la amenaza por movimientos en masa y avenidas torrenciales en Colombia, desarrollando un modelo estocástico para el estudio de la susceptibilidad y amenaza, determinación de medidas generales para la reducción del riesgo, como población

y muestra fue la cuenca de la Quebrada Grande, Colombia. Aplicó el método estocástico de “Maximum Entrophy”. Los resultados evidenciaron que la amenaza por flujo de detritos afecta a la población de Labranzagrande. Concluyendo que las metodologías empleadas funcionan adecuadamente para el contexto colombiano y que bajo condiciones geomorfológicas actuales el grado de amenaza para la población de Labranzagrande por avenidas torrenciales se encuentren en bajo y medio.

- c) MOUSSAVI (2019) en su planteamiento de tesis doctoral “Un modelo integrado de profundidad SPH de dos fases para la propagación del flujo de detritos considerando la evolución de la presión del agua de poro” cuyo objetivo fue desarrollar un metodología precisa y efectiva para el modelamiento de dos fases aplicado a casos reales de flujos de detritos. Aplicó las ecuaciones de Biot-Zienkiewicz incluyendo las leyes de arrastre para tener en cuenta la interacción entre el esqueleto sólido y el fluido intersticial. Fue de tipo experimental y de dos escenarios. Presentó dos métodos numéricos para transformar las ecuaciones diferenciales parciales, en ecuaciones diferenciales ordinarias. Concluyendo que las ecuaciones de equilibrio de masa y momento se han discretizado con SPH, mientras que la ecuación de consolidación se ha discretizado utilizando un conjunto de mallas en diferencias finitas asociadas a cada nodo SPH que representa una partícula sólida, además emplea la rotura de presas.
- d) HOLMES (2018) en su planteamiento de tesis de maestría “Una evaluación de las relaciones experimentales de escalamiento del flujo de escombros” con su objetivo principal de probar empíricamente el supuesto teórico de que los problemas de escala hacen que los flujos de detritos de canales de pequeña escala no sean representativos de los flujos de escombros naturales. Su población y muestra fueron la data del USGS y una cuenca natural respectivamente. Se compararon los resultados de un canal de flujo de escombros a pequeña escala (8 m de largo, 0,2 m de ancho) con resultados similares. Se manifestó en diferencias en velocidades (+/- 43% de la media), profundidades de flujo (+/- 31% de la media), morfología de los depósitos y distancias de escurrimiento (+/- 29 % de la media). Concluyendo que El índice de bimodalidad de la mezcla también fue similar al de la mezcla del USGS (1,79 en comparación con 2,09), lo que justifica la comparación entre los dos conjuntos de experimentos, ya que el índice no tiene dimensiones, por lo que lo es independientemente de la escala. Además, que las pequeñas variaciones en la proporción de granos gruesos en la mezcla de flujo de escombros eran más significativas para influir en el

comportamiento de los flujos de escombros que las pequeñas variaciones en la proporción de granos finos en la mezcla.

- e) MUÑOZ (2018) en su planteamiento de tesis “Metodología para evaluar la amenaza de flujos de detritos utilizando un análisis jerárquico de procesos y el software RAMMS, con aplicación en la cuenca Estero San Alfonso, Región Metropolitana”, su objetivo principal de desarrollar una metodología que permita evaluar la amenaza de flujos de detritos utilizando un análisis jerárquico de procesos (AHP) y el software RAMMS: Debris Flow, con aplicación de población y muestra en la cuenca Estero San Alfonso. Concluyendo que la metodología es aplicable para evaluar la susceptibilidad de flujos de detritos a nivel de cuencas de cualquier ambiente geológico y escala de trabajo, el método AHP está regido bajo tres principios, construcción de jerarquías, establecimiento de prioridades, y consistencia lógica.

Nacionales

- a) DE LA CRUZ (2021) en su planteamiento de tesis “Estimación de riesgos por flujos de detritos en la quebrada San Jerónimo Lunahuana – Cañete” con el objetivo principal de conocer la estimación del riesgo por flujo de detritos en la quebrada San Jerónimo con la finalidad de proponer medidas de control para la reducción del riesgo por flujo de detritos, determinando el peligro, vulnerabilidad y riesgo. La población son 1090 habitantes y 551 viviendas y una muestra de 182 habitantes y 60 viviendas de San Jerónimo. Sus resultados fueron que el modelamiento de la simulación numérica de flujos de detritos el escenario más probable de ocurrencia, se desarrolló con un volumen de 40000 m³ de flujos, generando áreas afectadas como: 24 viviendas ubicadas dentro del área de influencia de la simulación, 45mL de afectación de la vía principal (carretera Cañete Yauyos) y un valor aproximado de 1.52 ha en áreas de cultivos en la parte baja de la quebrada de estudio. Concluyendo en el análisis de vulnerabilidad de los elementos expuestos en la zona de estudio, resultó tener un valor de 0.379, lo cual conlleva a concluir que estos elementos (182 habitantes, 60 viviendas y 02 instituciones educativas) presentan un nivel de vulnerabilidad muy alto, teniendo en cuenta los niveles estratificación: muy alta ($0.260 \leq V < 0.503$), alta ($0.134 \leq V < 0.260$), media ($0.068 \leq V < 0.134$) y baja ($0.035 \leq V < 0.068$). Los riesgos identificados en el área de estudio indican que el área urbana del anexo de San Jerónimo adyacentes al cauce generado por la ocurrencia de los flujos de detritos se encuentra en un nivel muy alto y alto.

- b) ORDOÑEZ y RUIZ (2019) en su propuesta de tesis “Propuesta para un modelo numérico y alternativas para el control del flujo de detritos quebrada Tingo – Pataz – Perú” con su objetivo principal Proponer un modelo numérico para el flujo de detritos en la quebrada El Tingo que permita conocer el comportamiento y las consecuencias de la ocurrencia del fenómeno y luego proponer alternativas de control del flujo de detritos para mitigar sus consecuencias, así también de recopilar y validar información geográfica, geológica, geomorfológica e hidrológica, como también las medidas de control. La población fue todas las quebradas del departamento La Libertad y la muestra es la Quebrada El Tingo. Obteniendo resultados de caudales máximos tanto líquidos como mixtos, y modelando la afectación del flujo de detritos por el modelo de FLO-2D. Concluyo que El modelo numérico propuesto parte de la aplicación conjunta de varias herramientas como son el Civil 3D, ArcGis, Hec-HMS con las cuales se ha analizado cada una de las variables topográficas, geológicas, geomorfológicas e hidrológicas en la Quebrada El Tingo que influyen en el flujo de detritos, y cuyos resultados han sido el input considerado en el FLO-2D aplicado en la metodología para la evaluación del riesgo de desastres por flujos huaycos, con lo que es posible conocer el comportamiento de este fenómeno y las áreas más vulnerables para determinados periodos de retorno.
- c) MILLÁN (2018) en su propuesta de tesis “Modelación del flujo de detritos para el análisis del riesgo en la quebrada Los Cóndores, provincia de Lima, Perú” con el objetivo principal de realizar el análisis del riesgo por flujo de detritos y de proponer una metodología para realizar el análisis del riesgo por flujo de detritos en la quebrada los Cóndores. Su población y muestra es la quebrada los Cóndores. Los resultados obtenidos fue comparar los modelos de PeruSAT-1 y ALOS Palsar, mostrando que la primera muestra desviaciones del flujo producto de las viviendas que se incluyen en el MDE. Concluyendo que se realizó en análisis del riesgo por flujo de detritos, calibró el modelo de RAMMS: Debris Flow a través de un evento sucedido, simuló el flujo de detritos en el modelo RAMMS: Debris Flow, para varios periodos de retorno y delinea una metodología para el análisis del riesgo.
- d) CCAMA (2018) en su propuesta de tesis “Factores condicionantes y desencadenantes en la determinación del peligro de flujo de detritos aplicando el modelo FLO-2D, quebrada Llocllamayo Km-295+350, IIRSA Sur Tramo -IV” con su objetivo principal Establecer el mapa de peligro, de flujo de detritos, ante escenarios extraordinarios para la hoya y cono de deyección de la quebrada Llocllamayo, abarcando el área que transpone la infraestructura vial, km 295+350 y zonas circundantes, a efecto de garantizar la seguridad de los usuarios

de la vía. Donde su muestra es la quebrada Llocllamayo, sus resultados determinaron la afectación a la infraestructura vial, presenta distintas formas de mitigar el efecto de huaycos para zonas urbanas, la quebrada Llocllamayo, debido al cruce del corredor vial interoceánico tramo 4 y por tratarse de una red vial corresponde intervenir con una infraestructura especial, correspondiendo a la alternativa 01 como mejor opción. Concluye que La evaluación de peligros en el tramo de carretera en Llocllamayo, frente a lluvias intensas, deslizamientos y/o huaycos, derrumbes, es considerado con un grado de significancia de PELIGRO ALTO. Dicho análisis es desarrollado a través del modelo “Flo-2D”, Basado en un modelo reológico cuadrático de Bingham.

Locales

- a) MALDONADO (2021) en su planteamiento de tesis de maestría “Identificación de zonas de riesgo por deslizamientos de laderas debido a la saturación de suelos en la microcuenca Mariño, Abancay” con su objetivo principal Identificar las zonas de riesgo por deslizamientos de laderas debido a la saturación del suelo generadas por las precipitaciones pluviales en la cuenca del río Mariño, ubicado en la provincia de Abancay y departamento de Apurímac. Con su población y muestra de la cuenca río Mariño. Obteniendo resultados de análisis de estabilidad de taludes, humedad topográfica, MDE, geología, hidrogeología, geomorfología, hidrografía e hidrología para el modelo SINMAP. El modelo SINMAP permitió elaborar el mapa de susceptibilidad para la microcuenca del río Mariño el cual se recomienda incorporar en la elaboración de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial del gobierno regional y de la municipalidad provincial y otras instituciones de la zona de influencia de la unidad hidrográfica, tomando en cuenta las limitaciones y restricciones que involucra la simulación en el modelo. Se determinaron las precipitaciones mensuales 788,12 mm, la evaporación mensual fue 1 093,68 mm de promedio anual obtenida por PISCO, además de la precipitación máxima en 24 horas de la estación San Antonio de Abancay, igual a 64,62 mm para un periodo de retorno de 100 años. Concluyendo en las variables hidrológicas identificadas fueron la precipitación mensual 788.12 mm, y evaporación mensual obtenidos de la base de datos PISCO, con 1 093.68 mm de promedio anual, así mismo la precipitación máxima de 24 horas obtenidos de los datos históricos de SENAMHI registrados en la estación San Antonio de Abancay, igual a 64.62 mm para un tiempo de retorno de 100 años.

- b) SALAZAR (2018) en su planteamiento de tesis “Geología aplicada al ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay”, con su objetivo principal de determinar las limitantes y

deficiencias que presenta geológicamente la ciudad de Abancay para tener expansión y/o crecimiento urbano ordenado con un desarrollo sostenible, basado en el ordenamiento territorial. Con su población y muestra de toda la ciudad de Abancay. Obtuvo resultados donde los peligros geológicos y su afectación dentro de la ciudad de Abancay son importantes para delimitar las zonas de expansión urbana en la ciudad en función del riesgo. Concluyendo que los sectores más críticos, debido a su extensión de los movimientos en masa, historial de ocurrencia y ubicación respecto a la población abanquina son: Muyoqcorral, Leonpampa, Fonavi y Limapata, que se hallan sobre un gran deslizamiento antiguo, el cual se encuentra activo mediante procesos de asentamiento y reptación de suelos. Asimismo, tenemos a los sectores de Maucacalle, Sahuanay, Antabamba, Bancapata y todo el casco urbano norte de la ciudad con influencia directa de la quebrada Sahuanay-Chinchichaca, que pueden ser testigos de la ocurrencia de otro flujo de detritos como la que ocurrió en los años 1951 y 2012. Y finalmente tenemos a Ccocha, Pumaránra y la zona nor-este de la ciudad de Abancay, que se encuentran altamente vulnerables ante la ocurrencia de un nuevo deslizamiento.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Gestión de riesgos de desastres

(UNISDR 2009) la gestión del riesgo de desastres busca evitar, disminuir o transferir los efectos adversos de las amenazas mediante diversas actividades y medidas de prevención, mitigación y preparación.

Es “la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas” y como “pérdidas posibles”, como la función de la combinación de tres términos: peligro, exposición y vulnerabilidad (ONU-SPIDER 2023). Las estructuras básicas de la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) están contempladas en tres fases, pre - desastre, desastre (durante) y post – desastre, se tiene las estructuras de Japón (país innovador y sede de la GRD a nivel mundial, Sendai, Figura 1) y Perú (Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD, Figura 2) basada en la Ley N°29664 (CONGRESO DE LA REPÚBLICA DEL PERÚ 2011).

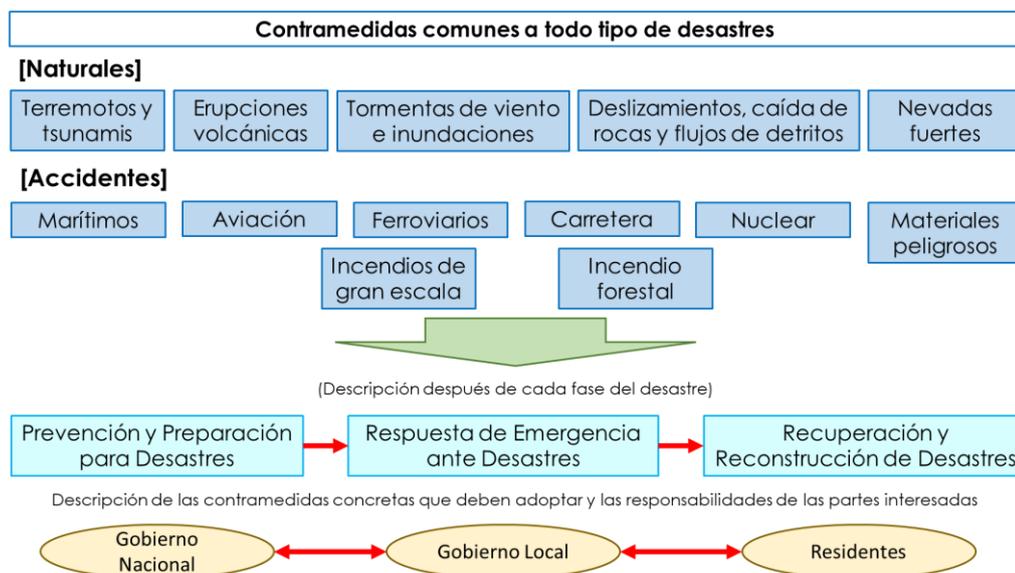


Figura 1 — Estructura del plan básico de gestión de desastres de Japón

Extraído de: Disaster Management in Japan (Cabinet Office 2022)



Figura 2 — Estructura de la GRD en el Perú

3.2.1.1 Evaluación del riesgo de desastres

(UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, 2023), da la definición acerca de la evaluación o análisis del riesgo de desastres, como un enfoque cualitativo o cuantitativo para determinar la naturaleza y el alcance del riesgo de desastres mediante el análisis de peligros potenciales y la evaluación de las condiciones existentes de exposición y vulnerabilidad que en conjunto podrían dañar a las personas, las propiedades, los servicios, los

medios de vida y el medio ambiente del que dependen. Su lugar dentro de la GRD se encuentra en el nivel de preventivo o componente prospectivo (Perú) o antes del desastre (pre desastre).

(INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2018) La gestión del riesgo es iterativa y asiste a las organizaciones a establecer su estrategia, lograr sus objetivos y tomar decisiones informadas. Son actividades coordinadas para dirigir y controlar la organización con relación al riesgo, donde la evaluación del riesgo es un componente de la gestión del riesgo (Figura 3).

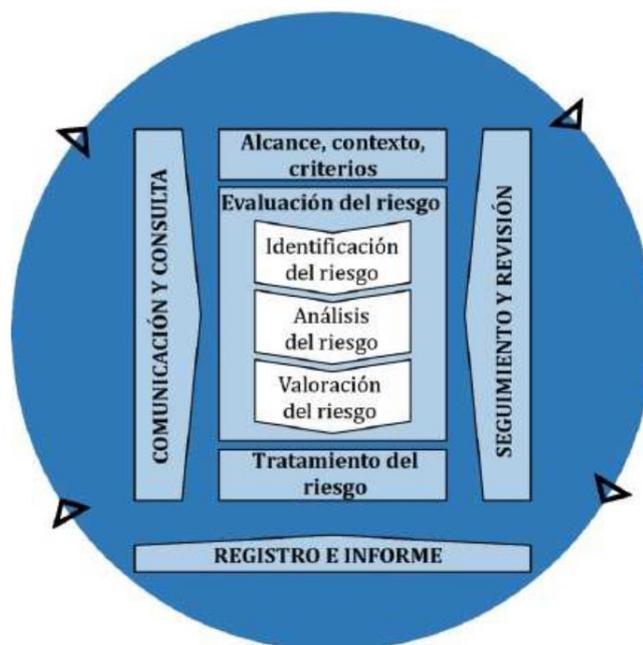


Figura 3 — Proceso de la gestión del riesgo (ISO 31000:2018)

Extraído de: ISO 31000:2018 (International Organization for Standardization 2018)

3.2.1.2 Metodologías para la evaluación del riesgo de desastres

(VAN WESTEN, KUMAR HAZARIKA y NASHRRULLAH, 2020) menciona que la evaluación del riesgo se pueden utilizar varios enfoques, según el objetivo del proyecto y la cantidad de datos disponibles, esto sigue un marco de aspectos básicos de la evaluación de riesgos (Figura 4). Los principales enfoques se destacan a continuación:

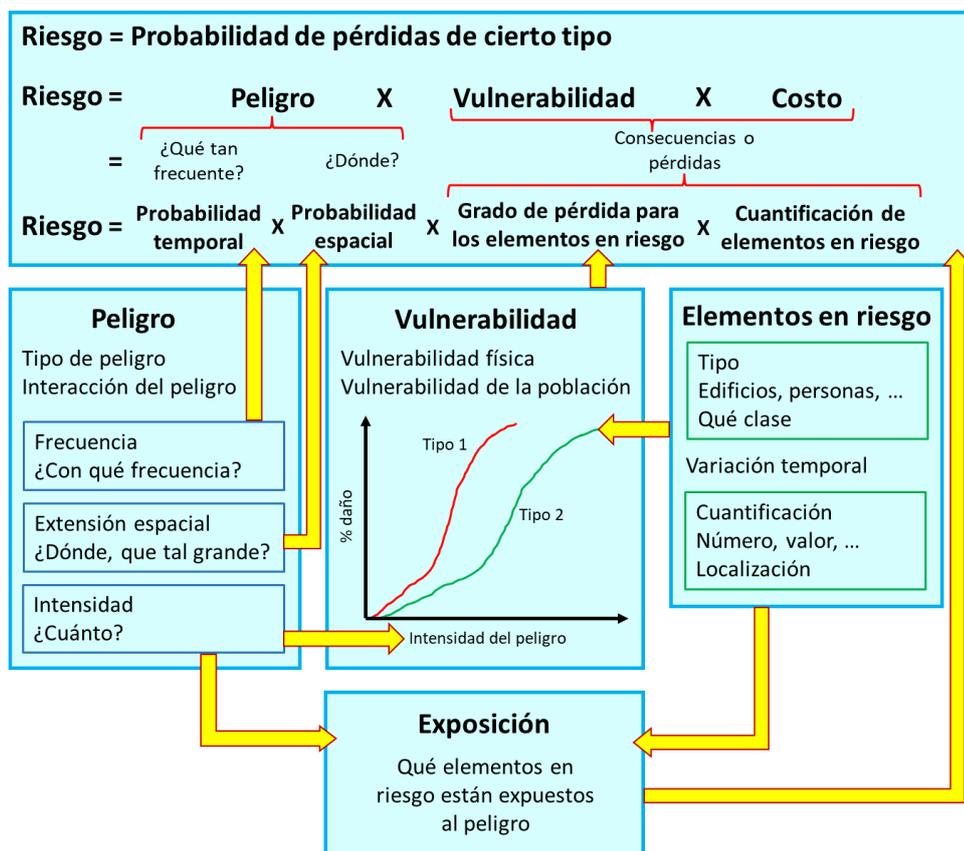


Figura 4 — Marco básico para la evaluación de riesgos

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

• **Método probabilístico**

Este método utiliza una combinación de escenarios probabilísticos de peligro, exposición y vulnerabilidad que se producen mediante la modelización. La evaluación probabilística del riesgo tiene en cuenta todos los desastres que podrían ocurrir en el futuro, incluidas pérdidas muy intensas durante largos períodos de retorno, y así supera las limitaciones asociadas con las estimaciones derivadas de datos históricos de pérdidas por desastres. El método requiere el modelado de todos los posibles eventos peligrosos que pueden ocurrir en el futuro. Estos escenarios suelen generarse utilizando herramientas de software específicas que combinan datos estadísticos sobre la frecuencia/magnitud de los eventos con modelos empíricos de los resultados esperados. Estos modelos son especialmente adecuados para amenazas como terremotos y tormentas tropicales (Figura 5).

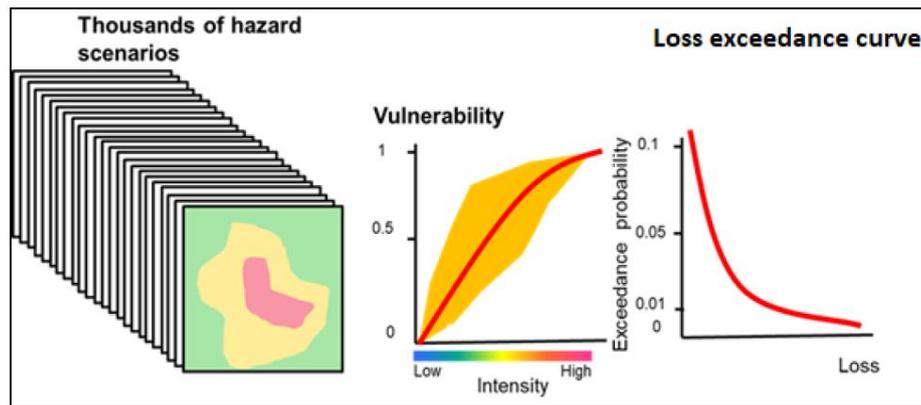


Figura 5 — Evaluación probabilística de riesgos con escenarios de peligro

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

- **Método determinístico cuantitativo**

Este método analiza el riesgo cuantitativamente utilizando un número limitado de escenarios de peligro que han sido modelados para diferente frecuencia. Este método se utiliza a menudo para peligros que requieren un modelado extenso para derivar la intensidad del peligro (por ejemplo, modelado de profundidad de inundación). Las operaciones SIG se utilizan para analizar la exposición como la intersección entre los elementos en riesgo y el área de huella de peligro para cada escenario de peligro. Los valores de intensidad se utilizan en combinación con el tipo de elemento en riesgo para encontrar la vulnerabilidad correspondiente. La multiplicación de las cantidades expuestas y la vulnerabilidad da las pérdidas para el mismo escenario de amenaza, que se trazan frente a la probabilidad temporal de ocurrencia en una curva de riesgo. Esto se repite para todos los escenarios de peligro disponibles. El área debajo de la curva es la pérdida anual promedio que se puede esperar (Figura 6), se utilizan escenarios de peligro limitados para la estimación de pérdidas y las pérdidas se trazan frente a la probabilidad temporal para obtener el riesgo.

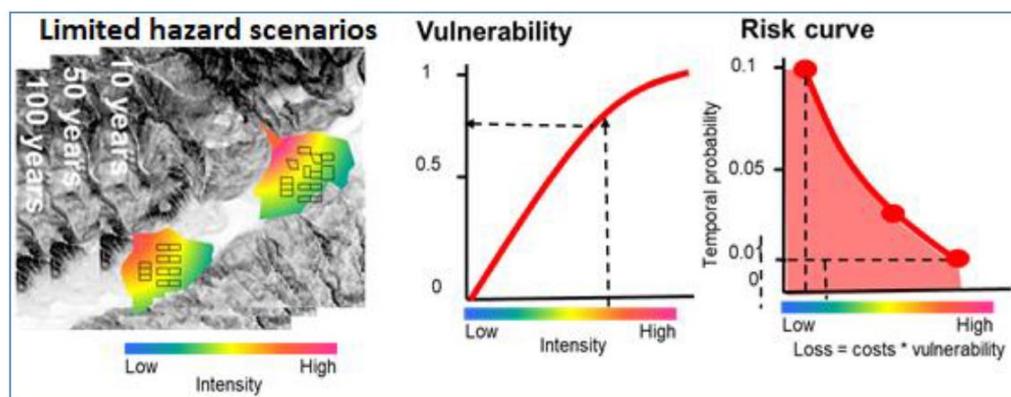


Figura 6 — Método determinista cuantitativo que utiliza escenarios de peligro

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

- **Análisis de árbol de eventos**

Pueden ocurrir una serie de peligros en cadenas donde un peligro desencadena el siguiente (por ejemplo, un terremoto que desencadena un deslizamiento de tierra que bloquea el río y causa un lago represado, que en algún momento provocará una inundación al romper la presa). Estos se denominan efectos dominó o peligros concatenados, que son los tipos de peligros más problemáticos de analizar en una evaluación de riesgos de peligros múltiples. El mejor enfoque para analizar dichas cadenas de peligros es utilizar un análisis de árbol de eventos. Se aplica un árbol de eventos para analizar todas las combinaciones (y la probabilidad de ocurrencia asociada) de los parámetros que afectan al sistema bajo análisis. Los eventos analizados están vinculados entre sí mediante nodos. Todos los estados posibles del sistema se consideran en cada nodo y cada estado (rama del árbol de eventos) se caracteriza por un valor definido de probabilidad de ocurrencia (Figura 7), cada nodo representa la probabilidad de ocurrencia.

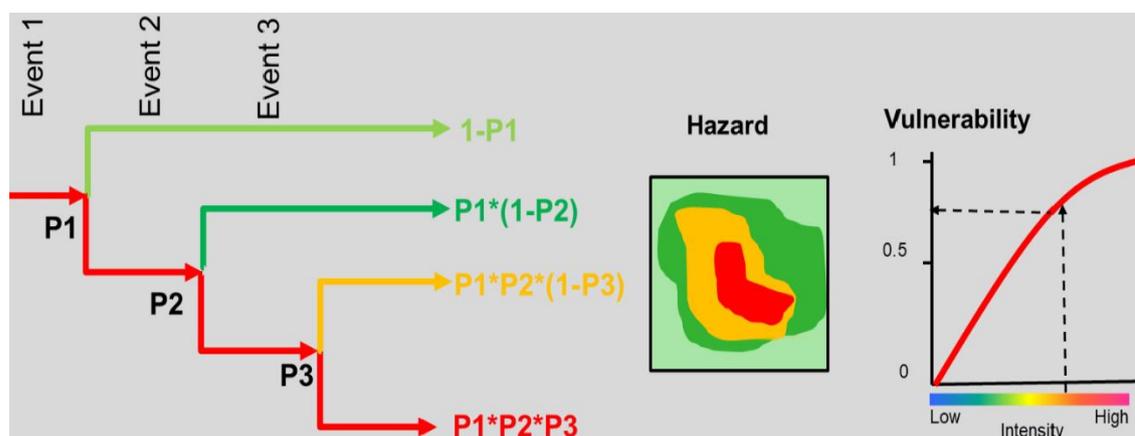


Figura 7 — Representación esquemática de un análisis de árbol de eventos

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

- **Método semicuantitativo**

Las evaluaciones suelen ser complejas y no permiten un enfoque numérico completo, ya que muchos aspectos no son cuantificables o tienen un grado muy grande de incertidumbre. Esto puede estar relacionado con la dificultad para definir escenarios de amenaza, mapear y caracterizar los elementos en riesgo o definir la vulnerabilidad utilizando curvas de vulnerabilidad. Para superar estos problemas, el riesgo se puede evaluar mediante matrices de riesgo o matrices de consecuencias-frecuencia, que son diagramas con clases de frecuencia e impacto en los ejes. Permiten la clasificación del riesgo basándose en conocimientos expertos con datos cuantitativos limitados. La matriz de riesgo está formada por clases de frecuencia de los eventos peligrosos en un eje y el impacto (o pérdidas esperadas) en el otro eje. Este enfoque

permite visualizar los efectos y consecuencias de las medidas de reducción de riesgos y proporciona un marco para comprender el riesgo (Figura 8).

		Impact			
		None	Small	Moderate	High
Frequency	Very High		High	Very High	Very High
	High		Moderate	High	Very High
	Moderate		Low	Moderate	High
	Low		Low	Low	Moderate
	None	No Risk			

Figura 8 — Enfoque de matriz de riesgo por combinación

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

• **Métodos basados en la exposición**

La evaluación del riesgo de desastres no tiene por qué requerir un uso intensivo de datos. Una forma básica de riesgo es la exposición. En algunos casos, la ubicación de un evento peligroso y el número de personas o edificios expuestos a ese evento peligroso pueden ser información útil para la toma de decisiones.

Por ejemplo, se pueden recopilar datos sobre eventos peligrosos pasados (por ejemplo, la ubicación y profundidad de las inundaciones) utilizando imágenes satelitales, mapas comunitarios o aplicaciones móviles para determinar la intensidad y extensión de las inundaciones. Esto puede implicar: (1) realizar una encuesta entre los residentes locales sobre sus experiencias recientes; y (2) recopilar características y valores de los edificios expuestos (Figura 9).

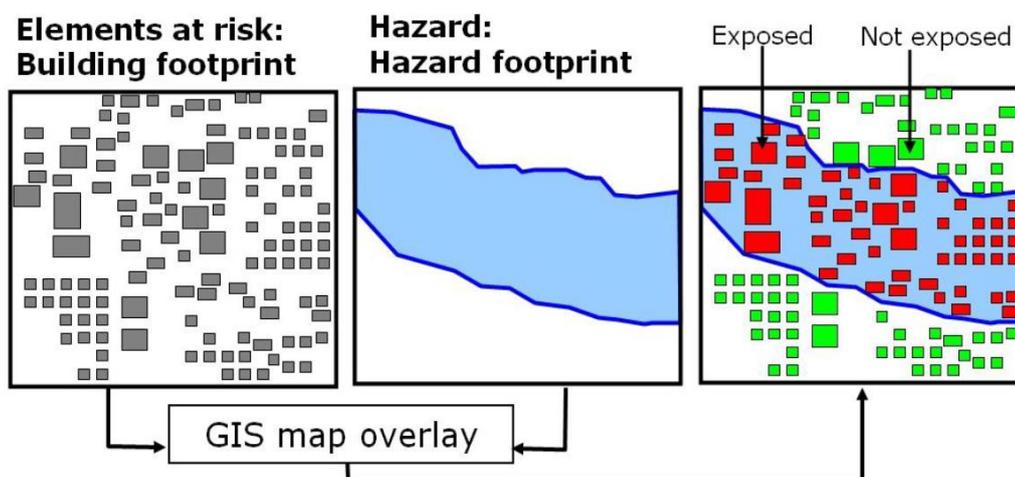


Figura 9 — Representación simple de los elementos en riesgo y el área afectada

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

- **Métodos cualitativos**

Hay muchas situaciones en las que el método semicuantitativo para el mapeo de riesgos no es apropiado. Esto puede deberse a la falta de datos suficientes disponibles para cuantificar los componentes. Otra razón es la necesidad de tener en cuenta una serie de componentes diferentes de la vulnerabilidad que no están incorporados en el método semicuantitativo, como la vulnerabilidad social, la vulnerabilidad ambiental y la capacidad. En estos casos, es común seguir un enfoque basado en indicadores para medir la vulnerabilidad y el riesgo a través de indicadores seleccionados para comparar cuantitativamente diferentes áreas o comunidades.

La evaluación espacial multicriterio de la evaluación del riesgo de desastres se divide en una serie de componentes, como peligro, exposición, vulnerabilidad y capacidad, utilizando un árbol de criterios, que enumera la subdivisión en objetivos, subobjetivos e indicadores. Los datos para cada uno de estos indicadores se recopilan a un nivel espacial particular (por ejemplo, por unidades administrativas). Luego, estos indicadores se estandarizan (por ejemplo, reclasificándolos entre 0 y 1), se ponderan internamente dentro de un subobjetivo y luego los distintos subobjetivos también se ponderan entre sí (Figura 10), se combinan los indicadores para proporcionar una clasificación relativa del riesgo.

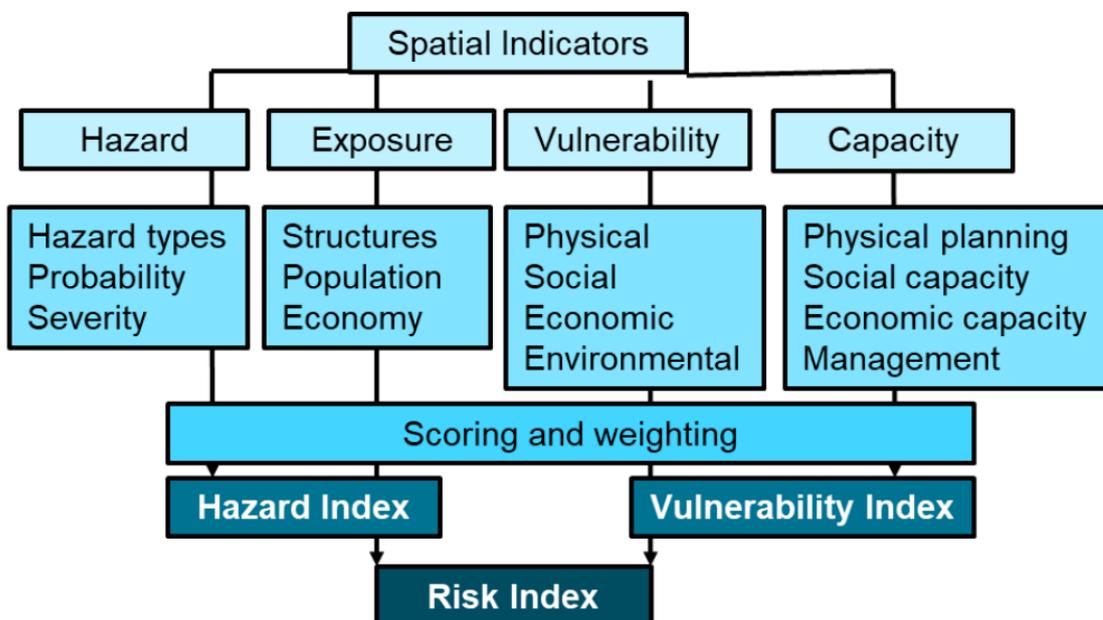


Figura 10 — Enfoque de riesgo cualitativo con indicadores

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

Ventajas y desventajas

Tabla 2 — Ventajas y desventajas de los métodos para el análisis de riesgos

Método	Ventaja	Desventaja
Evaluación probabilística de riesgos	Proporcionar un análisis completo de las pérdidas medias anuales como base para la toma de decisiones financieras.	Requiere software especializado y no es aplicable a todos los tipos de peligros (por ejemplo, deslizamientos de tierra, volcanes, inundaciones). Muy exigente en cuanto a datos.
Evaluación de riesgos cuantitativa determinístico	Proporcionar información cuantitativa sobre riesgos que pueda utilizarse en el análisis costo-beneficio de las medidas de reducción de riesgos.	Muy exigente en cuanto a datos. Es difícil cuantificar la probabilidad temporal, la intensidad de las amenazas y la vulnerabilidad.
Análisis de árbol de eventos	Permite modelar una secuencia de eventos y funciona bien para efectos dominó.	Las probabilidades para los diferentes nodos son difíciles de evaluar y la implementación espacial es muy difícil debido a la falta de datos.
Enfoque de matriz de riesgos	Permitir la expresión del riesgo utilizando clases en lugar de valores exactos, y es una buena base para discutir medidas de reducción del riesgo.	No proporcione valores cuantitativos que puedan usarse en el análisis de costo-beneficio de las medidas de reducción de riesgos. La evaluación de frecuencias e impactos es difícil y un área puede tener diferentes combinaciones de frecuencias e impactos.
Análisis de exposición simple	La forma más sencilla de cuantificar datos como base para la toma de decisiones. Proporcionar una base para la planificación de la preparación.	No incorporar vulnerabilidad y pérdidas reales. No considera diferentes eventos/frecuencias.
Evaluación espacial multicriterio	Único método que realiza una evaluación holística de riesgos, incluidas las vulnerabilidades y capacidades sociales, económicas y ambientales.	El riesgo resultante es relativo y no proporciona información sobre las pérdidas reales esperadas.

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

Las evaluaciones de riesgo de desastres incluyen: la identificación de peligros; una revisión de las características técnicas de los peligros como su ubicación, intensidad, frecuencia y probabilidad; el análisis de la exposición y la vulnerabilidad, incluidas las dimensiones física, social, sanitaria, ambiental y económica; y la evaluación de la eficacia de las capacidades de afrontamiento predominantes y alternativas con respecto a escenarios de riesgo probables. Hay varios tipos de evaluación de riesgos (Tabla 3).

Tipos de riesgos

(VAN WESTEN, KUMAR HAZARIKA y NASHRRULLAH 2020) el riesgo se define como la probabilidad de pérdidas. Las pérdidas se pueden expresar de diferentes formas y pueden ser directas o indirectas:

- **Pérdidas directas:** Son las pérdidas que son causadas directamente por el evento peligroso (por ejemplo, edificios dañados o destruidos).
- **Pérdidas indirectas:** son las pérdidas a más largo plazo como consecuencia de las pérdidas directas (por ejemplo, pérdida de empleo).

Curvas de riesgo

- Curva de excedencia de pérdidas por riesgo económico
- Curva F-N para riesgo social

La curva F-N proporciona un resultado de la probabilidad o frecuencia (F) de que ocurran eventos fatales que causen un cierto número de muertes (N), dentro de un período de tiempo determinado, generalmente establecido en un año.

Tabla 3 — Tipos de evaluación de riesgos

Grupo	Tipo	Método	El riesgo se expresa como
Cualitativo	Riesgo relativo	Evaluación espacial multicriterio	Una puntuación relativa o clasificada en clases (alta, moderada, baja)
	Clases	Enfoque de matriz de riesgos	Clases caracterizadas por la combinación de frecuencia e impacto.
Semicuantitativo	Número expuesto	Análisis de exposición simple	Cantidad expuesta (edificios, carreteras, personas, etc.) sin probabilidad ni pérdidas.
	Valor expuesto	Análisis de exposición simple	Valor expuesto de los elementos en riesgo en términos monetarios, sin probabilidad ni pérdidas reales
Cuantitativo	Número de pérdida	Evaluación de riesgos cuantitativa determinista	Número de edificios, longitud de las carreteras y superficie agrícola destruida
	Pérdidas monetarias	Evaluación de riesgos probabilística, evaluación de riesgos cuantitativa determinista, análisis de árbol de eventos	Valor monetario de las pérdidas
	Riesgo individual	Evaluación de riesgos probabilística, evaluación de riesgos cuantitativa determinista, análisis de árbol de eventos	Probabilidad de morir por un tipo de peligro para una persona en el área expuesta
	Riesgo social	Evaluación de riesgos probabilística, evaluación de riesgos cuantitativa determinista, análisis de árbol de eventos	Número de personas que pueden morir en el área como resultado de un peligro y sus respectivas probabilidades

Extraído de: ICT for Disaster Management (Van Westen, Kumar Hazarika y Nashrullah 2020)

3.2.2 Movimiento en masa

Son movimientos de la roca y del material no consolidado producto de la gravedad. Los agentes erosivos son el agua, viento y hielo. Donde el principal medio de transporte son las quebradas

o ríos. El clima propicia la erosión de los agentes geológicos externos. Los parámetros que influyen el movimiento en masa son: tipo de material, pendiente, hidrología, morfología y agentes externos (DUQUE 2020).

Un derrumbe (movimiento en masa) es un movimiento descendente de roca o suelo, o ambos, se da lugar en la superficie de ruptura, curva (deslizamiento tipo rotacional) o plana (deslizamiento traslacional), donde gran parte de este material se transporta como un cuerpo cohesionado o semi cohesionado con poca deformación interna (HIGHLAND y BOBROWSKY 2008).

Se ha realizado una simple y completa clasificación fue propuesta por el programa EPOCH (1993), el cual a partir de la clasificación de VARNES (1978) y HUTCHINSON (1988), dan una clasificación de acuerdo al tipo de movimiento y el material (Tabla 4).

Tabla 4 — Clasificación de los procesos de remoción o movimientos en masa

Mecanismos de movimiento	Tipo de material involucrado		
	Tipo	Roca (<i>rock</i>)	Derrubios o detritos (<i>debris</i>)
Desprendimientos (<i>fall</i>)	Caída o desprendimiento de rocas (<i>rockfall</i>)	Caída o desprendimiento de derrubios (<i>debris fall</i>)	Caída o desprendimiento de suelos (<i>soil fall</i>)
Vuelco o desplome (<i>topple</i>)	Vuelco o desplome de rocas (<i>rock topple</i>)	Vuelco o desplome de derrubios (<i>debris topple</i>)	Vuelco o desplome de suelos (<i>soil topple</i>)
Deslizamiento rotacional simple (<i>rotational slide</i>)	Individual (<i>simple</i>) Multiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Multiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)	Individual (<i>simple</i>) Multiple (<i>multiple</i>) Sucesivo (<i>successive</i>)
Deslizamiento translacional o de bloques no rotacional (<i>translational slide, non – rotational</i>)	Deslizamiento de roca en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento de derrubios en bloque (<i>block slide</i>)	Deslizamiento translacional de suelos (<i>slab slide</i>)
Deslizamiento planar	Deslizamiento de rocas (<i>rock slide</i>)	Deslizamiento de derrubios (<i>debris slide</i>)	Coladas de barro (<i>mudslide</i>)
Flujos (<i>flow</i>)	Flujo de rocas (<i>rock flow</i>)	Corriente de derrubios (<i>debris flow</i>)	Flujos de tierra, arena o suelo (<i>soil flow</i>)
Expansion lateral (<i>lateral spreading</i>)	Expansiones laterales en rocas (<i>rock spreading</i>)	Expansiones laterales en derrubios (<i>debris spread</i>)	Expansiones laterales en suelos (<i>soil spreading</i>)
Complejo (<i>complex</i>)	Ejemplo: Alud de rocas (<i>rock avalanche</i>)	Ejemplo: Flujo deslizante (<i>flow slide</i>)	Ejemplo: Rotacion con flujo de tierras (<i>slump – earthflow</i>)

Extraído de: EPOCH (1993) a partir de la clasificación de Varnes (1978) y Hutchinson (1988)

Algunos de estos eventos se ilustran a través de la siguiente tipología de los movimientos en masa (Figura 11), existen otras clasificaciones acordes a su velocidad, tipología de desencadenamiento, geometría, composición (Anexo B).

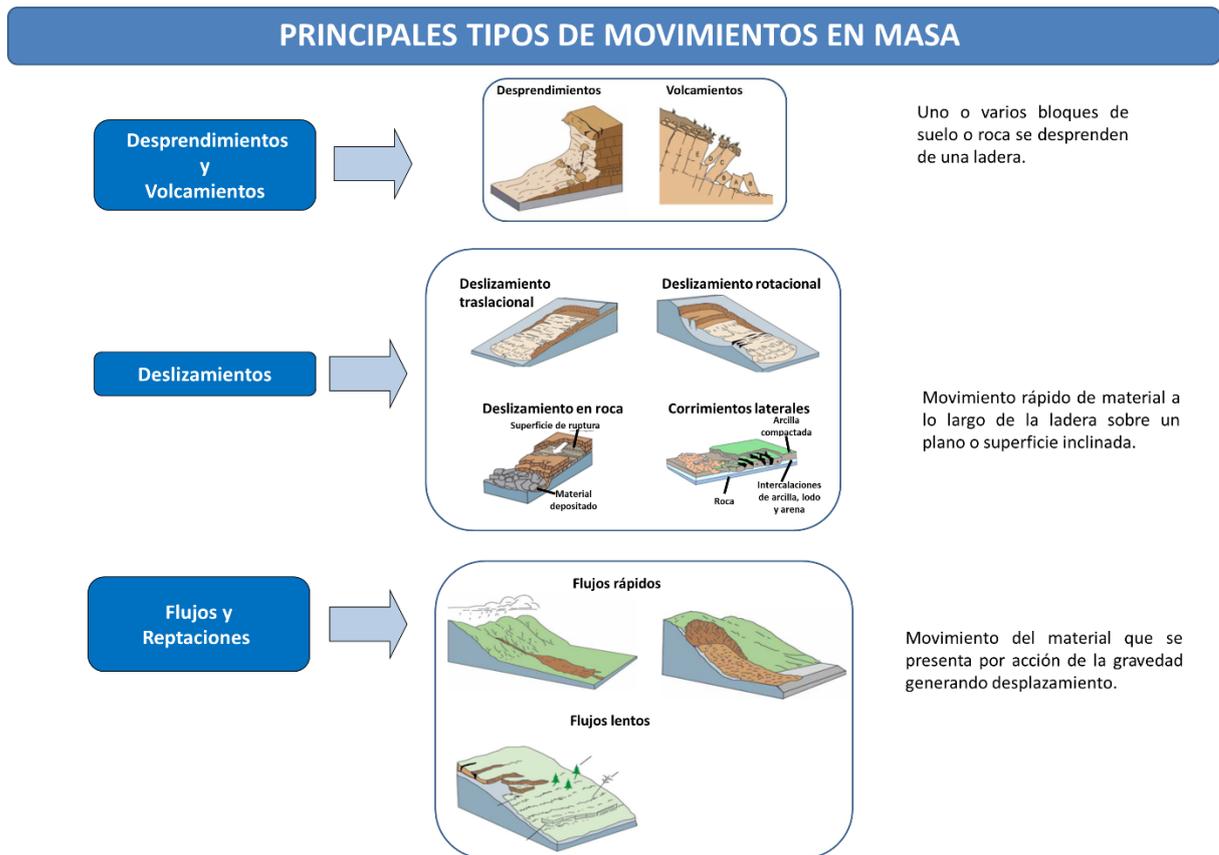


Figura 11 — Tipos de movimiento en masa

Extraído de: USGS y GEMMA (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas 2007; Highland y Bobrowsky 2008)

Los movimientos en masa gravitacional son desencadenados a los cambios en el equilibrio de fuerzas, respecto a la relación entre las fuerzas de desaceleración y aceleración (WENDELER 2016).

La reducción de estabilidad (fricción interna y cohesión del material) es producto del agua y diversos procesos (DUQUE 2020).

3.2.3 Flujo de detritos o escombros

Mezcla que generalmente se desplaza a favor de la pendiente (gravedad), ocurre en lugares con poca presencia de vegetación, donde el flujo se compone de agua y sedimentos finos (IVERSON 2005), comunes en lugares tropicales con profunda erosión de suelos y abundantes lluvias, especialmente tormentas tropicales y huracanes (ORDOÑEZ 2019).

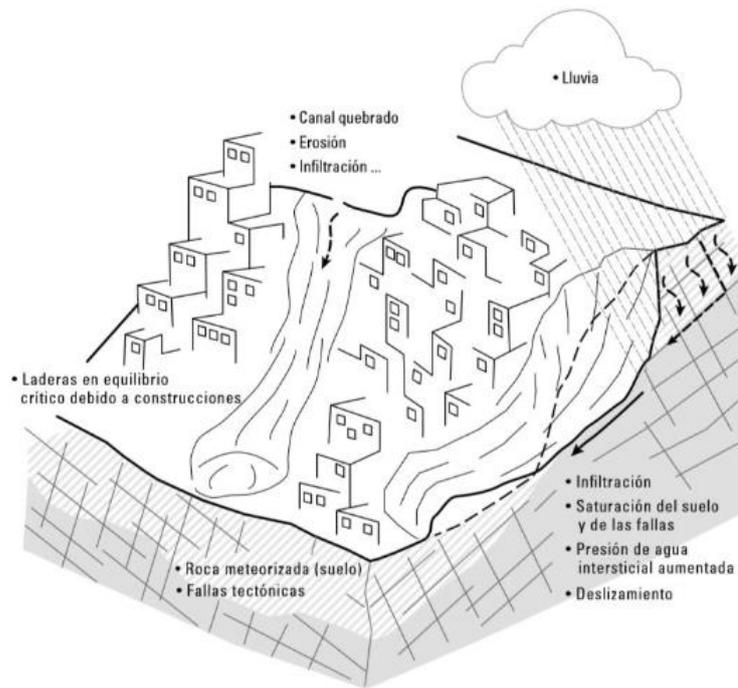


Figura 12 — Flujo de detritos, con pendiente y población

Extraído de: Mergili M. et al. (2015)

Un flujo típico de flujo de detritos es un flujo torrencial de la combinación con agua, lodo y escombros que repentinamente avanza con una vanguardia enorme, empujando y rodando cantos rodados (TAKAHASHI 2014).

El flujo de detritos implica un movimiento impulsado por la gravedad de mezclas sólido – fluido con frentes de tensión abrupta, superficies superiores libres, superficies basales erosionables de forma variable y composiciones que pueden cambiar con la posición del tiempo (IVERSON 2005).



Figura 13 — Perfil de un frente típico para un flujo de detritos

Extraído de: Modificado por Solis (1995)

3.2.3.1 Clasificación y características de los flujos de detritos

Se clasifican de acuerdo al tamaño del material y distribución, concentración de sedimentos, propiedades intersticiales del fluido, condiciones hidráulicas del fluido como la velocidad,

profundidad y gradiente de pendiente del canal. Son el flujo de detritos tipo: pedregoso, turbulento lodoso y viscoso (TAKAHASHI 2014).

En el trabajo realizado por SEPÚLVEDA (1998) realiza una comparación con el flujo de detritos clasificados por VAN DINE (1984) la cual no hay un consenso con las terminologías del inglés al español (Tabla 5).

Tabla 5 — Comparación de la terminología de caracterización de flujo de detritos

Estudio	Características	Tipo de flujos					
		Crecida fluvial	Flujo barroso	Torrente de detritos	Flujo de detritos	Desprendimiento de tierra	Avalancha de detritos
Van Dine (1984)							
Concentración de partículas	Contenido normal de sedimento	X					
Granulometría predominante	Finos (limo – arcilla)		X				
	Sedimento granular, clastos			X	X	X	X
Movimiento	Como fluido	X	X	X	X		
	Por traslación					X	X
Encauzamiento	Cauces canalizados	X	X	X			
	Laderas planas				X	X	X
Cantidad de agua	Saturado	X	X	X	X		
	Húmedo					X	
	Seco						X

Extraído de: “Metodología para evaluar el peligro de flujo de detritos en ambientes montañosos” (Sepúlveda 1998; VanDine 1984).

(MULDER y ALEXANDER 2001) clasificó los flujos sedimentarios basado en el mecanismo de soporte del grano dominante, perfiles de velocidad y forma (basado en el mecanismo de soporte de grano dominante, el perfil de velocidad, la forma del flujo, Figura 14). Otras clasificaciones acordes al tipo de concentración, velocidad, condición, entre otras (Anexo B).

(TAKAHASHI 2014) clasifica en tres tipos de flujos de detritos: pedregoso (stony), turbulento – lodoso (turbulent – muddy) y viscoso (viscous).

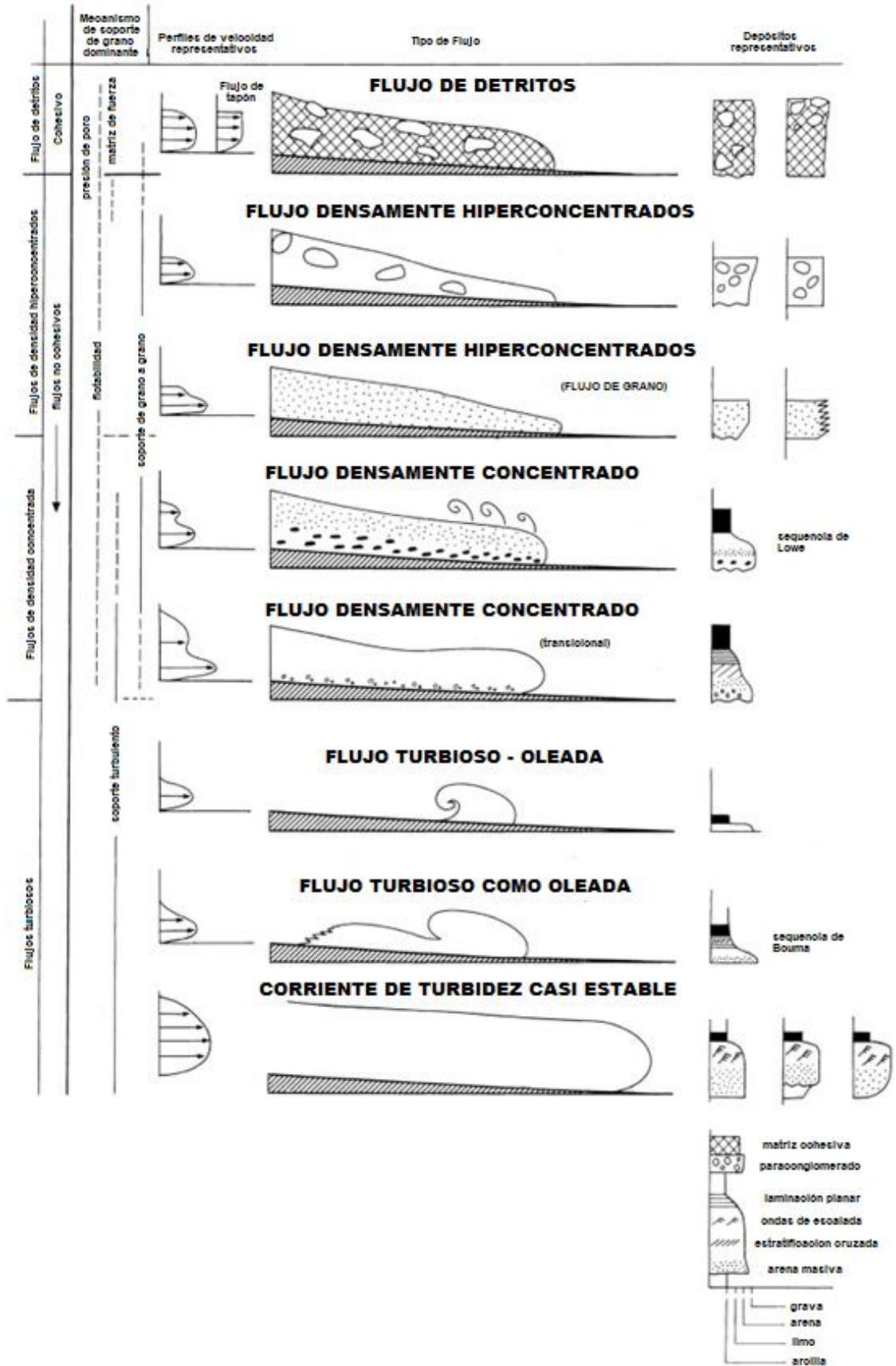


Figura 14 — Clasificación de los depósitos de flujo de detritos bajo agua

Extraído de: The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits (Mulder y Alexander 2001)

3.2.3.2 Características morfológicas

Según los registros ponen la evidencia de una particularidad de los flujos de detritos que son ondas grandes de sólidos y fluidos mezclados (Figura 15), que se transportan a través de un canal debido a las ondas pequeñas que están superpuestas y fluyen en velocidades altas (CASTILLO 2006).

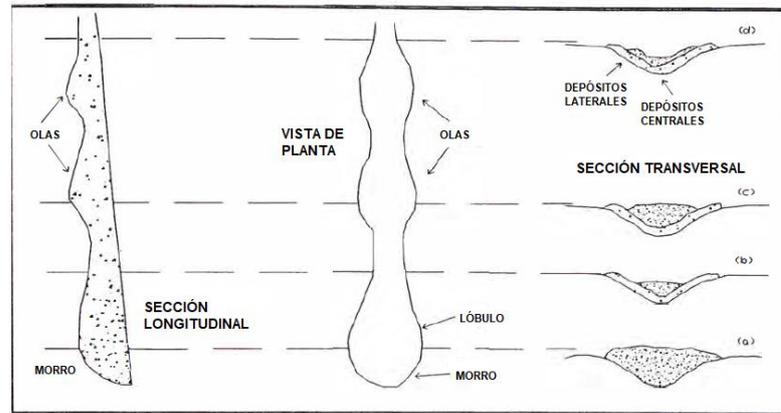


Figura 15 — Representación idealizada de un brazo de flujo de detritos

Extraído de: Flow debris in slope instability, Johnson y Rodine.

3.2.3.3 Mecanismos de ocurrencia en los flujos de detritos

Como se describió en el apartado anterior, los flujos de detritos son un flujo rápido de tipo gravitacional, conocido como huaycos o lloqllas, que se componen principalmente de agua, detritos o escombros y sedimentos.

Precipitaciones anómalas son factores detonantes para la ocurrencia del flujo de detritos (TAKAHASHI 2014). Cuando sobrepasan estas el umbral de intensidad (estimado con métodos estadísticos) y duración, bajo factores del lugar como morfología y litología, se producen los flujos de detritos.

Los movimientos del flujo de detritos son activados por lluvias, producto de la pérdida de resistencia por la disminución de la succión al saturarse el material o por fuerzas internas del agua subterránea.

Flujo típico de detritos se caracteriza por ser una onda larga compuesta por materiales sólidos y líquidos entremezclados, a lo largo de un canal, presentando ondas menores superpuestas con mayor velocidad que el mismo flujo (SUAREZ 2012).

(TAKAHASHI 2014) explica que la ocurrencia de flujos de detritos puede ser activados por deslizamientos o también no, de acuerdo a imágenes post desastre. Clasifica en tres tipos de mecanismos de iniciación de los flujos de detritos:

- 1) El depósito en el lecho de la quebrada es erosionado por el suministro de agua desde el exterior y la concentración de sólidos en el flujo de agua superficial se vuelve tan densa como puede ser y se llama flujo de detritos.
- 2) El bloque de deslizamiento se transforma en flujo de escombros mientras está en movimiento por los efectos del agua almacenada en el bloque de tierra deslizado o por el suministro de agua desde el exterior.
- 3) El colapso de una presa de deslizamiento genera repentinamente un flujo de detritos.

Un deslizamiento de tierra de gran escala que a menudo se denomina “avalancha de escombros o detritos” alcanza una gran distancia incluso si no se transforma en un flujo de detritos mientras está en movimiento. Muchas avalanchas de detritos se consideran fenómenos en camino a transformarse en flujos gigantes de detritos. Se detallan los tres mecanismos de iniciación:

3.2.3.3.1 Flujo de detritos debido a la erosión del lecho de quebradas

Los sedimentos se acumulan gradualmente debido al aporte de las paredes laterales en forma de desprendimientos de rocas y deslizamientos de tierra. Debido a que una quebrada es el camino de agua concentrada, el lecho de la quebrada probablemente será arrastrado por un flujo de agua a gran escala cuando llueva intensamente. A veces, un deslizamiento de tierra a pequeña escala ocurre por los efectos del aumento del contenido de agua y se licua mientras está en movimiento en la pendiente.

3.2.3.3.2 Flujo de detritos inducido por deslizamientos de tierra

Existen dos tipos de deslizamientos de tierra que se presentan con motivo de tormentas fuertes; el deslizamiento de tierra poco profundo (shallow landslide) de aproximadamente 1m a 2m de espesor y el profundo (deep-seated landslide) o avalancha de detritos de varias decenas de metros de espesor. Los deslizamientos de tierra poco profundos generalmente ocurren con la intensidad de lluvia más fuerte, mientras que los deslizamientos profundos a menudo ocurren después de que terminan las lluvias.

Deslizamiento de tierra poco profunda

El deslizamiento de tierra poco profundo contiene mucha agua en sí mismo y también se ve favorecido por una alta descarga de escorrentía. Por lo tanto, bajo las lluvias más intensas se transforma fácilmente en un flujo de escombros casi desde el instante en que inicia el movimiento. Luego, en la mayoría de los casos, los procesos de iniciación y desarrollo del flujo de escombros pueden analizarse mediante los métodos, dando un flujo de escombros como condición límite aguas arriba, cuyo hidrograma y otras características están predeterminadas por las características del deslizamiento. Debido a que el deslizamiento de tierra poco profundo

ocurre repentinamente, puede ser más fácil entender la razón por la cual un flujo de escombros tiene un frente claro similar a un agujero en lugar del caso del tipo de erosión de lecho.

Avalancha de detritos

(TAKAHASHI 2014) un deslizamiento de tierra profundo necesita un tiempo comparativamente largo antes de que el nivel del agua subterránea aumente lo suficiente como para hacer que el bloque de tierra sea inestable. Por lo tanto, a menudo ocurre más tarde que el momento de las precipitaciones más intensas y, para ese momento, es posible que la escorrentía alrededor del deslizamiento de tierra ya se haya reducido. Por lo tanto, el mecanismo de transformación en flujo de detritos sería completamente diferente al caso de un deslizamiento de tierra poco profundo. Un deslizamiento de tierra gigantesco puede transformarse en una avalancha de detritos que tiene una movilidad muy grande y después de la detención muchos bloques de tierra desgarrados que se originan en el cuerpo de la montaña (montículos de flujo) quedan esparcidos sobre el depósito. La transformación del deslizamiento a un flujo de detritos (Figura 16), debido que, al producirse el deslizamiento por el aumento de agua subterránea, se genera una capa licuada de las partículas de la superficie de falla (rico en vacíos) y el agua, en caso que la masa de tierra es densa (proporción de vacíos < 0.5) se licua difícilmente (Fleming et al. 1989). Pero es la masa de tierra es escasa, de repente se licua y el movimiento se acelera (IVERSON et al. 2000). El bloque de tierra empieza a alimentar la capa licuada (suelo y agua) lo que alarga su cola como un flujo de detritos, hasta consumir la parte saturada de agua del bloque de tierra.

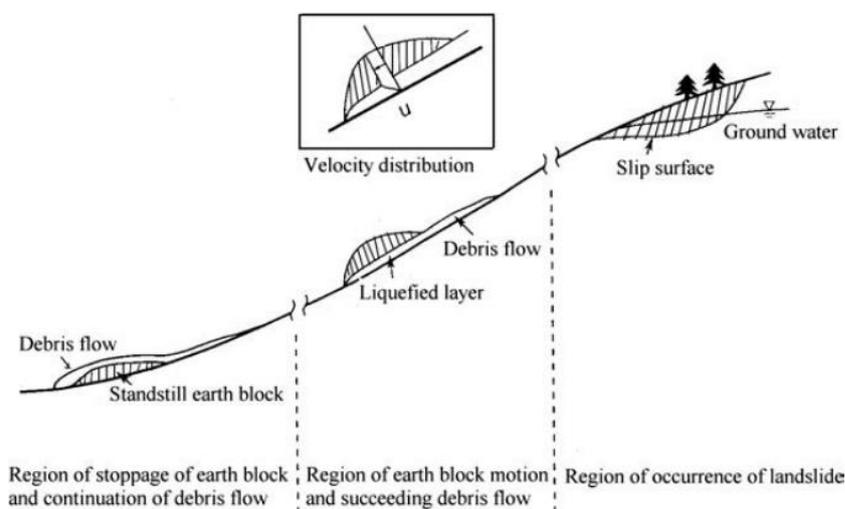


Figura 16 — Proceso de transformación del deslizamiento a un flujo de detritos

Extraído de: Debris Flow – Mechanics, Prediction and Countermeasures (Takahashi 2014)

3.2.3.3 Flujo de detritos e inundación inducida por el colapso de embalse

Un bloque de deslizamiento de tierra que está ligeramente licuado cae por casualidad en el cauce de un río y lo ahoga. A esto se le llama presa natural o presa de deslizamiento de tierra. Cuando se forma una presa natural en un canal de fuerte pendiente, el colapso de la misma provocará un flujo de escombros. Un deslizamiento de tierra a gran escala puede ahogar incluso un gran valle y la mayoría de las represas naturales así producidas fallan catastróficamente (rotura de presa) provocando grandes inundaciones aguas abajo.

Los derrumbes y deslizamientos de tierra generan una gran cantidad de tierra y escombros (detritos) que son transportados río abajo por la escorrentía causada por lluvias extremas para formar flujos de detritos a gran escala; luego, los flujos de detritos bloquean los ríos y finalmente forman inundaciones que rompen presas, es decir, una cadena de peligro desencadenada por los flujos de escombros (CHEN et al. 2022). Se puede dar el mecanismo del bloqueo de ríos, la falla de presas por flujo de detritos y la cadena de peligros desencadenada por los flujos de detritos (Figura 17).

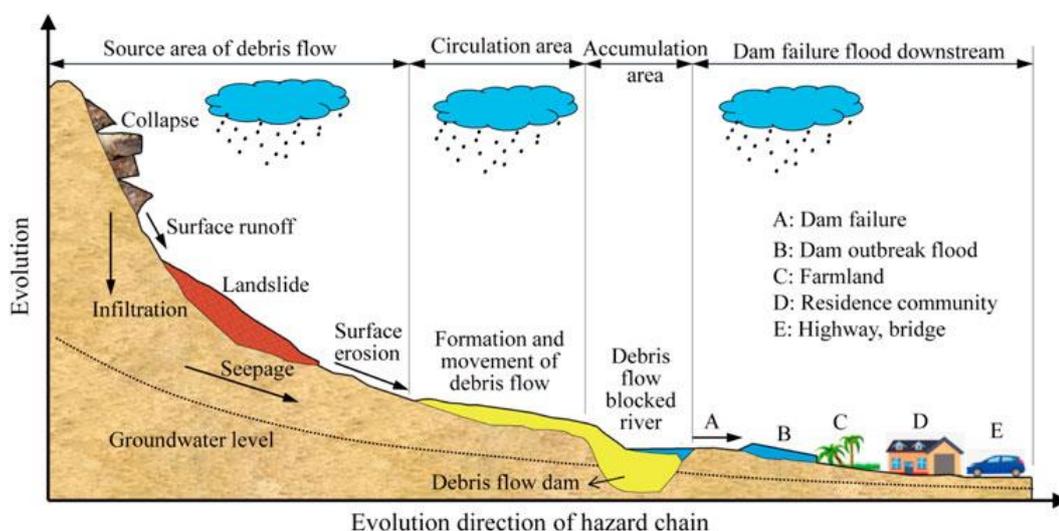


Figura 17 — Diagrama de la evolución de la cadena de peligro

Extraído de: Review of investigations on hazards chains triggered by river-blocking debris flows and dam-break floods (Chen et al. 2022)

3.2.4 Susceptibilidad

El índice de susceptibilidad da un resultado relacionado con la ocurrencia del flujo de detritos. Las metodologías para la determinación de la susceptibilidad están agrupadas en base al análisis geomorfológico, técnicas de tratamiento de datos y aproximaciones determinísticas. Los primeros dos son usados comúnmente en análisis de peligros regionales, mientras que el último en estudios detallados (BAEZA y COROMINAS 2001).

3.2.4.1 Metodologías de análisis de susceptibilidad

Se deben seleccionarse métodos adecuados para una definición de análisis óptima para diferentes escalas del mapeo, manteniendo al mismo tiempo una relación costo/beneficio aceptable (VAN WESTEN, VAN ASCH y SOETERS 2006). Por ello, se desarrolló una descripción general de los diversos tipos de análisis de peligro por deslizamiento de tierra y sus respectivas recomendaciones (Tabla 6) para su uso en tres escalas más relevantes (SOETERS y VAN WESTEN 1996).

Tipos de modelos de deslizamientos de tierra

(REICHENBACH et al. 2018) recopila los principales modelos para el análisis de la susceptibilidad en deslizamientos de tierra, principalmente las variables temáticas más utilizadas son geología (geo-litológico, distancia a la falla, geo-estructural), hidrológico (río/cuenca de captación y distancia al río), cobertura de suelo (uso de suelo/cobertura, suelo, distancia a carreteras), morfológico (pendiente, aspecto, curvatura, elevación y geomorfología), entre otros (precipitación y geotécnico). También, los grupos de modelos (6) usados en la susceptibilidad, métodos estadísticos clásicos (36.5%), basado en índices (28.9%), aprendizaje automático “machine learning” (15.8%), red neuronal (8.3%), análisis de decisión multicriterio (7.9%) y otros (8.3%), de ellas los tipos de modelos (19) son los siguientes:

- Conjuntos difusos (fuzzy sets)
- Basado en árbol de decisión (tree based)
- Decisión multicriterio (multi-criteria decision)
- Red neuronal artificial (artificial neural network)
- Regresión logística (logistical regression)
- Basado en probabilidad (probabilistic based)
- Heurístico (heuristic)
- Bivariado (bivariate)
- Dempster – Shafer
- Basado en entropía (entropy based)
- Superposición de información (data overlay)
- Vector de soporte (support vector)
- Peso de la evidencia (weight of evidence)
- Regresión (regression)
- Análisis de factor de seguridad (analysis of FoS)
- Basado en el índice (index based)
- Regresión lineal (linear regression)
- Discriminante (discriminat)
- Otros

Así mismo, (PARK y LEE 2022) clasificó de la siguiente manera (Figura 18).

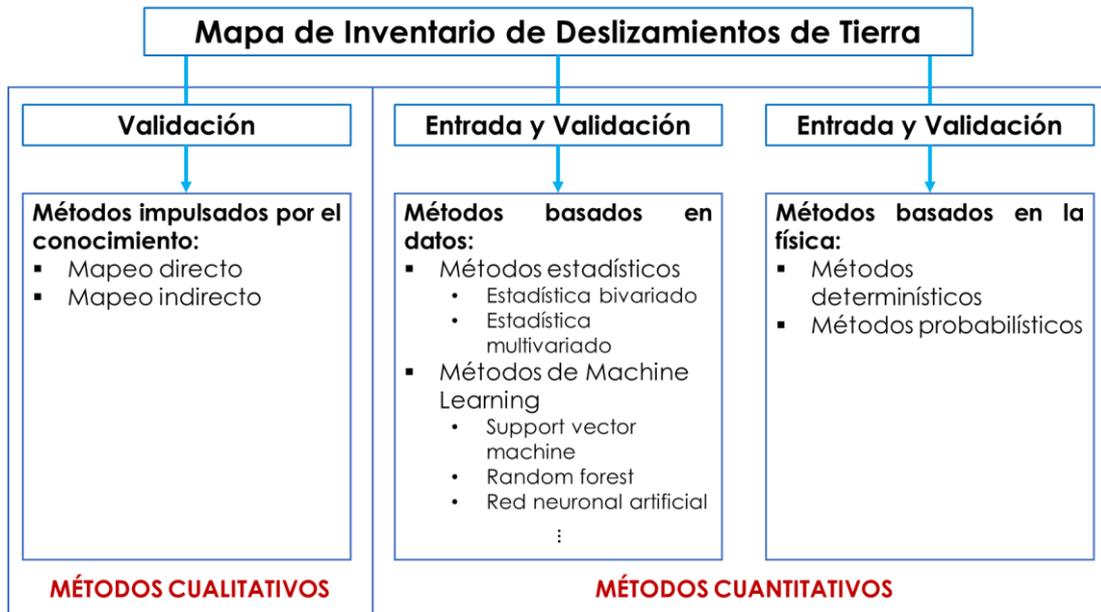


Figura 18 — Métodos de evaluación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra

Extraído de: A review of quantitative landslide susceptibility analysis methods (Park y Lee 2022)

Tabla 6 — Técnicas de análisis en relación de escalas por movimientos de masas

Tipo de análisis	Técnica	Características	Escala de uso recomendada		
			Regional (1:100 000)	Media (1:25 000)	Grande (1:10 000)
Inventario	Análisis de distribución del deslizamiento	Análisis de la distribución y clasificación de los deslizamientos	Si ^a	Si	Si
	Análisis de la actividad del deslizamiento	Análisis temporal de cambio en el patrón de deslizamientos	No	Si	Si
	Análisis de la densidad del deslizamiento	Cálculo de la densidad del deslizamiento en unidades del terreno o como un mapa de curvas de nivel	Si ^a	No	No
Análisis heurístico	Análisis geomorfológico	Usar la opinión de expertos en campo para la zonificación	Si	Si ^b	Si ^b
	Combinación cualitativa de mapas	Usar el criterio de los expertos sobre los pesos de los parámetros de mapas	Si ^c	Si ^b	No
Análisis estadístico	Análisis estadístico bivariado	Calcular la importancia de la contribución del factor de combinación	No	Si	No
	Análisis estadístico multivariado	Calcular la fórmula de predicción de los datos de la matriz	No	Si	No
Análisis determinístico	Análisis de factor de seguridad	Aplicación hidrológica y modelos de estabilidad de pendientes	No	No	Si ^b
<p>^a Solamente con datos confiables de la distribución de deslizamientos, el mapeo estará fuera de una relación costo beneficio.</p> <p>^b Fuertemente soportada por otras técnicas cuantitativas, se obtiene un nivel aceptable de objetividad.</p> <p>^c Si solamente datos confiables existen en la distribución espacial de los factores de control de deslizamientos.</p>					

Extraído de: Slope instability recognition analysis, and zonation (Soeters y Van Westen 1996).

Inventario de movimiento de masas

Para el inventario de deslizamientos se cuenta a través del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres (SIGRID) del CENEPRED, provisto por los formularios de la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) en la plataforma del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD), del periodo 2003 – 2023, del INDECI.

Para ello se desarrollará a través de los siguientes métodos:

- Análisis de distribución de deslizamientos: inventario de deslizamientos recientes.
- Análisis de la actividad de deslizamientos: inventario de deslizamientos antiguos, DEM, infraestructura actual y antigua, uso de suelos.
- Análisis de densidad de deslizamientos: unidades de la cartografía, geomorfología y registro de deslizamientos recientes.

El inventario de deslizamientos logra dar una calibración acorde a un entorno, para su respectiva evaluación de susceptibilidad, estos registros muestran una mejor información si cuentan con la ubicación espacial, fecha del evento, intensidad. Esta información puede ser trabajada mediante SIG, debido a que pueden ser interoperables con mapas temáticos para su análisis.

Procedimientos

Según los procedimientos utilizados en la evaluación y elaboración de mapas de peligrosidad y susceptibilidad del terreno a los deslizamientos de laderas se dan en cinco metodologías:

- **Metodología Geomorfológica:** Basado en la determinación de la inestabilidad de laderas mediante técnicas cartográficas y geomorfológicas. El grado de subjetividad es alto y depende de un buen análisis del experto evaluador (GARCÍA 2008). Se puede trabajar en escala regional, media y grande (SOETERS y VAN WESTEN 1996).
- **Metodología Semi - Cuantitativa o Heurístico:** Se basa en los conocimientos a priori de los factores que producen inestabilidad en laderas. Se ponderan y ordenan valores asumidos por el evaluador, lo cual provoca un inconveniente en su desarrollo, debido a su poca fiabilidad de los factores condicionantes y recae en la subjetividad. Trabaja en escala regional, media y grande (SOETERS y VAN WESTEN 1996). Cabe resaltar que esta metodología semicuantitativa son el método de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP, de sus siglas en inglés), la cual es aplicada en las Evaluaciones de Riesgo (EVAR) del CENEPRED.

- **Metodología Probabilística o Estadística:** Basado de las relaciones observadas entre cada factor y la distribución del deslizamiento actual y pasada (CARRARA et al. 1995). La confiabilidad y precisión depende de la calidad y abundancia de datos adquiridos (GARCÍA 2008). Su principal ventaja es la objetividad del resultado. Trabaja en escala media (SOETERS y VAN WESTEN 1996). El fundamento de análisis bivariante se basa en el cruce de mapas de variables y en el cálculo de densidad de movimientos de cada combinación (SEPÚLVEDA, PATIÑO y RODRÍGUEZ 2016)
- **Metodología Determinística:** Utilizada para el estudio de la estabilidad de una ladera o talud concreto. El modelo está basado en el equilibrio limite o modelos numéricos, determinando a través de información primaria del análisis geotécnico en laboratorios, con un grado de fiabilidad alto (GARCÍA 2008). Necesita la geomorfología, inventario, DEM, litología, geología, uso de tierra, infraestructura reciente, drenaje. Sin embargo, su desventaja es la baja idoneidad para zonificaciones rápidas y áreas extensas (SOETERS y VAN WESTEN 1996). Trabaja en escala grande.

Metodologías determinísticas

En los modelos determinísticos se cuenta con una gran variedad de combinaciones de programas computacionales las cuales determinan con mayor precisión zonas de peligro, de la gran cantidad de variantes se pueden mencionar los modelos hidráulicos (parámetros reológicos) tales como: HEC – RAS, IBER, FLO-2D, entre otros.

3.2.4.2 Factores condicionantes

La susceptibilidad está referida a la mayor o menos probabilidad de que un fenómeno ocurra en un determinado lugar, ello depende de factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno (CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN 2014).

Geomorfología. Estudia las formas superficiales de la tierra, que condicionan eventos de remoción de masa, estos son la topografía, pendiente, variación entre pendientes y altura. La morfología de laderas con alta pendiente (mayor a 25° en cabeceras de cuencas) dan condiciones a flujos de detritos, debido a la inestabilidad por su pendiente favoreciendo al deslizamiento por gravedad y que el escurrimiento de agua aumente y se reduzca su infiltración (HAUSER 2000).

Geología. Es la ciencia que se dedica a la comprensión de la tierra, mediante el estudio de los materiales que compone y búsqueda y comprensión de los mecanismos que actúan debajo y sobre la superficie de la Tierra (TARBUCK y LUTGENS 2005).

Las ocurrencias de flujos de detritos son frecuentes en aluviones y terrazas fluviales; coluviales o depósitos de taludes; suelos residuales derivados de granito y gneis; depósitos volcánicos piroclástico, como las cenizas, conglomerados y lahares; y sedimentaria o metamórfica, como son las areniscas, esquistos, pizarras, entre otros (KANJI et al. 1997).

Los depósitos coluviales – proluviales encima del estrato proluvial son principalmente roca solida fuentes de la ocurrencia de flujo de detritos.

Clima. Promedio del estado del tiempo, como as su vez una descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés, para periodos mayores a 30 años. Estas cantidades están respecto a variables de temperatura, precipitaciones y viento.

Cobertura vegetal. El efecto de la vegetación en la estabilidad de taludes puede clasificarse en términos generales como hidrológicos o de una naturaleza mecánica. Los factores mecánicos surgen de interacciones físicas de cualquier follaje o sistema radicular de la vegetación con la pendiente (LUKOSE KURIAKOSE et al. 2006).

Las áreas cubiertas de cultivos tienen mayor probabilidad de la ocurrencia de flujo de detritos, posteriormente las áreas cubiertas por pastizales y en menor probabilidad en zonas urbanas. Algunos modelos aplican conceptos de estabilidad de taludes (ARONICA et al. 2012).

3.2.4.3 Precipitación como factor desencadenante de flujo de detritos

La precipitación es uno de los factores principales para provocar deslizamientos, del mismo caso para flujo de detritos.

Los movimientos de masas (flujo de detritos) activados o desencadenados por precipitaciones o lluvias en suelos residuales con pendientes, estos se estabilizan naturalmente por una presión del agua en los poros (ORDOÑEZ 2019).

Umbrales de precipitación

Es necesario determinar los umbrales de precipitación desencadenante para la zona de estudio. Debido a que se integra a la susceptibilidad del lugar para la ocurrencia de flujo de detritos. Se determinan niveles de probabilidad de ocurrencia a movimientos en masa, ello se logra aplicando el registro del evento y la precipitación asociada.

3.2.4.4 Mapa de susceptibilidad

Los mapas de susceptibilidad representan la probabilidad de ocurrencia ante determinado evento (movimiento de masas). Representa la distribución espacial de los procesos potenciales, considerándose como una predicción espacial (ACOSTA 2006).

3.2.5 Topografía y cartografía

3.2.6 Hidrología

3.2.6.1 Curvas intensidad – duración – frecuencia IDF

Las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF) son curvas que resultan de la unión de puntos representativos de la intensidad media en diferentes intervalos de duración, correspondientes a un mismo periodo de retorno (TÉMEZ 1978).

La intensidad, se define como la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad de lluvia por unidad de tiempo (CHOW, MAIDMENT y MAYS 1994).

$$i = \frac{P}{T_d} \quad \text{Ecuación (01)}$$

Donde:

i Intensidad, expresado en milímetros por hora (mm/h);

P Profundidad de lluvia, expresado en milímetros (mm);

T_d Duración, expresado en horas (h).

Cuando solo se dispone de un pluviómetro en una estación, solo se podrá conocer la intensidad media en 24 horas. Esta información podría provocar errores por defecto, debido a que las precipitaciones de corta duración son más intensas (SEPÚLVEDA BELLO y PATIÑO FRANCO 2016).

3.2.6.2 Número de curva (CN)

El método del Número de Curva fue desarrollado en la década de 1950 por el USDA Soil Conservation Service, o “SCS” (Ahora el Natural Resources Conservation Service, “NRSC”)

El número de curva (CN) es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico de suelo.

(CHOW, MAIDMENT y MAYS 1994) los números de curva, se aplican para *condiciones antecedentes de humedad* (AMC, por sus siglas en inglés) normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), los números de curva equivalentes pueden calcularse de la siguiente manera:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad \text{Ecuación (02)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad \text{Ecuación (03)}$$

3.2.6.3 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo de viaje que recorre una gota de agua en la parte más alejada de la cuenca hasta que desfoga de la cuenca.

El cálculo de los tiempos de concentración es significativo para el desarrollo de los hidrogramas unitarios, debido a que el tiempo es igual a la duración de la precipitación en la cuenca (CHOW, MAIDMENT y MAYS 1994).

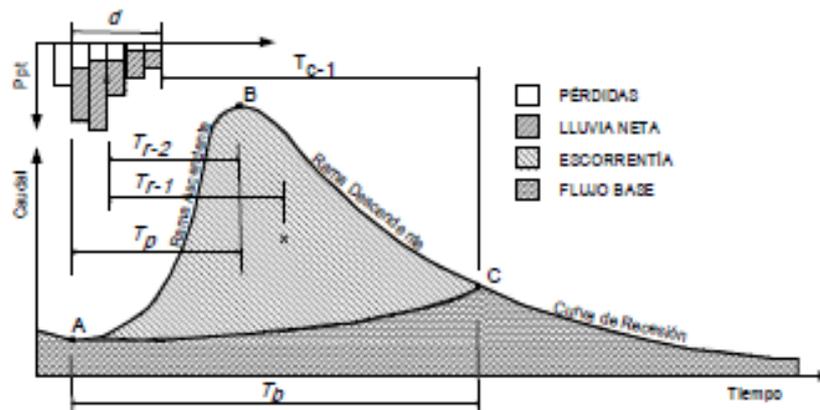


Figura 19 — Tiempos característicos en un hidrograma típico

Extraído de: Estimación del tiempo de concentración (Vélez, J)

Existen diversas formas de calcular el tiempo de concentración, de ellos se pueden mencionar los más usados: Temez, Kirpich, California Couverts Practice (CCP), Jhonstone y Cross, Giandotti, S.C.S., entre otros (Tabla 7).

Tabla 7 — Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

Método y fecha	Fórmula para t_c (minutos)	Observaciones
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385}$ <p>L: Longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (m) S: Pendiente promedio de la cuenca (m/m)</p>	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.

Practice (1942)	L: Longitud del curso de agua más largo (m) H: Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (m)	
Izzard (1946)	$t_c = \frac{525(0.0000276i + c)L^{0.50}}{S^{0.333}i^{0.667}}$ i: Intensidad de lluvia (mm/h) c: Coeficiente de retardo L: Longitud de la trayectoria de flujo (m/m)	Desarrollada experimentalmente en laboratorio por Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y áreas de césped; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 3800 .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C)L^{0.50}}{S^{0.333}}$ C: Coeficiente de escorrentía del método racional L: Longitud del flujo superficial (m) S: Pendiente de la superficie (m/m)	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente para flujo superficial en cuencas urbanas.
Ecuaciones de onda cinemática Morgali (1965) y Lindsley (1973)	$t_c = \frac{7L^{0.6}n^{0.6}}{I^{0.4}S^{0.3}}$ L: Longitud del flujo superficial (m) n: Coeficiente de rugosidad de Manning I: Intensidad de lluvia (mm/h) S: Pendiente promedio del terreno (m/m)	Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto I (intensidad de lluvia) como t_c son desconocidos, la superposición de una curva de intensidad – duración – frecuencia da una solución gráfica directa para t_c .
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{0.0136L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{S^{0.5}}$ L: Longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo (m) CN: número de curva SCS S: Pendiente promedio de la cuenca (m/m)	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adaptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 800 Ha; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67 \times$ retardo de la cuenca.

Extraído de: SCS Soil Conservation Service

3.2.6.4 Hietograma de diseño

De acuerdo al Manual Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los métodos hidrológicos modernos no solamente requieren del valor de lluvia o de la intensidad de diseño, sino de la tormenta (distribución temporal), ya que el método estudia dicha distribución temporalmente de las tormentas que se observaron (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2008).

Para el respectivo cálculo se utiliza el método de bloques alternos que permite obtener hietogramas a partir de curvas IDF para representar la distribución de la precipitación en una serie de n intervalos de tiempo sucesivos de duración de precipitación (CHOW, MAIDMENT y MAYS 1994).

3.2.6.5 Caudal líquido

Para determinar el caudal se realiza a través de datos históricos representativos (poca duración).

Si existen datos de aforo suficientes, realizando un análisis estadístico de caudales máximos instantáneos anuales para la estación más cercana al punto de interés. Se calculan los caudales para los periodos de retorno, usando distribuciones estadísticas (Log normal, Log Pearson III y Valor Extremo Tipo I Gumbell, entre otros) (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2008).

Cuando no existen datos de aforo, se utilizan datos de precipitación usando datos de entrada a una cuenca y que producen un caudal Q , se produce escorrentía superficial (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2008).

Hidrogramas sintéticos

Método del hidrograma sintético triangular del SCS

El Hidrograma Unitario propuesto del United States Soil Conservation Service (SCS) (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2008).

El SCS sugiere este hidrograma donde el tiempo está dado en horas y el caudal en $m^3/(s \cdot cm)$.

El volumen generado por la separación de la lluvia neta y abstracciones es propagado a través del río mediante el uso del hidrograma unitario.

El tiempo de recesión está dado por:

$$t_r = 1,67 \times T \quad \text{Ecuación (04)}$$

Donde:

t_r Tiempo de recesión;

T Periodo de retorno.

Debido a que el área bajo el Hidrograma Unitario es igual a una escorrentía de 1 cm, se obtiene:

$$q_p = \frac{2,08 \times A}{T_p} \quad \text{Ecuación (05)}$$

Donde:

q_p Caudal pico, expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s);

A Área de Drenaje, expresado en kilómetros cuadrados (Km^2);

T_p Tiempo de Ocurrencia del pico, expresado en horas (h).

Adicionalmente, se ha demostrado a través de estudio en varias cuencas, lo siguiente:

$$t_p = 0,6 \times t_c \quad \text{Ecuación (06)}$$

Donde:

t_p Tiempo de retardo (entre el centroide del hidrograma y el pico del caudal), expresado en horas (h);

t_c Tiempo de concentración de la cuenca, expresado en horas (h).

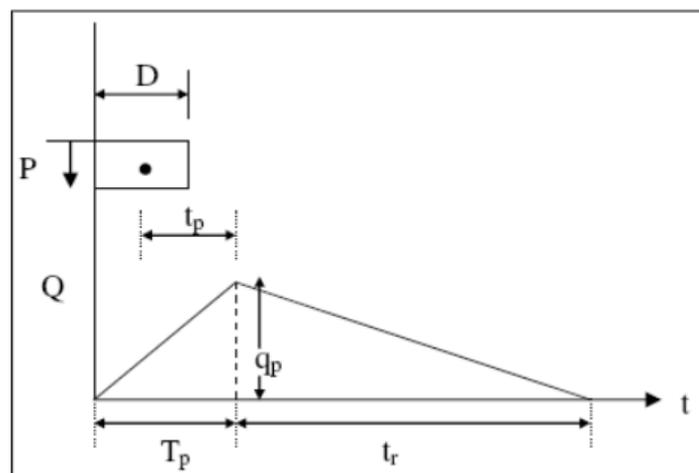


Figura 20 — Hidrograma unitario triangular del SCS

Extraído de: Hidrología aplicada (Ven te Chow)

Sistema de Modelamiento Hidrológico (HMS – Hydrologic Modeling System)

El Sistema de Modelamiento Hidrológico fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC – Hydrologic Engineering Centers) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de

los Estados Unidos (US Army Corps Engineers). Simula procesos hidrológicos completos en sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas (FELDMAN 2000). El modelo contiene una variedad de métodos de estimación y análisis hidrológico, tales como, infiltración del suelo, hidrogramas unitarios, enrutamientos.

Una de las aplicaciones más usadas e importantes es el modelo lluvia – escorrentía (Figura 21), que para el caso peruano es muy aplicable para diferentes eventos (tiempos de retorno), donde usa medidas de precipitación en mm, posteriormente en el modelamiento hidrológico se obtiene el caudal m^3/s .

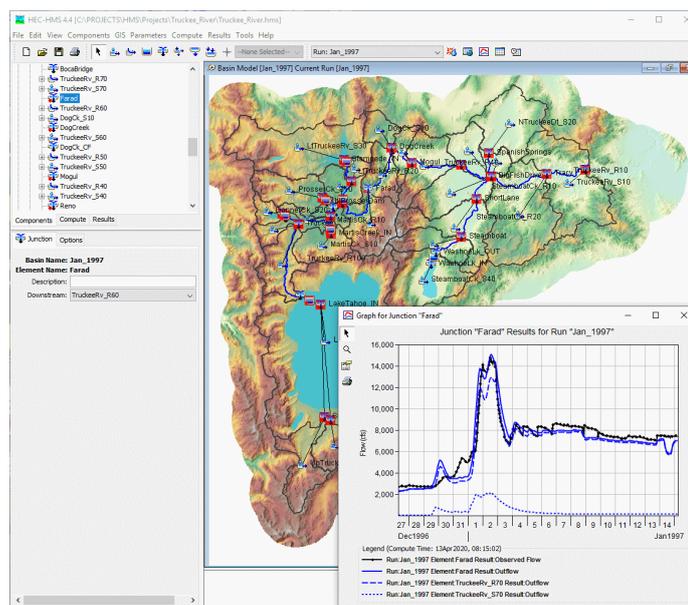


Figura 21 — Ventana del HEC - HMS de un modelo y su hidrograma

Extraído de: HEC – HMS, US Army Corps of Engineers

Simula procesos hidrológicos completos en sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas. El modelo contiene una variedad de métodos de estimación y análisis hidrológico, tales como, infiltración del suelo, hidrogramas unitarios, enrutamientos (Figura 22).

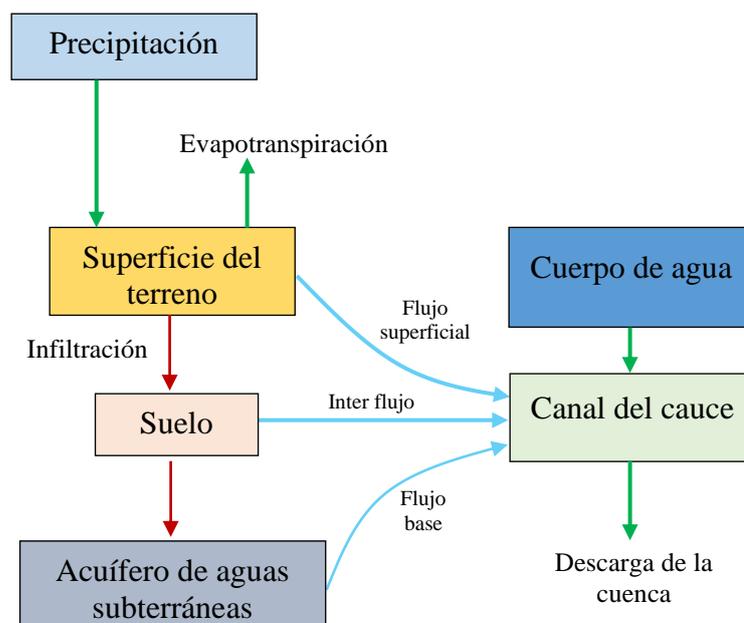


Figura 22 — Representación típica de la escorrentía de la cuenca

Extraído de: HEC – HMS, US Army Corps of Engineers

Una de las aplicaciones más usadas e importantes es el modelo lluvia – escorrentía, que para el caso peruano es muy aplicable para diferentes eventos (tiempos de retorno), donde usa medidas de precipitación en mm, posteriormente en el modelamiento hidrológico se obtiene el caudal m^3/s .

El programa tiene una amplia gama de capacidades para realizar simulaciones hidrológicas. Mucho de los métodos más comunes en ingeniería hidrológica se incluyen de una manera fácil de usar para representar bien la cuenca (BARTLES et al. 2021).

Con el modelo HEC – HMS, determina el comportamiento del escurrimiento de un río, producto de las precipitaciones, mediante el proceso de nodos hidrológicos e hidráulicos en la cuenca (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2008).

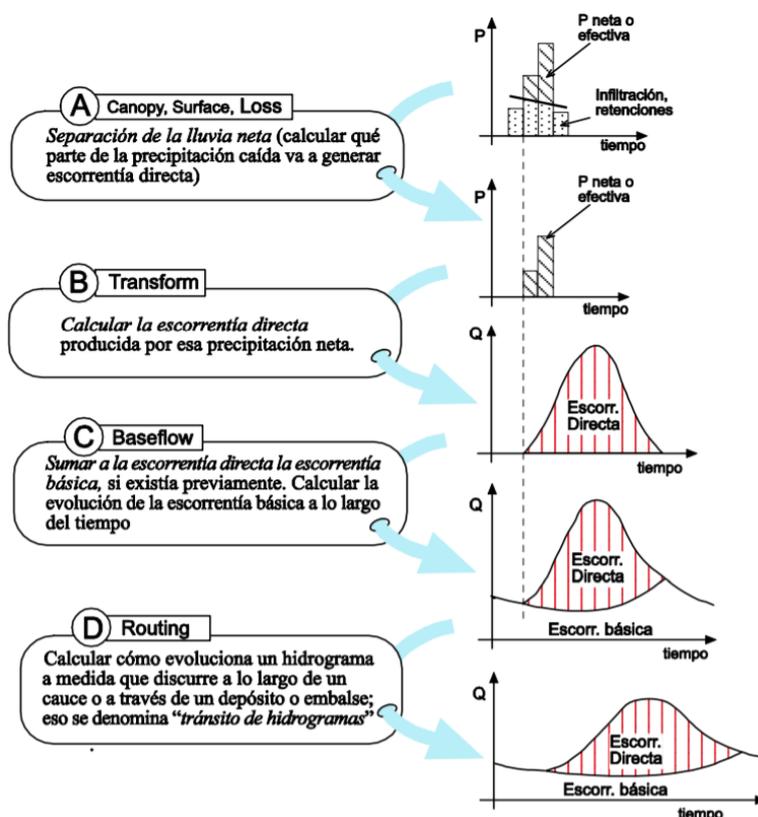


Figura 23 — Diversas fases del trabajo del HEC – HMS

Extraído de: Sanchez J. – Universidad de Salamanca

El software trabaja con tres módulos que definen integralmente el proyecto de simulación para la cuenca (FELDMAN 2000):

- Modelo de Cuenca (Basin Model), contiene parámetros y datos conectados para elementos hidrológicos. Los elementos son: Subcuenca, empalme o cruce, tránsito de avenidas, fuente, reservorios, retención (Sink) y distribución.
- Modelo Meteorológico, incluye data meteorológica.
- Especificaciones de Control, se incluye el parámetro temporal (fecha y hora de la simulación).

Para poder utilizar HEC – HMS se necesita lo siguiente (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2008):

- Características de precipitación, la intensidad producto de las curvas IDF, o ajustarse por otros procesos. Es importante considerar que las precipitaciones parciales deben introducirse en intervalos fijos.
- Características de la cuenca como son el área, longitud de cauce principal, forma, pendiente media del terreno, centro de gravedad, cobertura vegetal, tipos de precipitación, entre otros.

3.2.7 Geotecnia

3.2.7.1 Volumen de sólidos (tierra)

Se pueden determinar por los siguientes métodos, la cual dependerá del mecanismo de formación del detrito (agua y sólido), ya sea por volumen de sedimentos, aplicable para escarpes o estratos superficiales susceptibles (cuenca de detritos), o por volumen por superficie de falla (movimiento complejo).

Volumen de sedimentos (sedimentos arrastrados)

(DEGETTO et al. 2011) presentaron una metodología para la estimación de volúmenes de sedimentos que pueden ser movilizadados durante un flujo de detritos. La ecuación propuesta es la siguiente:

$$V_T = \sum_{i=1}^n (V_i) = \sum_{i=1}^n (A_{si} \times d_i) \quad \text{Ecuación (7)}$$

Donde:

V_T Volumen total, expresado en metros cúbicos (m³);

A_{si} Área, expresado en metros cuadrados (m²);

d_i Espesor del estrato, expresado en metros (m).

De la ecuación (7) tiene en cuenta el área y espesor del estrato susceptible a ser deslizado y se cuantifica el volumen como el área por el espesor. Las áreas susceptibles son valoradas respecto a la cobertura vegetal, cohesión del sedimento, tamaño de grano, área de localización entre otros (SEPÚLVEDA y PATIÑO 2016).

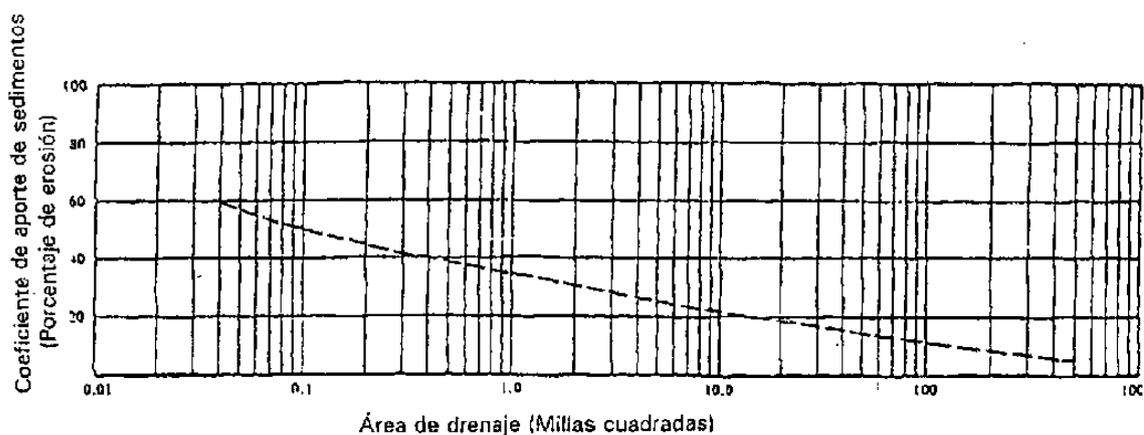


Figura 24 — Relación entre el área de drenaje y coeficiente de sedimentos

Extraído de: United States Department of Agriculture Soil Conservation Service (1983)

Con el valor del volumen calculado se puede determinar la concentración volumétrica (C_v), como un método simplificado. Otro método es aplicando el modelo HEC – HMS, a través de los modelos de “erosión y transporte de sedimentos”, esta contiene modelos de erosión (incluye modelos de sedimentos para flujos de detritos para cuencas sedimentarias o cuencas de detritos). (BRENNAN et al. 2021) investigó cómo los mecanismos de transporte activados en un arroyo de montaña durante una inundación de alta magnitud y evaluó la efectividad de tres enfoques morfométricos.

Volumen inicial por superficie de falla

El cálculo de la estimación de volumen inicial de falla por deslizamiento es uno de los aspectos iniciales del cálculo y desarrollo (incluyendo a flujos de detritos), como también entender los potenciales efectos de los elementos expuestos (viviendas, colegios, caminos, puentes, infraestructura, entre otros).

(MICHEL et al. 2020) compiló una serie de cálculos para estimar el volumen inicial de falla por deslizamiento, la cual las clasificó de acuerdo al tipo, principio, data necesaria y resultados (Tabla 8). A partir de los métodos de estimación de volúmenes, se ha agregado a esta tabla la metodología para la estimación del volumen aplicando los conceptos de estabilidad de taludes que ya han sido descritos, posteriormente se generará el volumen a partir del MDE aplicando un software (Civil 3D, de la compañía Autodesk).

Tabla 8 — Métodos para caracterizar superficies de falla y volúmenes

Método	Tipo	Principio	Data usada	Posibles resultados				
				LS	TS	S	V	D
Evaluación de la forma y/o los volúmenes de la superficie de falla del talud en función de las secciones transversales	Métodos clásicos	Sección transversal en 2D	MDE, mapa geológico	X	X	X	X	X
	Formas de perfil de superficie de falla estándar	Dibuja una log-espiral	Perfil topográfico	X				
Evaluación de volúmenes en función de secciones transversales, anchos, largos o superficies de deslizamientos	Formas de superficie de falla de medio elipsoide o paraboloides elípticos	Utiliza una forma geométrica	Área de superficie – profundidad máxima			*	X	
	Sección transversal áreas-volumen para flujos de detritos o deslizamientos canalizados	Cálculo sencillo del volumen utilizando varios perfiles	Ancho y fondo y largo máximo entre perfiles	*			X	*
	Relación superficie-volumen	Vincula empíricamente el área de superficie con el volumen	Área de superficie				X	
Sección transversal basada en morfología y splines (curvas)	Sección transversal empírica	Método gráfico empírico	Perfil detallado, pendiente de la superficie de falla a ambos lados de una sección transversal	*	X			X
	Sección transversal mediante cálculo spline	Calcula el perfil de la superficie de falla usando spline	Perfil detallado, pendiente de la superficie de falla a ambos lados de una sección transversal	*	X			X
Superficies de falla 3D basadas en morfología	Nivel de base local inclinado (Sloping local base level, SLBL)	Calcula mediante cálculo iterativo la superficie de falla con propiedades de una superficie cuadrática	MDE y contornos de la superficie de falla inicial	X	X	X	X	X
	Volúmenes de inestabilidades de rocas controladas por discontinuidades	Utiliza las estructuras planas para definir volúmenes	MDE y orientaciones y ubicaciones de estructuras	X	X	X	X	X
Métodos basados en desplazamientos superficiales o velocidades en sección transversal longitudinal	Longitud y rotación del escarpe	Utiliza la longitud de la cicatriz suponiendo una falla circular	Perfil topográfico preciso	X				X
	Usando el rastro de una cuña	Asume una estructura “graben” simple	Perfil del graben y su interpretación					X
	Usando una sección transversal equilibrada	Estima la profundidad asumiendo el cálculo de la transferencia de masa a lo largo de una sección longitudinal	Perfil longitudinal y desplazamiento a lo largo del mismo					X

	Velocidades superficiales o desplazamientos paralelos a la superficie de deslizamiento	Crea un perfil de superficie de falla basado en varios desplazamientos de superficie asumidos paralelos a los desplazamientos	Perfil longitudinal y varios vectores de desplazamiento a lo largo del mismo	X				X
Método basado en desplazamientos superficiales o velocidades en mapas	En 2D	Calcula la transferencia de masa en 2D para deducir la profundidad en cada prisma de material	MDE, vectores de desplazamiento 2D	X	X		X	X
	Usando el modelo elástico	Utiliza un modelo elástico para determinar la profundidad de la superficie de falla basal	MDE, mapa de desplazamiento de superficie	X	X	X	X	X
	Estimación de profundidad utilizando el supuesto de reología	Asume una ley reológica simple que vincula la profundidad y el desplazamiento de la superficie	MDE, mapa de desplazamiento de superficie	X	X	X	X	X
Validez e incertidumbre de los resultados	Superficies de falla aleatorias y su probabilidad de ser cinemáticamente factibles	Basado en las estadísticas de conjuntos de discontinuidades, proporciona simulaciones de superficies de falla escalonadas	Perfil topográfico, estadísticas de orientación, longitudes medias de traza y espaciado medio de los conjuntos de discontinuidades	X				X
	Probabilidad de alcanzar la superficie de falla usando una distribución triangular	Utiliza cualquier perfil y la interpretación más confiable y el perfil de profundidad máxima para dar una probabilidad de alcanzar una profundidad determinada	Perfil topográfico y superficie de falla más confiable y la superficie esperada más profunda	X	X			X
	Probabilidad de superar un volumen en función de la superficie	Utiliza la incertidumbre vinculada a la relación superficie-volumen para dar la probabilidad de obtener un volumen determinado	Área de superficie					X
Esta investigación	Superficie de falla (geotécnico – estabilidad de talud) y generación del medio elipsoide	Utiliza el radio de falla crítico, para adaptarse en un elipsoide, esta es extraído a la topografía 3D (TIN)	MDE, cohesión, ángulo de fricción interna, geofísica, propiedades de estratos y nivel freático	X	X	X	X	X
<p>LS: significa sección transversal longitudinal de la superficie de falla; TS: sección transversal de la superficie de falla; S: "topografía" de la superficie de falla; V: volumen y D: profundidad. 'X' significa "adecuado para" y '*' significa "puede usarse en algunos casos"</p>								

Extraído de: A review of methods used to estimate initial landslide failure surface depths and volumes (Michel et al. 2020)

Para esta investigación, se determinará a partir del cálculo consecutivo de:

- Estabilidad de taludes (factor de seguridad y radio de falla)
- Estimación del volumen inicial de deslizamiento (superficie de falla elipsoidal)
- Desplazamiento del deslizamiento (run out).

3.2.7.1.1 Estabilidad de taludes

(DAS 2013) menciona que a la superficie del suelo expuesto que se sitúa en un ángulo con la horizontal se llamada talud sin restricciones, donde la pendiente puede ser natural o construida, el análisis de estabilidad de talud, implica la determinación y la comparación del corte desarrollado a lo largo de la superficie de ruptura más probable con la resistencia del suelo al corte.

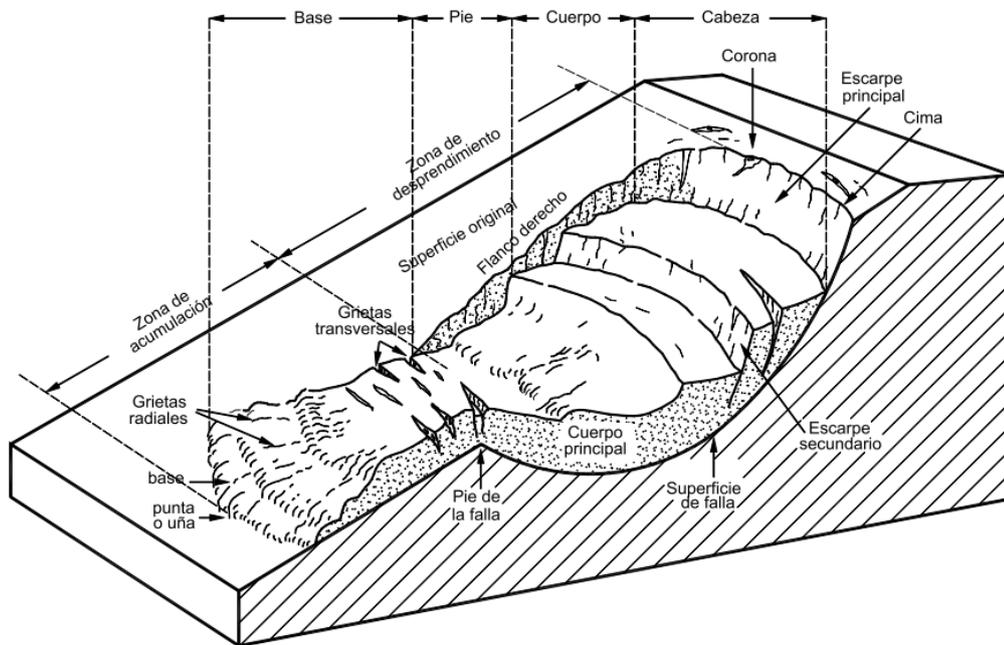


Figura 25 — Partes de un deslizamiento o falla de talud

Extraído de: Análisis geotécnico (Suarez 2012)

Factor de seguridad

Está definido como:

$$FS_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad \text{Ecuación (8)}$$

Donde:

FS_s Factor de seguridad con respecto a la resistencia;

τ_f Resistencia media del suelo al corte;

τ_d Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla.

(LAMBE y WHITMAN 2012) la relación entre el valor del FS_s y la estabilidad del talud es como sigue:

$FS < 1$, talud inestable; el talud ante estas condiciones puede sufrir deslizamientos o roturas.

$FS = 1$, condición límite de estabilidad asociada a una inminente rotura.

$FS > 1$, se considera talud estable, cuanto mayor sea el factor de seguridad, menor será la posibilidad de que el talud sufra rotura cuando es sometido a condiciones críticas.

La resistencia al corte de un suelo, compuesto de dos componentes, cohesión y la fricción del suelo, se expresa de la siguiente manera:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

c' Cohesión;

ϕ' Ángulo de fricción de drenado;

σ' Esfuerzo normal efectivo en la superficie potencial de falla.

Similar manera, se puede definir de la siguiente forma:

$$\tau_d = c_d' + \sigma' \tan \phi_d' \quad \text{Ecuación (10)}$$

Donde:

c_d' Cohesión eficaz;

ϕ_d' Ángulo de fricción que se desarrollan a lo largo de la superficie potencial de falla.

(ABRAMSON et al. 2012) establece que para conocer el aspecto de la relación para diferenciar entre las superficies de rotación y de traslación, es la siguiente:

Deslizamiento rotacional: $0.15 < \frac{D}{L} < 0.33$ Ecuación (11)

Deslizamiento traslacional: $\frac{D}{L} < 0.10$ Ecuación (12)

Donde:

D Profundidad de la superficie de falla (diagonal);

L Longitud de la superficie de falla (diagonal).

Falla de talud

La falla de taludes generalmente ocurre de dos maneras. La primera es por deslizamiento del talud, originado por cambios en las fuerzas gravitacionales a las que está sometido el suelo, dicho deslizamiento, puede ser desde una falla local de poca profundidad hasta una falla de pie a la cual involucra una superficie mucho mayor.

El segundo caso es por pérdida de resistencia al corte del suelo cuando existen presiones de poros excesivas por saturación del geomaterial.

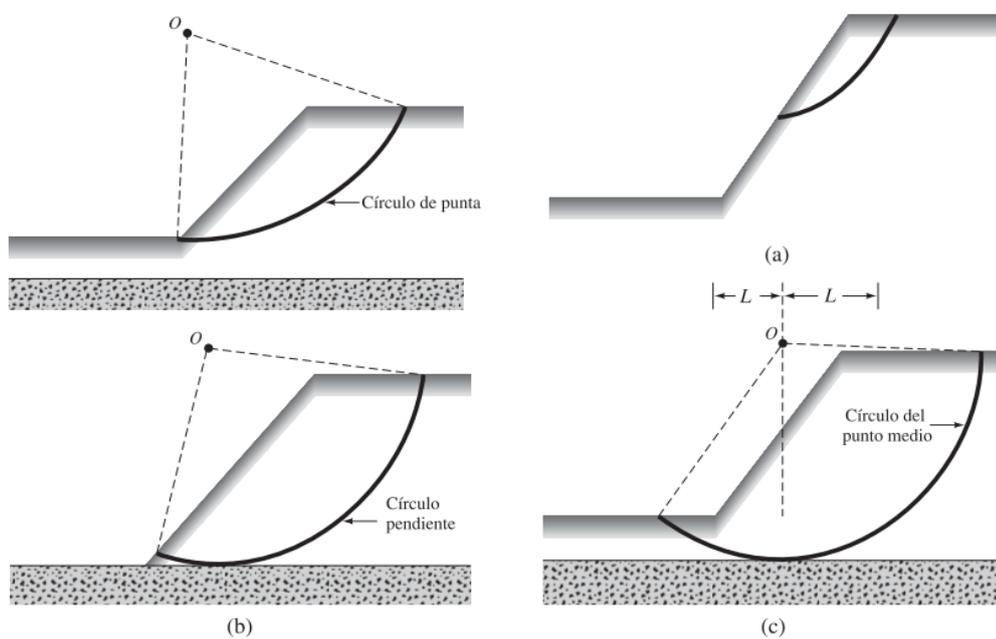


Figura 26 — Modos de falla de un talud finito

Nota: (a) falla de talud, (b) falla superficial de talud, (c) falla de base

Extraído de: Fundamentos de ingeniería geotécnica (Das 2013)

Un elemento de suelo involucrado en un deslizamiento de tierra comúnmente pasa por una etapa previa a la falla, una falla por corte y una etapa posterior a la falla (TERZAGHI et al., 1996; LOCAT y LEROUEIL, 1997). La superficie potencial de falla, muestra cuanto se deslizará, esto ocurre por etapas del deslizamiento, donde S_u es la resistencia al corte no drenado, S_r es la resistencia al corte remodelado y F el factor de seguridad (KLUGER 2017).

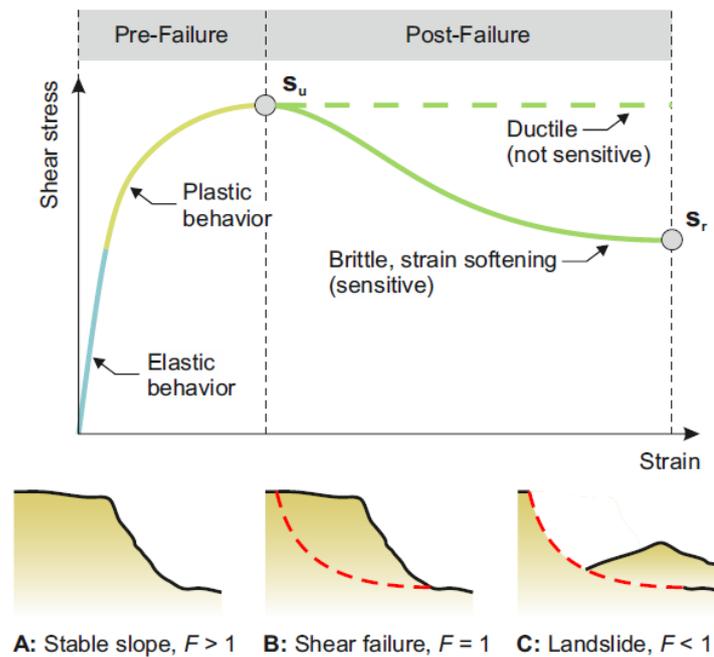


Figura 27 — Etapas de falla de deslizamientos de tierra

Extraído de: Failure mechanisms and mobilization processes of coastal landslides in sensitive soils (Kluger 2017)

Estimación del volumen inicial de falla por deslizamiento

El cálculo de volumen de deslizamiento es determinado por medio de la superficie de falla (estabilidad de taludes), se determina el radio de la circunferencia de falla, pues esta se debe acercar a un semi elipsoide de acuerdo a la determinación de la geometría del volumen de deslizamiento y superficie de falla, constituido por su eje mayor o largo, eje menor o ancho, ángulo del talud y profundidad (Figura 28).

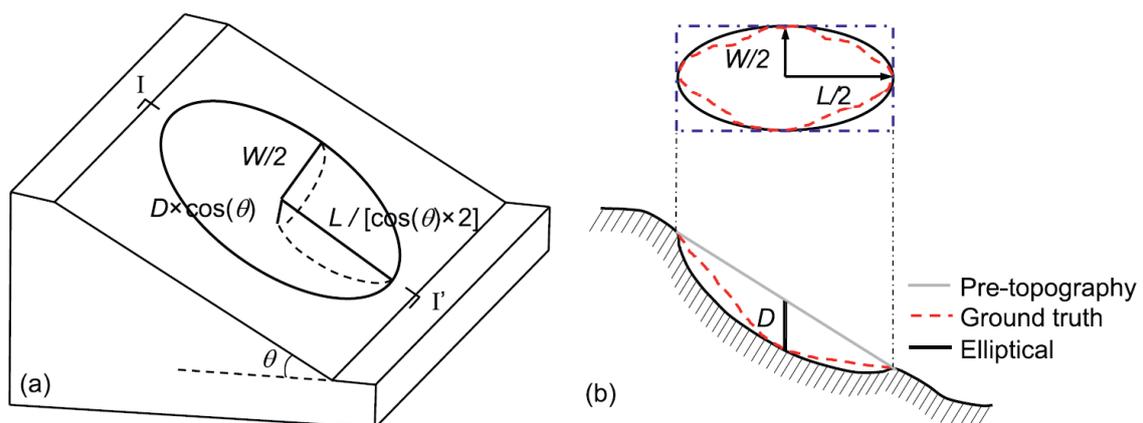


Figura 28 — Esquema de la superficie de falla elipsoidal

Nota: (a) diagrama 3-D, (b) perfil longitudinal I-I' y proyección horizontal.

Extraído de: Modificado de (Cruden y Varnes 1996) y realizado por (Ju, Zhang y Xiao 2023)

El ancho del deslizamiento (eje menor del semi elipsoide) está asociado con el largo del deslizamiento (ORRIS y WILLIAMS 1984), esto fue realizado con deslizamientos ocurridos en los montes de Santa Clara, EE. UU (Figura 29).

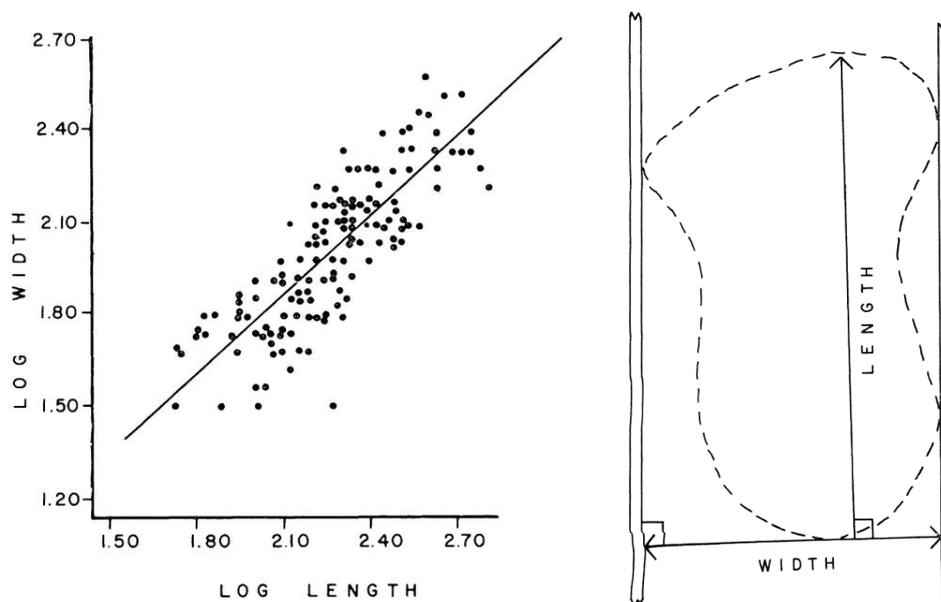


Figura 29 — Relación entre ancho y largo de deslizamientos

Nota: Dispersión logarítmica de deslizamientos ocurridos (izquierda), dimensiones largo – ancho de deslizamientos (derecha)

Extraído de: Landslides length-width ratios as an aid landslide identification and verification (Orris & Williams, 1984)

La relación del ancho y largo de deslizamientos está determinada por la siguiente expresión.

$$\log Y = 0.046 + 0.866 \times \log X \quad \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

X Largo del deslizamiento;

Y Ancho del deslizamiento.

Volumen inicial

A partir de la determinación de la geometría de la superficie de falla (tridimensional), existe una serie de metodologías para el cálculo de volumen (Tabla 8), en función de secciones transversales, anchos, largos o superficies de deslizamientos, se puede mencionar las siguientes:

(WP/WLI 1990; CRUDEN y VARNES 1996), el volumen de liberación es

$$V_{re} = \frac{1}{6} \pi \times D_r \times w \times L_r = \frac{2}{3} A_s \times D_r = \frac{2}{3} A_s \times D_r = \frac{2}{3} \frac{A_h}{\cos \beta} \times D_r \approx \frac{2}{3} A_h \times z_{max} = \frac{1}{6} \pi \times w \times L_{rh} \times z_{max} \quad \text{Ecuación (14)}$$

También determinó el volumen de masa desplazada o depositada

$$V_{de} = \frac{1}{6}\pi D_d \times W_d \times L_d = ce \times V_{re} = \frac{4}{3}V_{re} = \frac{2}{9}\pi \times D_r \times w \times L_r \quad \text{Ecuación (15)}$$

(DEWITE y DEMOULIN 2005)

$$V_{ep} = \frac{1}{8}\pi \times w \times L_r \times D_r = \frac{1}{2}A_s \times D_r = \frac{1}{2} \frac{A_h}{\cos \beta} \times D_r \approx \frac{1}{2}A_h \times z_{max} = \frac{1}{8}\pi \times w \times L_r \times z_{max}$$

Ecuación (16)

Donde:

V_{re}	Volumen del semielipsoide definido por la superficie de falla inicial;
V_{de}	Volumen de la “masa desplazada” o del “depósito” mediante medio elipsoide;
V_{ep}	Volumen del paraboloido elíptico definido por la superficie de falla inicial;
D_r	Profundidad máxima de la superficie de ruptura perpendicular a la pendiente y medio eje del elipsoide o profundidad del paraboloido elíptico;
w	Ancho de la superficie de falla del deslizamiento y eje del elipsoide o ancho del paraboloido elíptico;
$L_r (L_{rh})$	Longitud de la superficie de ruptura a lo largo de la pendiente y eje del elipsoide o longitud del paraboloido elíptico (proyectado horizontalmente);
A_s	Superficie a lo largo de la pendiente, $A_s = \pi \times w \times \frac{L_r}{4}$;
A_h	Área de superficie horizontal de un deslizamiento de tierra (proyectado);
z_{max}	Espesor vertical máximo del deslizamiento de tierra calculado a partir de una línea recta que une el escarpe superior y el pie de la superficie de falla inicial o la profundidad vertical esperada de la superficie de falla más profunda, $z_{max} \approx \frac{D_r}{\cos \beta}$;
W_d	Ancho del depósito y eje del elipsoide;
L_d	Longitud del depósito a lo largo de la pendiente y eje del elipsoide o longitud del paraboloido elíptico;
β	Ángulo de pendiente promedio;
ce	Coefficiente de expansión.

(QARINUR 2015) determinó el volumen en función del desplazamiento (Tabla 9) del deslizamiento de tierra (L, run out), estimando un volumen promedio (V), máximo (V_{max}) y mínimo (V_{min}).

Tabla 9 — Estimación del volumen del deslizamiento promedio, máximo y mínimo

Tipo	Volumen promedio	Volumen máximo	Volumen mínimo
Movimiento en masa general	$V = 0.772H^{2.108}$	$V_{max} = 9.880H^{2.108}$	$V_{min} = 0.060H^{2.108}$
	Para: $3 m \leq H \leq 416 m$		

Extraído de: Landslide runout distance prediction based on mechanism and cause of soil or rock mass movement (Qarinur 2015)

Una de las metodologías propuesta es aplicada en el software Civil 3D, que permite realizar el movimiento de tierra (corte) para estimar el volumen del sólido de manera precisa, generándose a partir del alineamiento, ensamblaje, perfil y corredor. Esta genera un volumen entre la superficie inicial del terreno (antes del deslizamiento) y la superficie de falla.

3.2.7.1.2 Desplazamiento del deslizamiento (run out)

(QARINUR 2015) determinó el desplazamiento del deslizamiento (run out) en función de la altura de la pendiente (H), estimando desplazamientos promedios (L), máximo (L_{max}) y mínimo (L_{min}), según su tipología (Tabla 10) y por causa (Tabla 11).

Tabla 10 — Estimación del desplazamiento del deslizamiento de tierra (tipología)

Tipo	Desplazamiento promedio	Desplazamiento máximo	Desplazamiento mínimo
Movimiento en masa general	$L = 1.066H^{1.093}$	$L_{max} = 3.138H^{1.093}$	$L_{min} = 0.364H^{1.093}$
	Para: $4 m \leq H \leq 220 m$		
Deslizamiento rotacional	$L = 1.346 + 1.788H$	$L_{max} = 77.055 + 1.788H$	$L_{min} = -74.362 + 1.788H$
	Para: $5 m \leq H \leq 200 m$		
Deslizamiento traslacional	$L = -3.88 + 1.578H$	$L_{max} = 51.317 + 1.578H$	$L_{min} = -59.075 + 1.578H$
	Para: $4 m \leq H \leq 220 m$		
Flujo de detritos	$L = 0.682H^{1.29}$	$L_{max} = 2.328H^{1.29}$	$L_{min} = 0.233H^{1.29}$
	Para: $17 m \leq H \leq 185 m$		
Caída de rocas	$L = 2.223H^{0.897}$	$L_{max} = 5.665H^{0.897}$	$L_{min} = 0.944H^{0.897}$
	Para: $5 m \leq H \leq 126 m$		

Extraído de: Landslide runout distance prediction based on mechanism and cause of soil or rock mass movement (Qarinur 2015)

Tabla 11 — Estimación del desplazamiento del deslizamiento de tierra (causa)

Causa	Desplazamiento promedio	Desplazamiento máximo	Desplazamiento mínimo
Lluvia intensa	$L = 1.267H^{1.027}$	$L_{max} = 3.378H^{1.027}$	$L_{min} = 0.478H^{1.027}$
	Para: $4\text{ m} \leq H \leq 220\text{ m}$		
Sismo	$L = 0.574H^{1.38}$	$L_{max} = 1.520H^{1.38}$	$L_{min} = 0.233H^{1.38}$
	Para: $10\text{ m} \leq H \leq 185\text{ m}$		

Extraído de: Landslide runout distance prediction based on mechanism and cause of soil or rock mass movement (Qarinur 2015)

(QARINUR 2015) de la misma manera determinó el desplazamiento del deslizamiento en función de la altura de la pendiente (H) y el ángulo de la pendiente (β), mostrando mayor precisión en relación a las anteriores (run out).

$$L = 1.448H^{1.062}(\tan \beta)^{-0.482} \quad \text{Ecuación (17)}$$

RAPID MASS MOVEMENT SIMULATION (RAMMS): AVALANCHE

Otro método es a través del modelamiento (propuesta), RAMMS (Simulación rápida de movimiento de masas) es un modelo de simulación numérica bidimensional de última generación para calcular el movimiento de movimientos de masa geofísicos (avalanchas de nieve, deslizamientos de rocas, flujos de escombros y deslizamientos de tierra poco profundos) desde el inicio hasta el final en terreno tridimensional (WSL INSTITUTE FOR SNOW AND AVALANCHE RESEARCH SLF 2022), el modelo RAMMS permite realizar el desplazamiento, velocidad, tirante y presión de impacto de una avalancha, es un modelo de simulación numérica de última generación para calcular el movimiento de movimientos de masa geofísicos:

- Avalanchas de nieve
- Deslizamiento de rocas
- Flujos de detritos
- Deslizamientos de tierra poco profundos

RAMMS emplea un modelo de fricción de fluido Voellmy, que se basa en el enfoque de Voellmy-Salm.

Modelo de fricción física

El modelo físico de RAMMS: AVALANCHE utiliza la ley de fricción de Voellmy. Este modelo divide la resistencia a la fricción en dos partes: una fricción de tipo Coulomb seco

(coeficiente μ , Mu) que escala con la tensión normal y una fricción de velocidad al cuadrado o fricción viscoso-turbulenta (coeficiente ξ , Xi). La resistencia de fricción S (Pa) modificada es la siguiente:

$$S = \mu N + \frac{\rho g \vec{u}^2}{\xi} + (1 - \mu)N_0 - (1 - \mu)N_0 e^{-\frac{N}{N_0}} \quad \text{Ecuación (18)}$$

Donde:

S Resistencia de fricción (Pa);

μ Coeficiente de fricción tipo Coulomb seco;

ξ Fricción viscoso-turbulenta;

N Tensión normal (Pa);

N_0 Límite elástico del material que fluye o esfuerzo de cedencia;

ρ Densidad;

g Aceleración gravitacional;

φ Ángulo de la pendiente;

\vec{u} Vector velocidad de la avalancha, $\vec{u} = (u_x, u_y)^T$;

h Altura del flujo.

Muchos materiales, como el barro y la nieve, no presentan una relación lineal simple ($\mu =$ constante). Para modelar el límite elástico, introducimos el parámetro N_0 . El límite elástico N_0 sirve para aumentar el esfuerzo cortante para presiones normales más altas. A presiones normales bajas (alturas de flujo pequeñas), la tensión de corte aumenta rápidamente de $S=0$ a $S= N_0$. La pendiente de la relación 'S vs N' permanece μ , cuando las presiones normales son grandes. Derecha: Si $\mu=0$, tenemos un comportamiento viscoplástico (Figura 30).

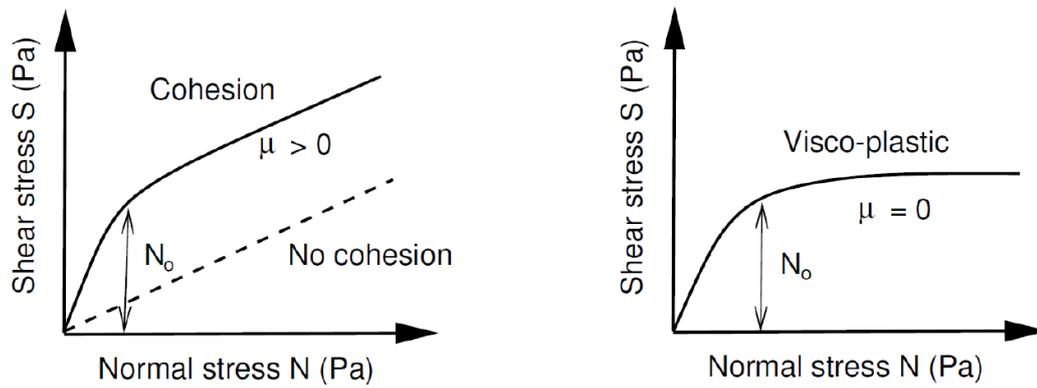


Figura 30 — Relación entre tensión normal y cortante

Extraído de: RAMMS: Avalanche – User Manual.

3.2.8 Hidráulica

De acuerdo al manual HEC-RAS (BRUNNER 2020), las metodologías aplicadas son unidimensional (1D) de flujo estable e inestable, como también las bidimensionales (2D) de flujo inestable.

Hidrodinámica de flujo inestable 2D (bidimensional):

Conservación de masa

Suponiendo que el flujo es incompresible, la forma diferencial inestable de la ecuación de conservación (continuidad) de masa es:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q \quad \text{Ecuación (19)}$$

Donde:

t Tiempo;

u, v Componentes de la velocidad en las direcciones x e y respectivamente;

h Profundidad o tirante del agua;

q Flujo fuente/sumidero.

Conservación de momento (Navier-Stokes)

La ecuación del momento vertical de Navier-Stokes se puede utilizar para justificar que la presión es casi hidrostática. En ausencia de gradientes de presión baroclínica (densidad variable), vientos fuertes y presión no hidrostática, una versión promediada verticalmente de la ecuación del momento es adecuada. Las ecuaciones de aguas poco profundas (water shallow equations) se obtienen.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x}$$

Ecuación (20)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y}$$

Ecuación (21)

Donde:

u, v	Velocidades en direcciones cartesianas [L/T];
g	Aceleración gravitacional [L/T ²];
z_s	Elevación de la superficie del agua [L];
$v_{t,xx}, v_{t,yy}$	Coefficientes de viscosidad de remolino horizontal en las direcciones x e y [L ² /T];
$\tau_{b,x}, \tau_{b,y}$	Esfuerzos cortantes inferiores en las direcciones x e y [M/L/T ²];
R	Radio hidráulico [L];
$\tau_{s,x}, \tau_{s,y}$	Esfuerzos del viento en la superficie en las direcciones x e y, respectivamente [M/L/T ²];
h	Profundidad del agua [L];
f_c	Parámetro de Coriolis [1/T];
p_a	Presión atmosférica [M/L/T ²].

3.2.8.1 Presa de barrera natural

La composición interna de los flujos de detritos y el proceso dinámico de bloqueo de los ríos son complejos. Existen grandes diferencias entre las represas inducidas por flujos de detritos, las inducidas por deslizamientos de tierra, y presas morrénicas. Las principales diferencias para estas presas se muestran (Tabla 12).

Tabla 12 — Comparación de diferentes tipos de presas de barrera natural

Categoría	Presa de flujo de detritos (debris-flow dam)	Presa de deslizamiento de tierra (landslide dam)	Presa morrénica (moraine dam)	Casos
Condiciones de formación	Formado por el flujo de detritos que bloquea el río	Formado por deslizamientos de tierra que bloquea el río	Formado por acumulación de morrenas y contiene hielo enterrado	—
Geometría de la presa	La altura de la presa y las pendientes aguas arriba y aguas abajo son más pequeñas que las de las presas de deslizamientos de tierra	La altura de la presa y las pendientes aguas arriba y aguas abajo son mayores que las de otras presas	La altura de la presa y las pendientes aguas arriba y aguas abajo son más pequeñas que las de las presas de deslizamientos de tierra	Mayoría
Contenido de agua de la presa	Saturación total	Contenido de agua natural	Contenido de agua natural	Mayoría
Contenido de arcilla de la presa	Alto	Medio	Bajo	Mayoría
Redondez de las partículas del material de presa	Alto	Medio	Bajo	Mayoría
Estructura de la presa	Clasificación de partículas densa y deficientes	Relativamente suelto y buena clasificación de partículas	Clasificación de partículas sueltas y deficientes	Mayoría
Permeabilidad de la presa	Bajo	Medio	Alto	Mayoría

Extraído de: Review of investigations on hazard chains triggering by river-blocking debris flows and dam-break floods (Chen et al. 2022).

Presa de deslizamiento de tierra (landslide dam)

Hay inventarios por deslizamientos de tierra que generaron represamiento de un río por deslizamientos de tierra en el mundo y del Perú realizados por (COSTA y SCHUSTER 1991; FAN et al. 2020), siendo estas desencadenados por lluvias 42% y 44%, seguido entre 29% y 21% por sismos, respectivamente por (COSTA y SCHUSTER 1991) y (FAN et al. 2020), otra proporción son deshielo, volcánicos, naturaleza diversa, actividades humanas y desconocidos. Por movimiento y tipo de material del deslizamiento de tierra, 33% y 27% por avalancha y desprendimiento de rocas, 22% y 24% por flujos y deslizamientos en sedimentos no

consolidados, 19% y 9% por flujo de detritos, respectivamente por (COSTA y SCHUSTER 1991) y (FAN et al. 2020), otras son avalancha de detritos, volcánicos, complejos y desconocidos.

3.2.8.1.1 Formación y estabilidad

Índices geomorfológicos

Varios investigadores han desarrollado índices geomórficos para evaluar cuantitativamente la probabilidad de formación de una presa y predecir su estado una vez formada empleando parámetros morfométricos (Figura 31 y Tabla 13); la mayoría de los cuales son fáciles y rápidos de recolectar, se establecen umbrales de estabilidad.

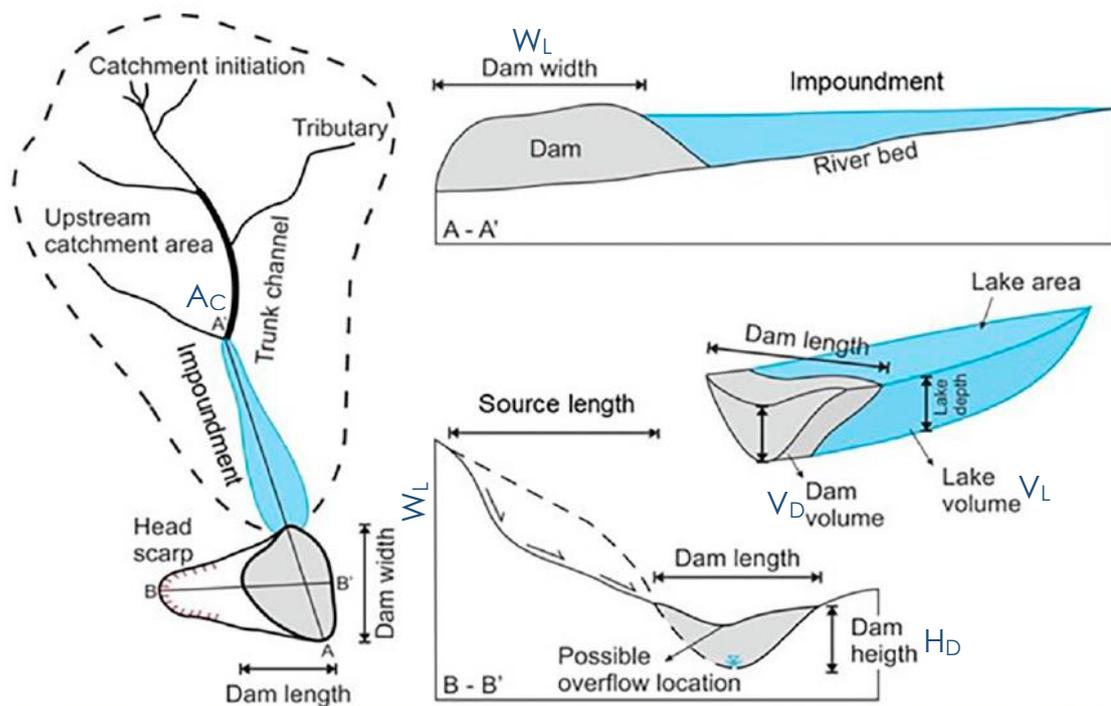


Figura 31 — Parámetros geométricos de una presa de deslizamiento y cuenca

Extraído de: Adaptado de The formation and impact of landslide dams (Fan et al. 2020).

Tabla 13 — Parámetros geométricos de una presa de deslizamiento y cuenca

Parámetros geomorfológicos:	
Altura de la presa de deslizamiento: Altura desde el lecho del río hasta el punto de desbordamiento – H_D	Densidad de deslizamiento: Densidad de masa deslizante – ρ_L
Ancho de la presa de deslizamiento: Ancho máximo de la presa (a lo largo del valle) – W_L	Tamaño de grano del deslizamiento: Tamaño de grano de los depósitos de deslizamientos de tierra – d_{30}
Volumen de la presa de deslizamiento: Volumen aproximado de depósito de la presa – V_D	Zona de captación: Área de la cuenca que tiene afluentes – A_c
Volumen de deslizamiento: Volumen aproximado de depósito del deslizamiento – V_{LS}	Caudal de agua – Q_p
	Pendiente del lecho del canal – S
Velocidad del deslizamiento: velocidad del deslizamiento de tierra durante el deslizamiento – v	Ancho del valle (río) – W_V
	Volumen del lago - V_L

Extraído de: The formation and impact of landslide dams (Fan et al. 2020).

Índices de formación de presas

Un deslizamiento de tierra puede formar una presa completa cuando llega al valle de un río depende de varios factores, incluida la velocidad del deslizamiento y los parámetros del depósito (volumen, espesor y forma; es decir, geometría de la presa resultante), topografía (ancho y forma del valle) e hidrología (caudal de descarga y capacidad de transporte) (FAN, HUANG, et al. 2014; FAN, ROSSITER, et al. 2014). Se ven índices que investigan la probabilidad de formación de presas (Tabla 14).

Tabla 14 — Índices de evaluación probabilística de bloqueo y generación de presa

Índices	Ecuación	Forma presa	
		Si	No
Relación de constricción anual (ACR)	v/W_V $\log(W_V/v)$	>100 <4.26	>6.88
Índice de morfoinvasión adimensional (DMI)	$(2\rho_L v^2 V_{LS}) / (\rho_w g h^2 W_V W_L)$	>1	<1
Índice de constricción adimensional (DCI)	$(v W_L H_L d_{30}) / (Q_p W_V)$	>0.002	
Índice de obstrucción morfológica (MOI)	$\log(V_{LS}/W_V)$	>4.6	<3 <3.08 (Perú)

g: aceleración de la gravedad, h: altura hidráulica, d_{30} : distribución acumulativa del tamaño de grano, Q_p : caudal ($T_r=5$ años), H_L : altura del deslizamiento, W_L : ancho del deslizamiento

Extraído de: The formation and impact of landslide dams (Fan et al. 2020).

Índices de estabilidad de presas

(FAN et al. 2020) una vez que se ha formado una presa, su estabilidad depende de la morfométrica (tamaño y forma de la presa y el sistema de valles), hidrogeológica (relativa al río, las áreas de captación y embalses, y a los sistemas climáticos) y de ingeniería geológica (propiedades geotécnicas de la presa), (Tabla 15).

Tabla 15 — Índices elaborados para categorizar represas estables e inestables

Índices	Ecuación	Estable	Incierto	Inestable
Índice de bloque (BI)	$\log(V_D/A_C)$	>5	4 – 5	<4
Índice de embalses (II)	$\log(V_D/V_L)$	>0	N/A	<0
Índice de bloqueo adimensional (DBI)	$\log(A_C H_D/V_D)$	<2.75 <2.43	2.75 – 3.08 2.43 – 3.98	>3.08 (Mundo) >3.98 (Italia)
Índice de retroceso (IS)	$\log(H_D^3/V_L)$	>0	0 – -3	<-3
Índice de cuenca (BI)	$\log(H_D^2/A_C)$	>3	N/A	<3
Índice de alivio (RI)	$\log(H_D/H_R)$	>-1	N/A	<-1
Índice de estabilidad de presas hidromórficas (HDSI)	$\log(V_D/(A_C S))$	>7.44 >8.07	5.74 – 7.44 5.26 – 8.07	<5.74 <5.26 (Perú)
$H_R = E_{\max} - E_{\min} - H_D$; donde E_{\max} y E_{\min} son las altitudes más alta y más baja en la cuenca, respectivamente; S: pendiente longitudinal local del lecho del canal.				

Extraído de: The formation and impact of landslide dams (Fan et al. 2020).

Implicaciones panorámicas de los deslizamientos de tierra que bloquean los ríos

(HEWITT 2002) son los efectos de los deslizamientos que bloquean los ríos en procesos amplios en un espectro de escalas espaciales y temporales (Figura 32). Los impactos de las represas de deslizamientos en el paisaje se pueden clasificar temporalmente en corto, mediano y largo plazo, y espacialmente como efectos aguas arriba y aguas abajo. Se describen cinco etapas que rastrean las respuestas del paisaje desde el momento de la construcción de la presa hasta su eliminación final (Tabla 16).

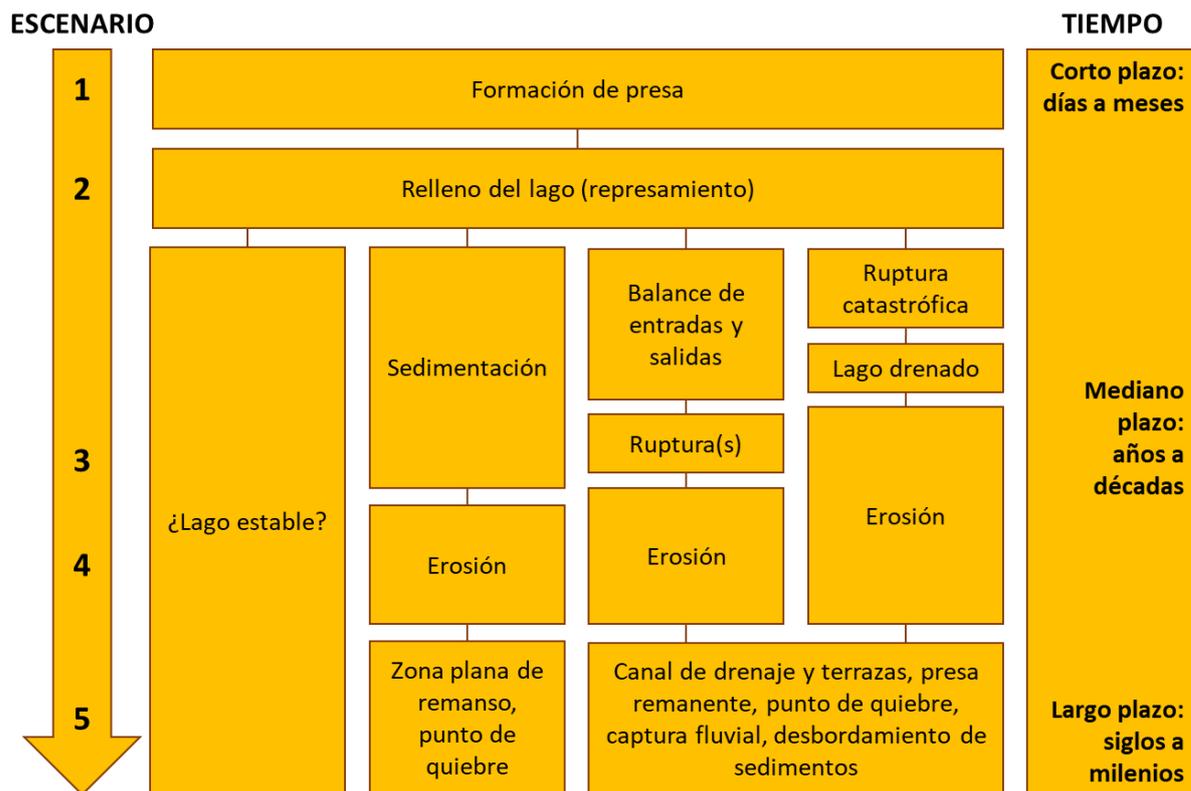


Figura 32 — Escalas de tiempo del proceso de presas y lagos de deslizamientos

Extraído de: The formation and impact of landslide dams (Hewitt 2002; Fan et al. 2020)

Tabla 16 — Etapas en la evolución de río interrumpido por deslizamientos

Escenario	Desarrollo principal	Accidentes geográficos y depósitos típicos
Escenario 1: Formación de presas de deslizamiento de tierra	Emplazamiento de deslizamientos de tierra y creación de una presa	Lóbulos de escombros de deslizamientos de tierra, montículos, crestas de presión, surcos, “brandung”; depósitos rudáceos o fragmentados.
Escenario 2: Embalse del lago	Agradación y accidentes geográficos constructivos aguas arriba de la presa, sumersión/inundación de áreas aguas arriba, sedimentación del lago, reducción de la descarga, cambios en el régimen de flujo, disminución del gradiente aguas arriba	Arroyos axiales, fluvio-lacustres, arroyos multicanal (trenzados, anastomosados); delta(s) y deltas en abanico, socavación y relleno de estratos cruzados, depósitos pantanosos dispersos; redistribución de sedimentos de grano fino por vientos de valle y tormentas de polvo; campos de dunas, loess, captura de arroyos. Lado del valle y afluentes; astrágalo, coluvión, abanicos de sedimentos, conos de flujo de escombros o detritos, ambientes de confluencia perturbados. En deslizamiento

		de tierra; puntos de quiebre, megaclastos, estanques, loess.
Escenario 3: Interrupción erosiva	Desbordamiento (overtopping) o tuberías (piping), inundación por desborde violento (outburst flood), excavación, zanjas y remoción del complejo de embalses, cambios en la morfología del canal, sedimentación aguas abajo	Aliviadero a través de la presa, abanicos segmentados, relleno de valle con zanjas, terrazas de erosión discontinuas; puntos de quiebre migratorios en el relleno de valles, llanuras aluviales. Sedimentos retrabajados y mezclados.
Escenario 4: Interrupción superpuesta	Incisión en el suelo anterior al deslizamiento de tierra, exhumación del relleno y canales del valle enterrados, restos cada vez más dispersos, más pequeños del complejo de embalses, aumento de la frecuencia de inundaciones	Terrazas de Strath, gargantas superpuestas (epigenéticas), enjambres de baches, formas terrestres “defendidas”, abanicos de lavado externo.
Escenario 5: Interrupción de la 'sombra'	Canales y estratos superpuestos en lecho de roca; restos de depósito menores en lugares protegidos, irregularidades de restos en vaguadas de ríos.	Sedimentos exhumados del fondo del valle previo al deslizamiento de tierra, gargantas epigenéticas. Puntos de ruptura migratorios en el lecho de roca.

Extraído de: The formation and impact of landslide dams (Hewitt 2002; Fan et al. 2020)

3.2.8.1.2 Rotura de presas

Modos de falla de presas

Las presas de deslizamientos de tierra y las estructuras artificiales de retención de agua, como las presas de tierra o de escollera (terraplenes), pueden fallar por desbordamiento, fallas de tuberías o taludes (KORUP 2002; SCHUSTER, LOGAN y PRINGLE 1992). La mayoría de las presas de deslizamientos de tierra que se formaron y fracasaron rápidamente en tiempos históricos se rompieron por desbordamiento (COSTA Y SCHUSTER 1991; PENG y ZHANG 2012). Los modos de falla (Figura 33) donde (A) es por desbordamiento (overtopping), (B) filtración/tubería (seepage/piping) a través de la presa, (C) tubería (piping) a través de los cimientos de la presa (observado sólo en presas artificiales), (D) falla de talud (slope failure) y (E) inventario de modos de falla y recurrencia.

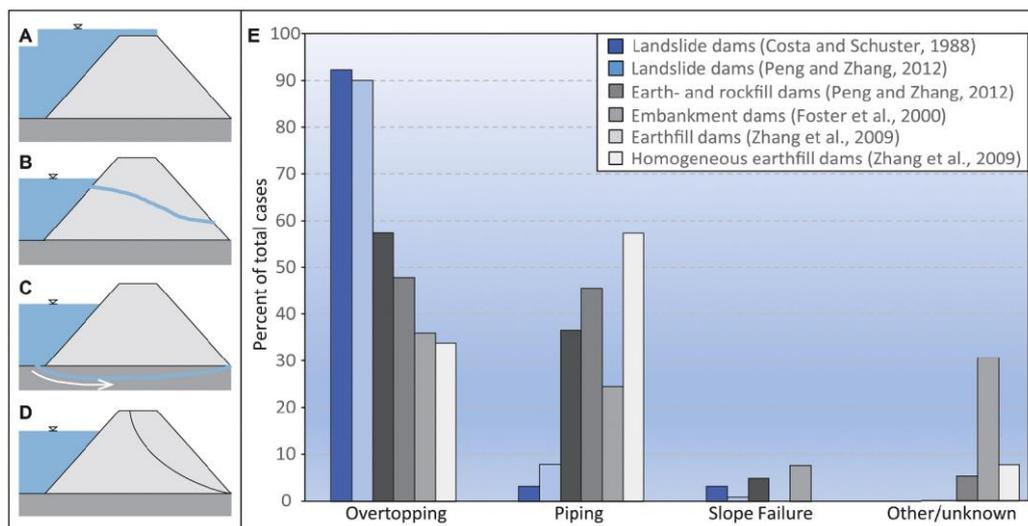


Figura 33 — Modos de falla de presas

Extraído de: The formation and impact of landslide dams (Fan et al. 2021)

Existe mayor recurrencia de falla de presa por deslizamiento en la modalidad desbordamiento (overtopping, A). (FAN et al. 2021) recopiló modelamientos y técnicas para estimar la inundación por rotura de presa (incluyendo HEC-RAS) y otras métricas de presas por deslizamientos de tierra.

Falla de la presa e inundación

Una vez generada la falla de la presa (de deslizamiento de tierra) según sea su modalidad de falla, procede a generar un desembalse del lago que se ha generado producto del represamiento, se desarrolla una combinación del material de la presa (sólidos de tierra) y agua, esto se debe a que la fuerza de arrastre del agua erosiona gradualmente el dique (desbordamiento de sedimentos), convirtiéndolo en un flujo de detritos, la descarga del flujo de ruptura disminuye con la caída del nivel del agua (ZHONG et al. 2020).

Parámetros de ruptura de presa

(PENG y ZHANG 2012) desarrollaron ecuaciones empíricas para los parámetros de rotura de presas de deslizamientos de tierra (Figura 34 y Tabla 18) incluyendo el caudal pico de salida para presas por deslizamiento de tierra. (ZHONG et al. 2018) desarrolló un método iterativo de diferencias finitas que estiman estos parámetros incluyendo la erosionabilidad del lecho de la falla.

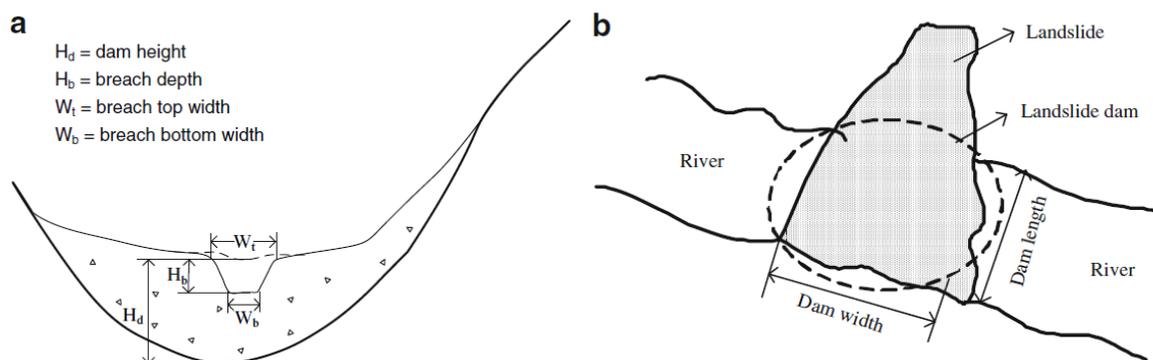


Figura 34 — Parámetros geométricos de una presa de deslizamiento de tierra

Nota: (a) sección transversal; (b) vista aérea.

Extraído de: Breaching parameters of landslide dams (Peng y Zhang 2012)

Caudal pico de salida

Se tienen métodos empíricos (Tabla 17) para la estimación del del caudal pico de salida (Q_p) por fallas de deslizamientos de tierra.

Tabla 17 — Ecuaciones empíricas para estimar el caudal pico de descarga

Autor	Caudal pico de salida (Q_p)
(Costa 1985)	$Q_p = 6.3H_d^{1.59}$ $Q_p = 672V_l^{0.56}$, V_l en 10^6m^3 $Q_p = 181(H_dV_l)^{0.43}$, V_l en 10^6m^3
(Evans 1986)	$Q_p = 0.72V_l^{0.53}$
(Costa y Schuster 1987)	$Q_p = 0.0158(PE)^{0.41}$ $PE = H_dV_l\gamma_w$ (Joule)
(Walder y O'Connor 1997)	$Q_p = 6.7d^{1.73}$ $Q_p = 1.60V_0^{0.46}$ $Q_p = 0.99(dV_0)^{0.40}$
H_d : Altura de la presa; V_l : Volumen del lago; γ_w : Peso específico del agua (9800 N/m^3); PE : Energía potencial; d : Descenso del nivel del agua; V_0 : volumen de agua liberada.	

Extraído de: En relación de la recopilación bibliográfica de cada autor

Otros métodos del cálculo del caudal pico producto de falla de la presa de deslizamiento de tierra son los computacionales o métodos numéricos tales como: HEC-HMS, HEC-RAS, IRIC, entre otros, ya que están necesitan parámetros de ruptura de presas para realizar el cálculo.

Tabla 18 — Parámetros de ruptura de presas por deslizamiento de tierra

Parámetro	Ecuación		Coefficiente de erosionabilidad α
Q_p Pico de descarga de salida	Variable completa	$\frac{Q_p}{g^{1/2}H_d^{5/2}} = \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{-1.417} \left(\frac{H_d}{W_d}\right)^{-0.265} \left(\frac{V_d^{1/3}}{H_d}\right)^{-0.471} \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right)^{1.569} e^\alpha$	Alto: 1.276 Medio: -0.336 Bajo: -1.532
	Simplificada	$\frac{Q_p}{g^{1/2}H_d^{5/2}} = \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{-1.371} \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right)^{1.536} e^\alpha$	Alto: 1.236 Medio: -0.380 Bajo: -1.615
H_b Profundidad de la brecha	Variable completa	$\frac{H_b}{H_r} = \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.882} \left(\frac{H_d}{W_d}\right)^{-0.041} \left(\frac{V_d^{1/3}}{H_d}\right)^{-0.099} \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right)^{0.139} e^\alpha$	Alto: -0.316 Medio: -0.520 Bajo: - ^a
	Simplificada	$\frac{H_b}{H_r} = \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.923} \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right)^{0.118} e^\alpha$	Alto: -0.500 Medio: -0.673 Bajo: - ^a
W_t Ancho superior de la brecha	Variable completa	$\frac{W_t}{H_r} = \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.752} \left(\frac{H_d}{W_d}\right)^{0.315} \left(\frac{V_d^{1/3}}{H_d}\right)^{-0.243} \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right)^{0.682} e^\alpha$	Alto: 1.683 Medio: 1.201 Bajo: - ^a
	Simplificada	$\frac{W_t}{H_r} = \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.911} \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right)^{0.271} e^\alpha$	Alto: 0.588 Medio: 0.148 Bajo: - ^a
W_b Ancho inferior de la brecha	Variable completa	$\frac{W_b}{H_d} = 0.004 \left(\frac{H_d}{H_r}\right) + 0.050 \left(\frac{H_d}{W_d}\right) - 0.044 \left(\frac{V_d^{1/3}}{H_d}\right) + 0.088 \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right) + \alpha$	Alto: 0.775 Medio: 0.532 Bajo: - ^a
	Simplificada	$\frac{W_b}{H_d} = 0.003 \left(\frac{H_d}{H_r}\right) + 0.070 \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right) + \alpha$	Alto: 0.624 Medio: 0.344 Bajo: - ^a
T_b Tiempo de ruptura	Variable completa	$\frac{T_b}{T_r} = \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.262} \left(\frac{H_d}{W_d}\right)^{-0.024} \left(\frac{V_d^{1/3}}{H_d}\right)^{-0.103} \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right)^{0.705} e^\alpha$	Alto: -0.635 Medio: -0.518 Bajo: - ^a
	Simplificada	$\frac{T_b}{T_r} = \left(\frac{H_d}{H_r}\right)^{0.293} \left(\frac{V_l^{1/3}}{H_d}\right)^{0.723} e^\alpha$	Alto: -0.805 Medio: -0.674 Bajo: - ^a

H_d : Altura de la presa; W_d : Ancho de la presa; V_d : Volumen de la presa; V_l : Volumen del lago; g : Aceleración de la gravedad; H_r : Unidad de altura de referencia (=1m); T_r : Unidad de tiempo de referencia (=1h); ^a: No hay registros disponibles para los casos de bajo coeficiente de erosionabilidad; e : número de Euler.

Extraído de: Breaching parameters of landslide dams (Peng y Zhang 2012)

Características de erosionabilidad

(SINGH 1996) en suelos no cohesivos, la erosionabilidad depende principalmente de la distribución del tamaño de los granos, la densidad y la forma de los granos. La principal resistencia a la erosión por agua la ofrece el peso sumergido del sedimento, es decir, las fuerzas de gravedad. Para suelos cohesivos, la erosionabilidad depende de la cantidad y el tipo de fracción de arcilla, la composición química del fluido de los poros, la materia orgánica y otros agentes cementantes, la distribución del tamaño de grano de la porción no cohesiva, la estructura del suelo, el pH, la temperatura, el contenido de agua y la composición química del fluido erosionante. El principal mecanismo de erosión cohesiva del suelo es complejo y se rige por la estructura del suelo y la naturaleza de la interacción entre los poros y los fluidos erosivos.

En suelos no cohesivos (como los materiales filtrantes), las grietas colapsan al saturarse. Sin embargo, en suelos cohesivos, las grietas permanecen abiertas debido a la falta de drenaje del material (SINGH 1996).

Erosionabilidad de la presa que indica la resistencia del material de la presa a la acción erosiva del flujo de agua. A menudo se utiliza una ecuación de esfuerzo cortante para describir la erosión del suelo (GRAF 1984).

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = K_d(\tau_b - \tau_c) \quad \text{Ecuación (22)}$$

$$\tau_b = \frac{\rho_w g n^2 Q_b^2}{A^2 R^{1/3}} \quad \text{Ecuación (23)}$$

$$\tau_c = \frac{2}{3} g d_{50} (\rho_s - \rho_w) \tan \phi \quad \text{Ecuación (24)}$$

$$K_d = 20075 e^{4.77 C_u^{-0.76}} \quad \text{Ecuación (25)}$$

Donde:

$\frac{d\varepsilon}{dt}$ Tasa de erosión del suelo ($\text{mm}^3/\text{m}^2\text{-s}$);

K_d Coeficiente de erosionabilidad del suelo ($\text{mm}^3/\text{N-s}$);

τ_b Esfuerzo cortante del lecho del agua (Pa);

τ_c Esfuerzo cortante crítico del suelo (Pa);

ρ_w Densidad del agua (1000 Kg/m^3);

ρ_w Densidad de masa del suelo (Kg/m^3);

- g Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²);
- n Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional), donde $n = \frac{d_{50}^{1/16}}{16}$;
- Q_b Caudal (m³/s);
- A Área (m²);
- R Radio hidráulico (m);
- d_{50} Tamaño medio del sedimento (m);
- ϕ Ángulo de fricción interna (°);
- e Proporción de vacíos (adimensional);
- C_u Coeficiente de uniformidad (adimensional), donde $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$.

3.2.8.2 Fluido no – newtoniano (reológico)

Los fluidos no – newtonianos son mezclas complejas y de comportamiento muy diferente a un flujo Newtoniano (agua limpia) (Figura 35), que comprenden los caos de flujos de detritos o escombros (CASTILLO 2006).

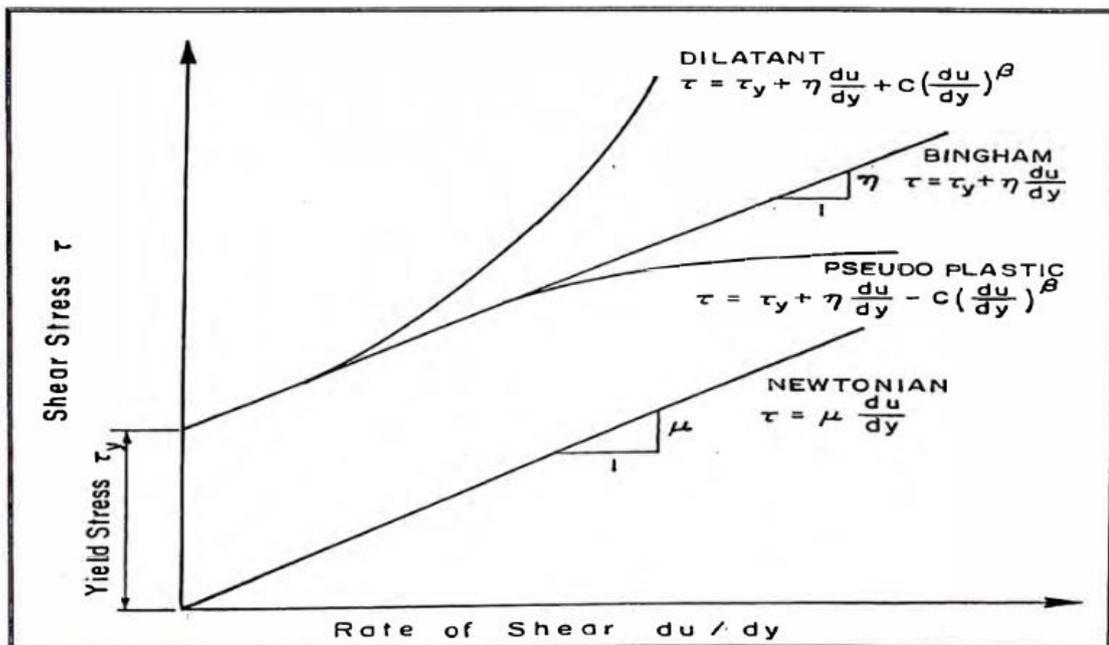


Figura 35 — Relación típica entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación

Extraído de: Aplicación de un modelo numérico de flujo de escombros y lodo en una quebrada del Perú (Castillo 2006), Erosión y Sedimentación (Julien 2010)

3.2.8.2.1 Ecuaciones de gobierno flujo no – newtoniano (HEC – RAS)

Los flujos no – newtonianos encajan en las ecuaciones de flujo no permanente, se aplica “pendiente de pérdida” a la fricción de pendiente que calcula la pérdida de fricción en la Ecuación de Momento Newtoniano en HEC – RAS, esto permite aplicar la teoría reológica (estudio de los materiales se deforma bajo tensión, como relaciones tensión – deformación) a la ecuación de momento (GIBSON y SÁNCHEZ 2020).

Ecuaciones 1D de Saint – Venant

De la ecuación de Manning aplicable para hidráulica en aguas claras calculan la fuerza de fricción límite con una formula cuasi empírica que tiene en cuenta la rugosidad del canal.

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}}{n} S_f^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

Q Caudal;

A Área de la sección;

R Radio hidráulico;

n Coeficiente de rugosidad de Manning;

S_f Fricción de pendiente.

La ecuación de momento incorporando la pendiente de fricción (S_f):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(QV)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad \text{Ecuación (27)}$$

Donde:

g Gravedad;

t Tiempo;

V Velocidad;

x,y,z Coordenadas de posición.

La aproximación monofásica al flujo de lodo y detritos, agrega otra pendiente de pérdida adimensional, un flujo de lodo y detritos (S_{MD}) (GIBSON y SÁNCHEZ 2020). Se incorpora fuerzas de resistencias empíricas como pendientes aditivas y adimensionales.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f + S_{CE} + S_W + S_{MD} \right) = 0 \quad \text{Ecuación (28)}$$

Donde:

S_{MD} Pendiente de flujo de lodo y detritos;

S_{CE} Pérdidas inestables por contracción – expansión;

S_W Fuerzas del viento.

La pendiente de flujo de lodo y detritos se puede determinar de la siguiente manera.

$$S_{MD} = \frac{\tau_{MD}}{\gamma_m R} \quad \text{Ecuación (29)}$$

Donde:

τ_{MD} Corte interno de flujo de lodo y detritos;

R Radio hidráulico.

γ_m Peso unitario del fluido mixto.

2D Shallow Water Equations (SWE)

El modelo de ecuaciones de aguas poco profundas (SWE) de profundidad promedio resuelve ecuaciones de conservación de volumen y momento e incluye aceleraciones temporales y espaciales, así como mezcla horizontal, mientras que el modelo DWE ignora estos procesos, pero, por lo tanto, es más simple y más eficiente desde el punto de vista computacional. La conservación del volumen 2D de la mezcla agua-sólido viene dada por:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot (h\vec{V}) = q \quad \text{Ecuación (30)}$$

Donde:

η Elevación de la superficie de flujo;

∇ Operador Nabla o gradiente;

t Tiempo;

h Profundidad del agua;

\vec{V} Vector velocidad;

q Término fuente o sumidero.

Las ecuaciones de conservación del momento promediadas en profundidad se pueden escribir como (HERGARTEN y ROBL, 2015).

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V = -g \cos^2 \varphi \nabla \eta + \frac{1}{h} \nabla \cdot (v_t h \nabla V) - \frac{\tau \cos \psi}{\rho_m R \cos \varphi} \frac{V}{|V|} \quad \text{Ecuación (31)}$$

Donde:

- φ Pendiente de la superficie del agua;
- V Magnitud del vector velocidad;
- g Aceleración gravitacional;
- R Radio hidráulico;
- ψ Ángulo de inclinación de la dirección de la velocidad actual;
- v_t Viscosidad de remolino turbulento;
- τ Esfuerzo basal total;
- ρ_m Densidad de la mezcla agua-sólido.

En las ecuaciones anteriores, el segundo término del lado derecho representa la mezcla horizontal debida a la turbulencia y también, en el caso de un flujo de detritos, la mezcla horizontal debida a colisiones de partículas. Utilizar la forma conservadora de los términos de mezcla es esencial para una conservación precisa del momento. El coeficiente de fricción del fondo se calcula utilizando el coeficiente de rugosidad de Manning como:

$$\tau = \tau_b + \tau_{MD} \quad \text{Ecuación (32)}$$

Donde:

- τ_b Esfuerzo cortante turbulento del fondo;
- τ_{MD} Esfuerzo de lodo y detritos.

2D Diffusion Wave Equation (DWE)

HEC-RAS también incluye un modelo hidrodinámico simplificado e inestable, que reemplaza el impulso con la ecuación de onda difusiva (DWE).

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = \nabla \cdot (\beta \nabla \eta) + q \quad \text{Ecuación (33)}$$

donde β es un coeficiente de "difusión" no lineal que es función de la fricción del fondo y la tensión no newtoniana.

$$\beta = \cos^{1/2} \psi \cos \varphi \frac{K}{A} \frac{h}{|\nabla\eta|^{1/2}} \quad \text{Ecuación (34)}$$

En el cual

$$\frac{K}{A} = \left[\frac{n^2}{(R \cos \varphi)^{4/3}} + \frac{\tau_{MD}}{\gamma_m R \cos \varphi |V|^2} \right]^{-1/2} \quad \text{Ecuación (35)}$$

Donde:

K Transporte;

γ_m Peso específico;

A Área vertical.

3.2.8.2.2 Clasificación de flujos no-newtonianos

Los flujos no newtonianos incluyen varios regímenes, dependiendo de la concentración de sólidos del fluido y, para mezclas de mayor concentración, del tamaño de grano de los sólidos. En general, a medida que aumenta la concentración (y el componente sólido se vuelve más grueso), el fluido pasa por cinco clasificaciones (Tabla 19).

Tabla 19 — Clasificaciones y modelos de flujos no newtonianos

Clasificación	Modelo	Condición
Hiperconcentrados	Bingham	$C_v > 30\%$
Flujo de lodo y detritos	Turbulento – Cuadrático Herschel – Bulkley	$C_v > 60\%$
Avalancha de nieve	Voellmy	
Clástico	Mohr – Coulomb	$N_s > 0.1$

Extraído de: Clasificación HEC – RAS Mud and Debris Manual

3.2.8.2.3 Concentración volumétrica de sedimentos

La concentración volumétrica se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{V_s}{V_s + V_L} \quad \text{Ecuación (36)}$$

Donde:

C_v Concentración volumétrica de sedimentos o partículas;

V_s Volumen de sólidos, expresado en metros cúbicos (m^3);

V_L Volumen líquido, expresado en metros cúbicos (m^3).

(TAKAHASHI 2014) estableció la concentración volumétrica (C_∞)

Si, $\tan \theta > 0.138$, se produce un flujo de escombros de tipo pedregoso, y

$$C_\infty = \frac{\rho_w \tan \theta}{(\sigma - \rho_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \text{Ecuación (37)}$$

Si, $0.03 < \tan \theta \leq 0.138$, se produce un flujo de escombros de tipo inmaduro, y

$$C_\infty = 6.7 \left[\frac{\rho_w \tan \theta}{(\sigma - \rho_w)(\tan \phi - \tan \theta)} \right]^2 \quad \text{Ecuación (38)}$$

Si, $\tan \theta \leq 0.03$, Se produce un flujo de agua turbulento con transporte de carga del lecho, y

$$C_\infty = \frac{(1 + 5 \tan \theta) \tan \theta}{\sigma/\rho_w - 1} \left(1 - \alpha_0^2 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \left(1 - \alpha_0^2 \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \quad \text{Ecuación (39)}$$

$$\alpha_0 = \frac{2 \left[0.425 - \frac{(\sigma/\rho_w) \tan \theta}{\sigma/\rho_w - 1} \right]}{1 - \frac{(\sigma/\rho_w) \tan \theta}{\sigma/\rho_w - 1}} \quad \text{Ecuación (40)}$$

$$\tau_{*c} = 0.04 \times 10^{1.72 \tan \theta} \quad \text{Ecuación (41)}$$

$$\tau_* = \frac{h \tan \theta}{(\sigma/\rho_w - 1)d_m} \quad \text{Ecuación (42)}$$

A partir de ello se puede calcular la densidad del flujo de detritos (combinación de agua y solidos).

$$\rho_{df} = \sigma C_V + \rho_w(1 - C_V) ; C_V \equiv C_\infty \quad \text{Ecuación (43)}$$

Donde:

C_∞ Concentración volumétrica de partículas en equilibrio en el flujo de escombros (maduro);

ρ_w Densidad del agua limpia (Kg/m^3), equivalente a $1000 Kg/m^3$;

σ Densidad del flujo de detritos seco (Kg/m^3), alrededor de $2650 Kg/m^3$;

ϕ Ángulo de fricción interna ($^\circ$);

θ Pendiente de la superficie del flujo ($^\circ$);

τ_{*c} Esfuerzo cortante crítico adimensional;

τ_* Esfuerzo cortante adimensional;

d_m diámetro medio del sedimento o d_{50} (m);

ρ_{df} Densidad del flujo de detritos (agua y sólidos) (Kg/m^3).

De acuerdo a (O'BRIEN 2009), para clasificar de aludes torrenciales en función de su concentración volumétrica se tiene (Tabla 20 y Figura 36).

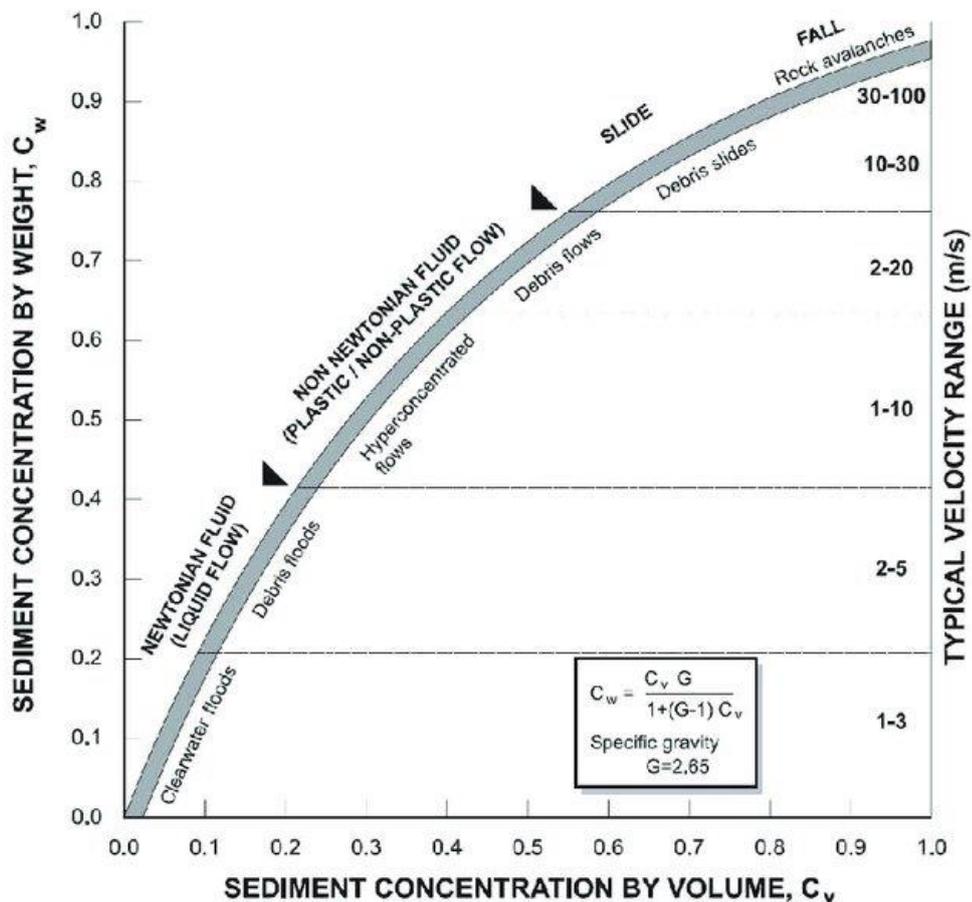


Figura 36 — Clasificación de los procesos de flujo y deslizamientos

Extraído de: Geomorphic study of sediment dynamics in active debris-flow catchments (Theule 2012)

La Concentración volumétrica máxima predeterminada por HEC RAS por el término de Bagnold de O'Brien es 0.615 o 61.5%, este término es correcto para flujos de menor concentración $C_v < 50\%$, caso contrario deberá aumentarse el C_v . la concentración volumétrica lineal fue definida por (BAGNOLD 1954), mientras que para Takahashi es de $C_* = 65.0\%$ (concentración volumétrica máxima) para granos uniformes naturales.

Tabla 20 — Clasificación en función de la concentración volumétrica

Descripción del tipo de flujo	Concentración de sedimentos (Cv)		Características del flujo
	En volumen	En peso	
Deslizamientos	0.65 – 0.80	0.83 – 0.91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloques.
	0.55 – 0.65	0.76 – 0.83	Derrumbe de bloques con deformación interna durante el deslizamiento, movimiento paulatino del terreno antes de fallar.
Flujos de lodo (Mudflow)	0.48 – 0.55	0.72 – 0.76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido por el flujo de lodo; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no se expande en la superficie.
	0.45 – 0.48	0.69 – 0.72	Flujo se extiende sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Avenida de lodo (Mud Flood)	0.40 – 0.45	0.65 – 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en la superficie horizontal, pero mantiene una superficie inclinada; partículas grandes depositan (peñones); aparecen ondas, pero se disipan rápidamente.
	0.35 – 0.40	0.59 – 0.65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal; aparece la superficie líquida con dos fases del fluido; las olas viajan en la superficie.
	0.30 – 0.35	0.54 – 0.59	Separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente; la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo.
	0.20 – 0.30	0.41 – 0.54	Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición inmóvil.
	< 0.20	< 0.41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo.

Extraído de: FLO – 2D User’s Manual (2009)

Bulk Fluid Volume

El factor de engrosamiento o “Bulking factor” (BF) es el incremento del caudal de agua pura (líquido, Q_w) que transita por un cauce y esta se combina con el caudal de sedimentos (sólido, Q_s), por ello aumenta el caudal con partículas (líquido y sólido) para flujos no newtonianos.

$$BF = \frac{1}{1 - C_v} \quad \text{Ecuación (44)}$$

Donde:

BF Factor de engrosamiento o bulking factor;

C_v Concentración de volumétrica de sedimentos.

De acuerdo con lo expuesto, el caudal mixto o total (líquido y sólido) ya engrosado, se expresa de la siguiente manera.

$$Q_T = BF \times Q_W \quad \text{Ecuación (45)}$$

Donde:

Q_T Caudal mixto o total, $Q_T = Q_W + Q_S$;

Q_W Concentración de volumétrica de sedimentos.

3.2.8.2.4 Modelos reológicos

La reología es el estudio de las propiedades mecánicas y el flujo de la materia, específicamente fluidos, mezclas y sólidos plásticos no newtonianos.

- Bingham
- Cuadrático (O'Brien y Julien)
- Herschel – Bulkley
- Voellmy

Reología (relación esfuerzo – deformación) para fluidos no-newtonianos

La reología estudia la deformación de materiales bajo esfuerzo, sean sólidos o líquidos. Entonces “modelos reológicos” son usualmente expresados como la relación entre esfuerzo y deformación. Los modelos estándares hidráulicos ya asumen un modelo reológico para simulaciones hidrodinámicas. Se asume que el agua empiece a deformarse (movimiento o deformación) bajo cualquier esfuerzo (el cero intercepta en la relación esfuerzo – deformación), la deformación incrementa linealmente con el esfuerzo, y la viscosidad del agua es la tasa entre el esfuerzo y deformación (Figura 37).

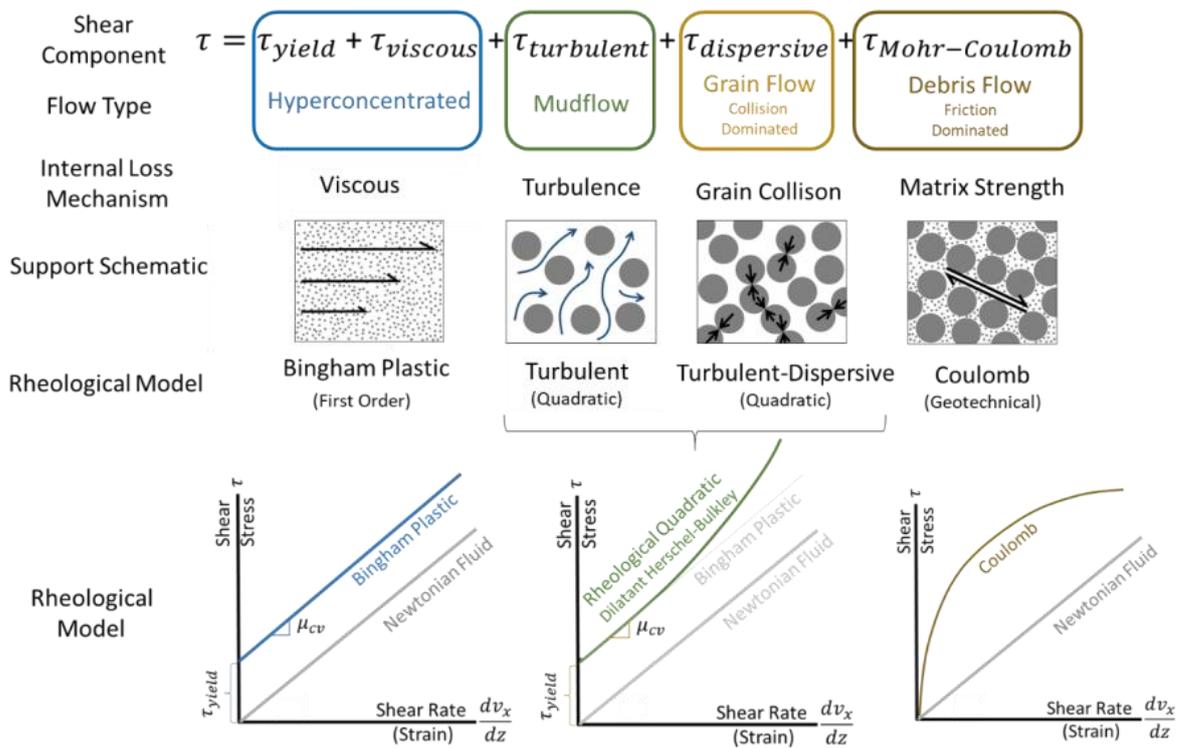


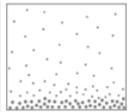
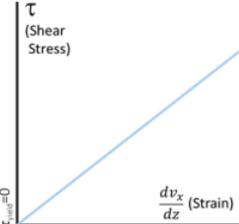
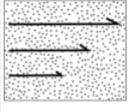
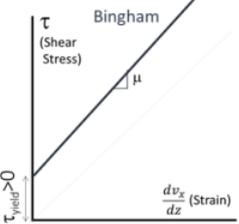
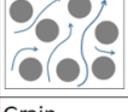
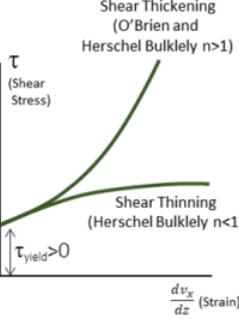
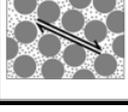
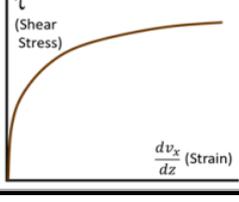
Figura 37 — Clasificación, procesos, modelo conceptual y modelo reológico

Extraído de: HEC – RAS Mud and Debris Manual

Taxonomía de flujo de lodo y de detritos

Se clasifica de acuerdo a umbrales de Cv y otros, según lo siguiente (Tabla 21).

Tabla 21 — Taxonomía de flujos no-Newtoniano y modelos reológicos

Flow Classification	Process	Threshold	O'Brien et al. (1993) Shear Component	Hershel Bulkeley Shear Component	Rheological/ Geotechnical Model	
Sediment Transport	Bedload and Suspended Load 	$C_v < 5\%$	None	None		Finer Sediment Lower Concentration
Hyper-concentrated Flow	Yield Stress & Viscous Losses 	$C_v > 5\%$	Bingham $\tau_y + \mu(\dot{\gamma})$	Linear $\tau_y + K(\dot{\gamma})^{n=1}$		
Mudflow	Inter-Particle Turbulence 		$\rho_m l_m^2 (\dot{\gamma})^2$	$K(\dot{\gamma})^{n \neq 1}$		Higher Concentration Coarser Sediment
Debris Flow	Grain Collision 	Bagnold # $N_{BAG} > 40$	$\frac{0.01 \rho_s d_s^2 (\dot{\gamma})^2}{\left(\frac{0.615}{C_v}\right)^{1/3} - 1}$			
Clastic Flow	Matrix Strength 	Friction # $N_{fri} > 100^*$	Replaces the yield stress (τ_y) in either model with a Coulomb (geotechnical) model: $\tau_y = \tau_c + \sigma \tan \phi$			

Extraído de: HEC – RAS Mud and Debris Manual (Gibson y Sánchez 2020)

Ecuación de O'Brien (cuadrática)

La ecuación de O'Brien usa un modelo cuadrático para agregar un impacto no-lineal de la colisión de partícula y turbulencia al esfuerzo lineal y viscosidad en términos del modelo de Bingham. No es tan flexible como Herschel – Bulkey. Los efectos no-lineales son siempre una función del cuadrado de la deformación. La Ecuación de O'Brien usa valores físicos para desarrollar efectos cuadráticos teóricos (GIBSON y SÁNCHEZ 2020).

Además, para el esfuerzo cortante y la viscosidad cargada de sedimentos que son requeridos para el modelo e Bingham, el modelo de O'Brien solamente requiere el volumen de

concentración (ya que es necesario para aumentar el volumen y para algunas estimaciones de esfuerzo y viscosidad) y un tamaño de grano representativo. (GIBSON y SÁNCHEZ 2020).

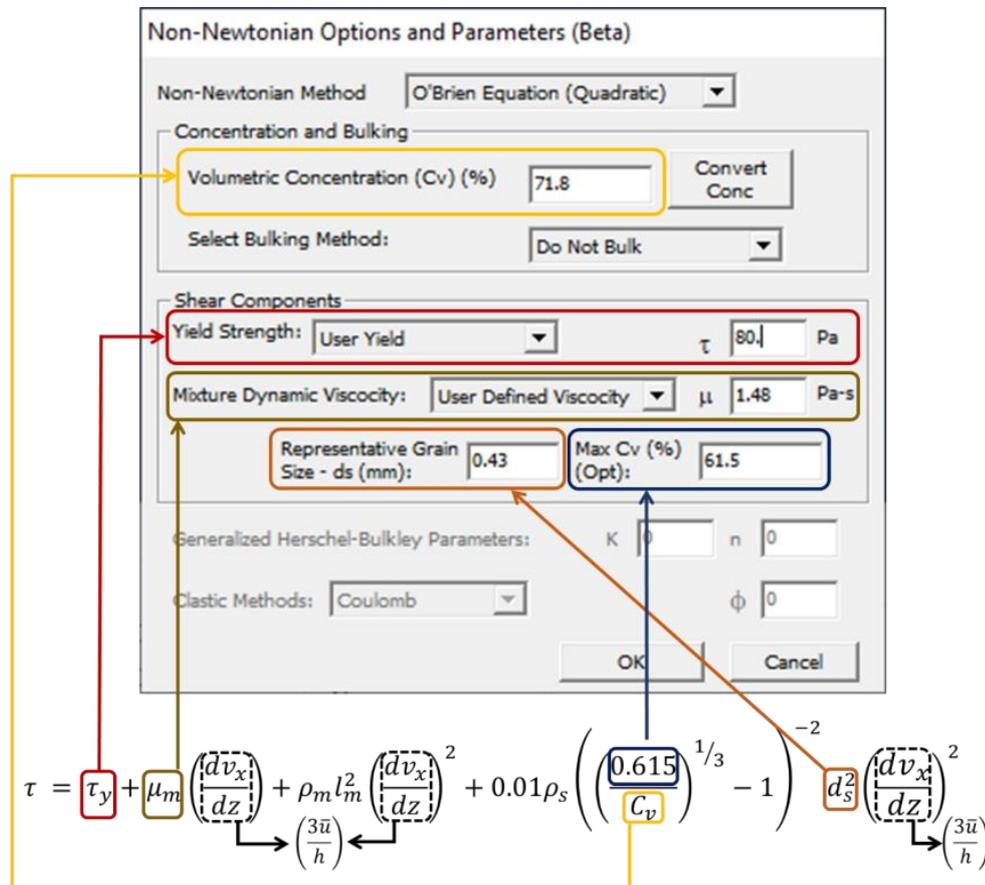


Figura 38 — Parámetros definidos de la ecuación cuadrática de O'Brien

Extraído de: HEC – RAS Mud and Debris Manual (Gibson y Sánchez 2020)

Parámetros reológicos

(CASTILLO 2006) la viscosidad y el esfuerzo de cedencia de mezclas agua-sedimento son parámetros reológicos necesarios para la aplicación de los modelos de cálculo de los flujos con altas concentraciones de sedimentos. Una manera directa de calcular la viscosidad es empleando un "reómetro" que es similar a un viscosímetro que construye todo el diagrama de esfuerzo vs. tasa de deformación.

(O'BRIEN, JULIEN y ASCE 1988) realizaron los análisis en laboratorio de muestras recolectadas de depósitos naturales de flujos de lodo en Colorado Rocky Mountain cerca de las ciudades de Aspen y Glenwood Springs. Se obtuvieron los resultados del laboratorio que la viscosidad (η) y el esfuerzo de cedencia (τ_y) se incrementan potencialmente con la concentración de sedimentos (C_v):

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \quad \text{Ecuación (46)}$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \quad \text{Ecuación (47)}$$

Donde:

α_1, β_1 Coeficientes empíricos definidos por experimentos de laboratorios;

C_v Concentración volumétrica de sedimentos (Tabla 22 y Tabla 23).

Tabla 22 — Propiedades de las matrices de flujos de detritos (sólo limo y arcilla)

Muestra	Distribución del tamaño de sedimento				Límite líquido	Índice plástico
	Arcilla (%)	D ₁₆ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₈₄ (mm)		
Glenwood original	4.8	0.010	0.034	0.062	-	-
Glenwood sample 1	6.8	0.009	0.023	0.050	-	-
Glenwood sample 2	3.0	0.016	0.035	0.061	-	-
Glenwood sample 3	4.8	0.011	0.025	0.053	-	-
Glenwood sample 4	7.6	0.001	0.018	0.032	-	-
Aspen Pit 1	31.3	0.001	0.011	0.032	0.32	0.11
Aspen natural soil	27.0	0.001	0.012	0.028	0.25	0.06
Aspen mine fill	27.8	0.001	0.013	0.030	0.24	0.06
Aspen natural soil source	31.6	0.001	0.016	0.039	-	-
Aspen mine fill source	25.2	0.001	0.018	0.061	-	-

Extraído de: Laboratory analysis of mudflow properties (O'Brien, Julien y ASCE 1988)

Tabla 23 — Esfuerzo de cedencia y viscosidad en función C_v

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Correlaciones de mediciones de campo				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen natural soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen mine fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen mine source area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Correlaciones disponibles de la literatura				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39

Kang y Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien y Ma (1958)	0.0588	19.1 – 32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

Extraído de: Laboratory analysis of mudflow properties (O'Brien, Julien y ASCE 1988)

3.2.9 Peligro (H)

Se determina a través de niveles de peligro, la cual está contemplado como una probabilidad en función de la intensidad, siendo una condición o característica con probabilidad de causar daños respecto al tipo de elemento.

Esta intensidad está en función de la profundidad del flujo o tirante (h) y la velocidad del flujo (v) (Tabla 24). Dicha probabilidad es inversamente proporcional con la magnitud de inundación. Para los flujos de detritos el peligro es una función combinada discreta de la intensidad del evento y el periodo (O'BRIEN et al. 1993).

Tabla 24 — Intensidad para los niveles de peligros (3 niveles)

Clasificación		Probabilidad de ocurrencia, P			
		Alta	Media	Baja	
Intensidad, I	BUWAL (1997)	(Rickenmann, 2005)			
	h > 1.0 m o v > 1.5 m/s	h > 1.0 m o v > 1.5 m/s	Alta	Alta	Moderada
	h < 1.0 m y v < 1.0 m/s	h < 1.0 m y 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Media	Moderada	Baja
	No existente	h < 0.4 m y v < 0.4 m/s	Baja	Baja	Muy Baja
Áreas no afectadas			Muy Baja	Muy Baja	Muy Baja

Extraído de: Evaluation of approaches to calculate debris-flow parameters for hazard assessment (Hürlimann et al. 2008)

Otra forma de caracterizar al peligro por flujo de detritos en 4 niveles, muy alto, alto, medio y bajo, la intensidad del flujo de detritos o escombros se puede definir mediante el ancho máximo de la unidad de descarga (Tabla 25), es decir, q (m²/s) definido como la profundidad máxima del flujo simulado o tirante (h) multiplicada por la velocidad máxima simulada (v), así como el flujo máximo simulado. La profundidad (h) debe ser un factor importante a considerar (Liu et al. 2021).

Tabla 25 — Intensidad para los niveles de peligros (4 niveles)

Intensidad del flujo de detritos	Profundidad máxima del flujo simulado h (m)	Relación	Altura y velocidades máximas del flujo simulado vh (m ² /s)
Muy Alto	$h > 3.0$	o	$vh > 12.0$
Alto	$1.5 < h \leq 3.0$	o	$3.0 < vh \leq 12.0$
Medio	$0.5 < h \leq 1.5$	y	$1.0 < vh \leq 3.0$
Bajo	$h < 0.5$	y	$vh < 1.0$

Extraído de: Back calculation and hazard prediction of a debris flow in Wenchuan (Liu et al. 2021)

3.2.10 Vulnerabilidad (V)

La vulnerabilidad está relacionado a los factores humanos como son la exposición de viviendas, la calidad de construcción, tipo de materiales empleados, antigüedad, número de pisos, entre otros dependiente de su desenvolvimiento ante el fenómeno (EVALUACIÓN DE RIESGOS NATURALES – AMÉRICA LATINA 2009). La vulnerabilidad puede describirse como el grado de pérdida o destrucción de uno o varios elementos, por la acción de un fenómeno (VARNES 1978).

3.2.10.1 Vulnerabilidad física

La vulnerabilidad física se refiere al “nivel de daño que puede sufrir un elemento expuesto en términos de explosión y resistencia contra la magnitud del peligro, en el caso de flujos es el nivel de daño que se puede presentar por diferentes velocidades y tirantes” (RODRÍGUEZ y JIMÉNEZ 2009).

(KHAN et al. 2022) Menciona que existe una gran variedad de metodologías para la estimación de la vulnerabilidad física, entre ellas las de tipo empíricas, analíticas, cualitativas, semicuantitativas (método CENEPRED) y cuantitativas (Figura 39).

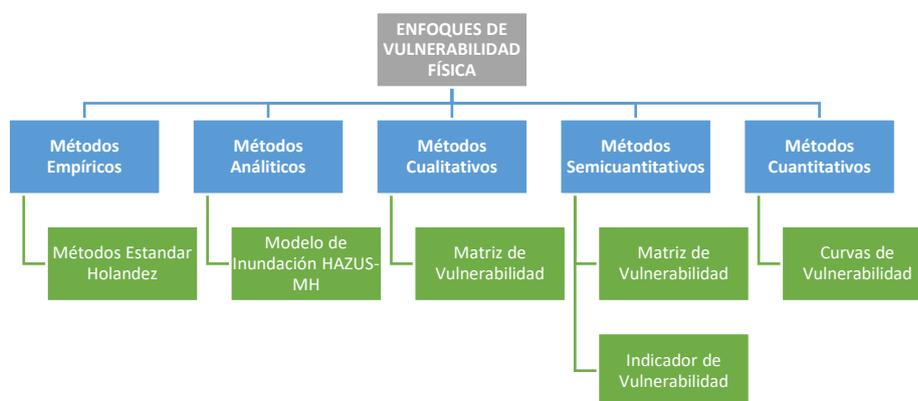


Figura 39 — Diferentes tipos de enfoque de vulnerabilidad física

Extraído de: The physical vulnerability of different types of building structure to debris flow events (Khan et al. 2022)

Método Cuantitativo (Curva de Vulnerabilidad)

Las curvas de vulnerabilidad (funciones) son métodos cuantitativos que se enfocan principalmente en el grado de pérdida en lugar de la probabilidad de ocurrencia (en la curva de fragilidad), por lo tanto, requiere una gran cantidad de datos empíricos confiables (KHAN et al. 2022; JAKOB, STEIN y ULMI 2012). (EIDSVIG et al. 2014) presentó una metodología para cuantificar la incertidumbre en la evaluación de la vulnerabilidad de los edificios afectados por el flujo de escombros.

Las relaciones de vulnerabilidad establecidas por (KANG y KIM 2016) en función del tipo de material y factor de impacto (Tabla 26 y Figura 40).

Tabla 26 — Función de vulnerabilidad para cada tipo de estructura de edificación

Factor de impacto	Función de vulnerabilidad (V)	
	Sin concreto reforzado (No-RC)	Concreto reforzado (RC)
Velocidad de flujo (v, m/s)	$V = 1 - e^{(-0.014v^{4.368})}$	$V = 1 - e^{(-0.094v^{2.775})}$
Tirante de flujo (d, m)	$V = 1 - e^{(-2.2072d^{2.019})}$	$V = 1 - e^{(-0.1703d^{1.537})}$
Presión de impacto (p, KPa)	$V = 1 - e^{(-0.001p^{2.227})}$	$V = 1 - e^{(-0.005p^{1.690})}$

Extraído de: The physical vulnerability of different types of building structure to debris flow events (Kang y Kim 2016)

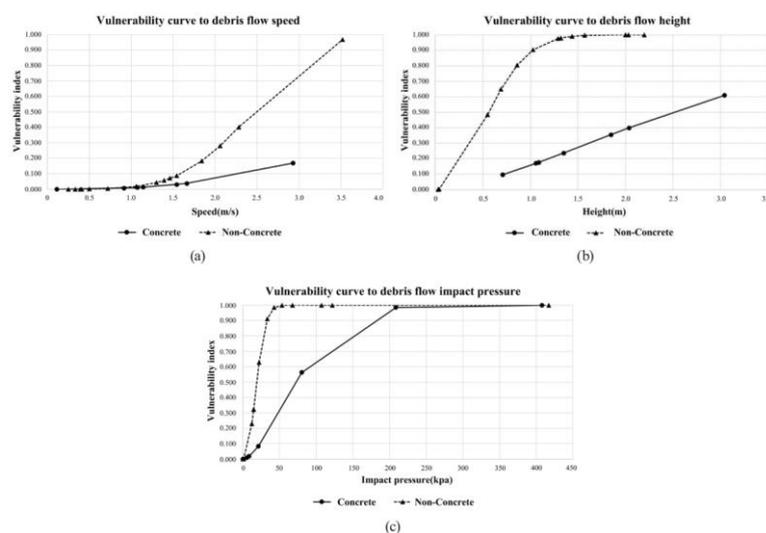


Figura 40 — Curva de vulnerabilidad del edificio por flujo de detritos

Extraído de: Quantitative risk analysis of debris flow disaster in urban area using GIS (Lee, Cho y Yoon 2020)

3.2.10.2 Vulnerabilidad social

Se expresa la medida de que el peligro pueda causar fatalidades o lesiones a las personas, un concepto aplicable es por colapso de la vivienda que alberga familias en su interior.

3.2.11 Riesgo (R)

3.2.11.1 Riesgo económico

El riesgo económico es la interacción de la vulnerabilidad física, peligro y su costo de la edificación, que se expresa como la consecuencia, en este caso el daño estructural de la vivienda. Se expresa como:

$$R = f(H, V, A) \quad \text{Ecuación (48)}$$

Donde:

R Riesgo económico;

H Peligro;

V Vulnerabilidad física, $V = f(H)$;

A Costo asociado a la edificación, expresado en nuevos soles (S/).

3.2.11.2 Riesgo social

El riesgo social es la interacción de la vulnerabilidad social y peligro que se expresa como la probabilidad de que una persona pueda fallecer ante el peligro, la cual se utiliza un criterio FN (Figura 41), número de fatalidades (N) vs probabilidad de excedencia anual (F). esta categorizada principalmente en tres niveles: Aceptable (no se necesita reducción de riesgos), Tolerable – ALARP (de sus siglas en inglés, “tan bajo como sea razonablemente practicable”), Inaceptable (reducir el riesgo por debajo del umbral tolerable sin tener en cuenta el coste).

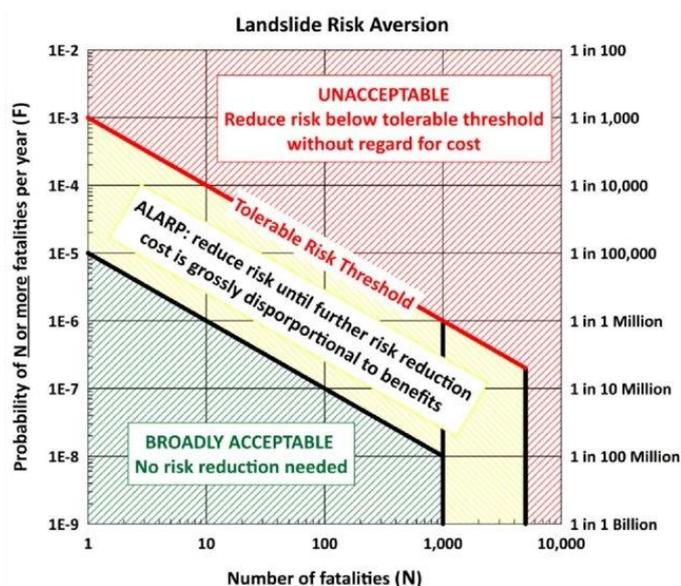


Figura 41 — Valoración del riesgo social de deslizamientos de tierra (criterio FN)

Extraído de: Criterios sociales de tolerancia al riesgo de deslizamientos de tierra – Hong Kong (ERM 1998)

3.3 Marco conceptual

- a) **Cuenca hidrográfica.** Unidad hidrográfica delimitada por el escurrimiento de aguas (divisoria de aguas), clasificado en cuenca (>50 mil Ha), subcuenca (5 mil a 50 mil Ha) y microcuenca (< 5 mil Ha).

- b) **Desastre.** Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos. Se describe a un desastre como el resultado de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad presentes, y capacidades o medidas insuficientes para reducir o hacer frente a las posibles consecuencias negativas. El impacto de los puede incluir muertes, lesiones, enfermedades y otros efectos negativos en el bienestar físico, mental y social humano, conjuntamente con daños a la propiedad, la destrucción de bienes, la pérdida de servicios, trastornos sociales y económicos y la degradación ambiental (UNISDR 2009).

- c) **Evaluación de riesgos.** Determinación del riesgo a través de los factores de peligro (mecanismo del fenómeno) y vulnerabilidad (condiciones de la sociedad y su habitad), donde el riesgo muestra la condición de daño, ya sea estructural, salud, afectación. Hoy en día las evaluaciones de riesgos son herramientas muy útiles para entender un fenómeno o desastre, seguido para la toma de decisiones, ordenamiento territorial, entre otros (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION 2023).

- d) **Flujo de detritos.** Flujo rápido de material sólido y líquido la cual es desencadenado principalmente por precipitaciones, contiene una cantidad considerable de sedimentos, la ocurrencia de flujos de detritos puede ser activados por deslizamientos o también no (TAKAHASHI 2014).

- e) **Gestión de riesgos de desastres.** Se entiende como la manera de actuar y gestionar ante fenómenos ya sean de origen natural o inducidos por acción humana, la cual esta categorizado en tres gestiones: gestión prospectiva (acorde a la evaluación técnica y estimación del riesgo, antes del desastre o emergencia), gestión reactiva (acciones relacionadas a actuar en el desastre, durante el desastre o emergencia), y gestión

correctiva (acciones relacionadas a mejorar las condiciones desfavorables ocurridas en el evento, post evento) (UNISDR 2009).

- f) **Modelamiento numérico.** Procedimiento la cual utiliza herramientas computacionales como son los softwares, que a través de algoritmos numéricos se puede simular eventos parecidos o similares a la realidad, su calidad del resultado depende de la calidad de los datos de entrada y comprensión del modelo (JING 2003).

- g) **Peligro.** Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION 2023).

- h) **Riesgo cuantitativo.** La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios vida en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION 2023).

- i) **Susceptibilidad.** Probabilidad de ocurrencia ante determinado fenómeno la cual es determinado por procedimientos ponderados, estadísticos, determinísticos u otros. Se muestran a través de mapas y niveles de ocurrencia, está relacionado al peligro donde se analizan los factores condicionantes (propios del lugar de estudio) y factores desencadenantes (que detonan o causan el evento) (CENEPRED 2014).

- j) **Vulnerabilidad.** Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. Existen diversos aspectos de la vulnerabilidad que surgen de varios factores físicos, sociales, económicos y ambientales (UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION 2023).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

De acuerdo al fin que se plantea, la investigación es de *enfoque cuantitativo*, (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ y BAPTISTA 2014) menciona que “el enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, es decir no es posible eludir o ‘brincar pasos’”. El alcance de la investigación es descriptivo. Si bien el investigador conoce las variables, no tiene por objetivo regularlas, puesto que solo se limita a utilizar métodos de observación

Tipo de investigación es aplicada (CHÁVEZ y CANGALAYA, 2023) menciona que estudios similares ya han sido abordados, entonces procede a plantear una solución. Esta indaga o perfecciona recursos de aplicación del conocimiento ya obtenido mediante la investigación pura y, por lo tanto, no busca la verdad, como la investigación pura, sino la búsqueda de la utilidad. (BUNGE 2002) indica las investigaciones aplicadas pretenden mejorar o solucionar, denominados estudios de innovación.

El nivel de la investigación es descriptivo, (CHÁVEZ y CANGALAYA, 2023) menciona que estos estudios buscan describir variables, para lo cual recurren a estadística descriptiva con el fin de cuantificar los resultados. Según SALKIND (1999), la investigación descriptiva realiza una reseña o un diagnóstico del estado actual del fenómeno.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es: No experimental – transversal o transeccional – descriptivo simple.

Diseño no experimental, debido a que se observó el fenómeno en su contexto natural y se describió de acuerdo a lo nombrado en el marco teórico, se recolectaron datos en un único momento (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ y BAPTISTA 2014). Basan su trabajo en la observación de los fenómenos tal y como se manifiestan en la realidad, tienen la ventaja de lograr extrapolar sus resultados a toda una población (generalización).

Diseño transeccional, su objetivo es recolectar datos en un solo momento y en un tiempo único con el propósito de describir en las variables de estudio los rasgos observados (CHÁVEZ y CANGALAYA 2023).

Descriptivo simple, busca obtener información actual en relación con un problema determinado sin medir control con relación a la administración del programa estímulo (CHÁVEZ y CANGALAYA 2023).

M ----- O

Donde:

M: representa la muestra de estudio;

O: representa la información recopilada.

4.3 Descripción ética de la investigación

En el proceso de verificación de las muestras obtenidas para la construcción de la tesis se obtienen los datos y se trabaja con mucha precisión para obtener resultados de alta calidad utilizando libros de locales e internacionales, fuentes de internet, revistas, etc.

LA ROSA (2021), lo importante es que no se pierda esta dimensión humana, ética y de respeto a las personas que participan en la investigación, el investigador tiene que analizar “cómo sus propios intereses no están, de alguna manera, colisionando con los derechos de las personas que participan en la investigación y, en esa medida, cuáles pueden ser los límites de su actuación.

LÓPEZ (2021), es importante promover el respeto por la dignidad humana, la intimidad y la autonomía de los participantes en la investigación, y la confidencialidad; del mismo modo el respeto por los animales y seres vivos que forman parte de nuestros ecosistemas, una evaluación ética consiste en la revisión de un protocolo de investigación que cumpla con aspectos metodológicos, éticos, jurídicos y administrativos de acuerdo con estándares nacionales vigentes e internacionales.

CONCYTEC, los investigadores e instituciones participantes deben contribuir a proteger el ambiente asegurando que sus investigaciones no afecten el ecosistema y cumpliendo con la normativa vigente respecto a las autorizaciones para la investigación científica.

La investigación estuvo sujeta a información confiable y fidedigna, debido a que se solicitó a entidades públicas y técnico científicas del estado peruano como son Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Espacial (CONIDA), Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Instituto

Nacional de Defensa Civil (INDECI), Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), entre otros; así como información de ámbito internacional como son Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Agencia Espacial Europea (ESA), entre otros; la cual se dio un sustento confiable y de acceso libre o mediante solicitud a la entidad. Los métodos utilizados han sido aplicados en otros entornos internacionales, dando resultados confiables, precisos y reales. Además, mencionar herramientas de gran precisión como es el caso de Estación Diferencial para la geodesia del terreno.

Acorde al Código de Ética para la Investigación de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Resolución N°010-2018-VRINV-UNAMBA, son las siguientes:

- Ejecutar investigaciones pertinentes, originales y coherentes acorde a las líneas de investigación de las instancias reconocidas por el Vice Rectorado de Investigación.
- Utilizar de manera eficiente y eficaz los fondos otorgados para realizar investigación.
- Cumplir las normas institucionales y gubernamentales que regulan la investigación.
- Proceder con rigor científico asegurando la validez, la fiabilidad y credibilidad de sus métodos, fuentes y datos.
- Reportar hallazgos de sus investigaciones de manera abierta, completa y oportuna a la comunidad científica, así mismo, devolver los resultados a las personas, grupos y comunidades participantes en la investigación cuando el caso lo amerita.
- Tratar con sigilo la información obtenida y no utilizarla para el lucro personal ilícito o para otros propósitos distintos de los fines de la investigación.

Por todo lo expuesto, esta investigación brindó nuevos conocimientos y puntos de vista en la evaluación de riesgos y la comprensión de fenómenos naturales, que hoy en día se exacerbaban por el Cambio Climático.

4.4 Población y muestra

La población son las viviendas en la unidad hidrográfica Sahuanay (microcuencas), de la ciudad de Abancay (Figura 42), de acuerdo al estudio hidrológico de máximas avenidas de la delimitación de la faja marginal de las quebradas afluentes al río Mariño (AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA XI - PAMPAS APURÍMAC 2017).

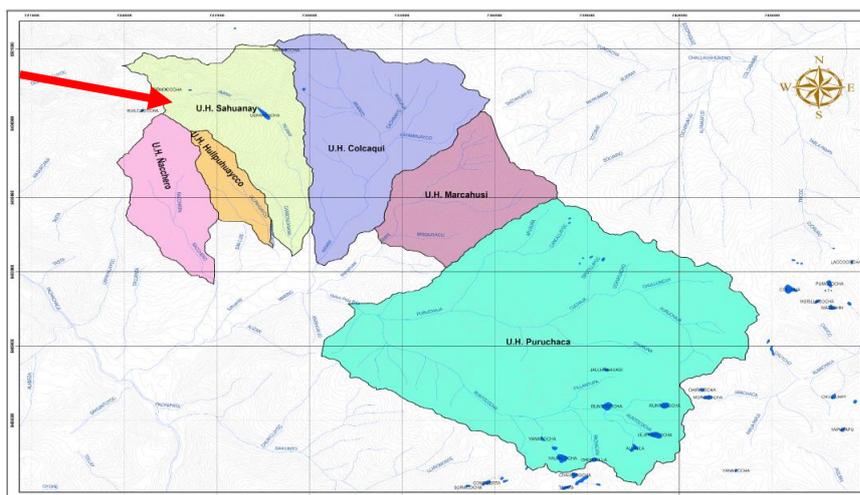


Figura 42 — Unidades hidrográficas de la ciudad de Abancay

Extraído de: ANA (Autoridad Administrativa del Agua XI - Pampas Apurímac 2017)

La muestra es no probabilística o dirigida (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ y BAPTISTA 2014), según (CHÁVEZ y CANGALAYA 2023) es intencional o por criterio, se realiza tomando en cuenta el conocimiento y criterios del investigador. Toma como base la experiencia de la población. Es frecuente su uso como guía o muestra tentativa para decidir el procedimiento para tomar una muestra aleatoria más adelante.

El muestreo intencional o dirigida, es el mejor y más frecuente en investigaciones científicas; no obstante, exige mucha claridad y detalle en las razones y procedimientos para elegir la muestra.

Para la investigación la muestra son 1,360 viviendas en la microcuenca Sahuanay. De las cuales las viviendas evaluadas dependieron de la huella de inundación producto del modelamiento del flujo de detritos.

4.5 Procedimiento

El esquema de la evaluación del riesgo de desastres a nivel cuantitativo (Figura 43) se ha adaptado según los lineamientos del ISO 31000:2018 “Gestión del Riesgo – Directrices” (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2018) de naturaleza dinámica y variable, enfocado a los procesos a nivel de proyecto, con las etapas: identificación del riesgo, análisis del riesgo y valoración del riesgo (sistemática, iterativa y colaborativa); mientras que el cálculo del riesgo está enfocada al peligro, vulnerabilidad y costo para los elementos expuestos (VAN WESTEN, KUMAR HAZARIKA y NASHRRULLAH 2020), subtipos: número de pérdida, pérdida monetaria, riesgo individual y riesgo social.

En la actualidad el “seguimiento y revisión”, está encargada las entidades técnico científicas, como también INDECI y CENEPRED, como entidades supervisoras en la elaboración de

planes. “Comunicación y consulta” por la fase de socialización en la elaboración de planes, pero no siempre se da el caso en la práctica. “Registro e informe” la documentación e información está en plataformas como SIGRID y de la autoridad competente, en algunos casos de las entidades técnico científicas, ejemplo GEOCATMIN del INGEMMET.

La propuesta de esta investigación solo estará enmarcada en la evaluación del riesgo, compuesta de la identificación del riesgo, análisis del riesgo y valoración del riesgo. La fase de comunicación y consulta se realizaron de manera implícita en el empadronamiento; la fase de seguimiento y revisión, por los aportes de expertos profesionales, asesores y jurados, en un caso aplicado estaría enmarcado a la población, gobierno (nacional, regional y/o local), entidades técnico científicas e instituciones enmarcadas en la GRD.

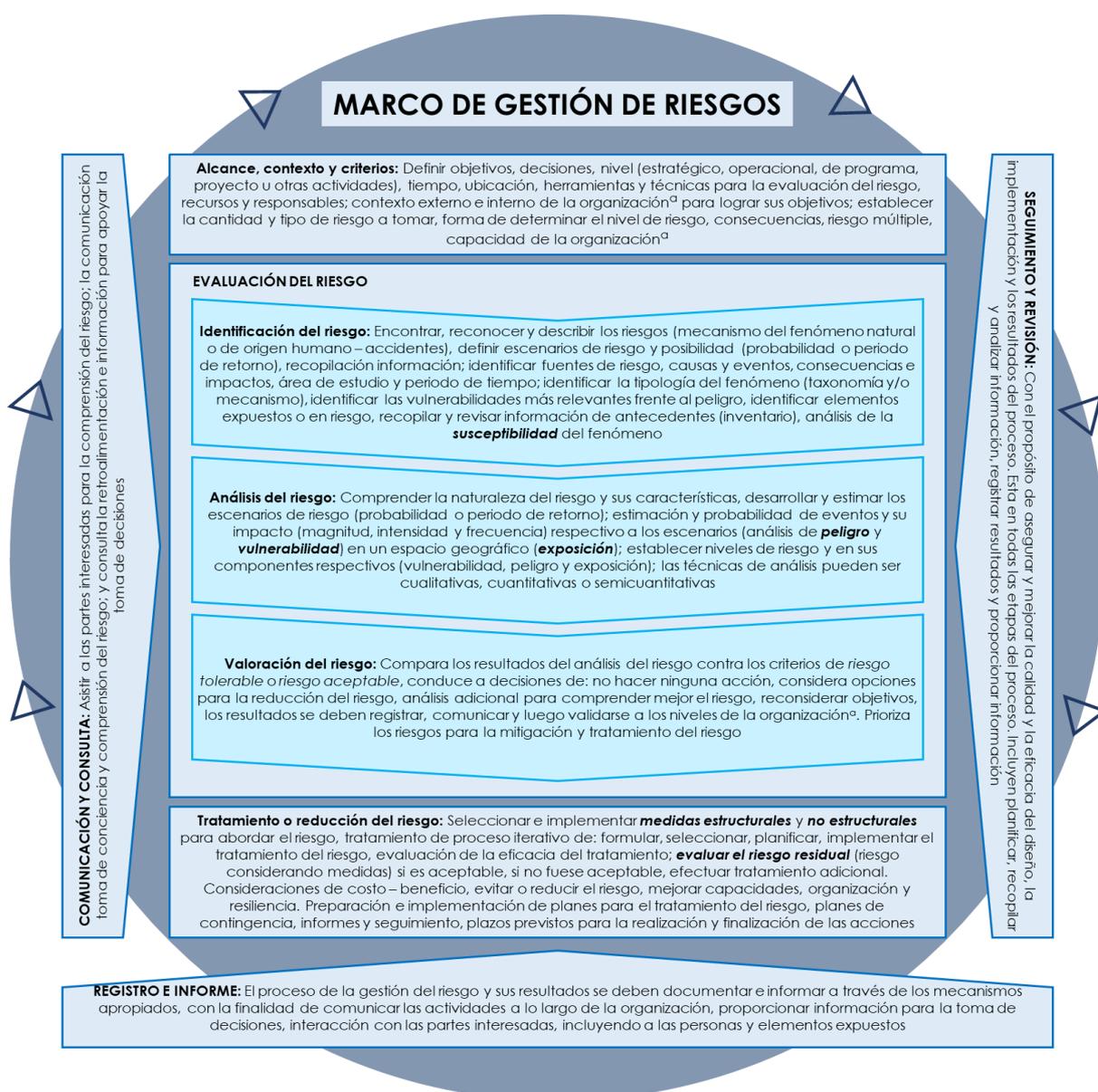


Figura 43 — Propuesta del “proceso de gestión de riesgos de desastres”

Nota: a: organización, gobierno nacional, regional, local, otros.

Levantamiento topográfico

Se usó instrumentos de precisión como el RPAS o DRON multirrotor y para la corrección de la ortofoto, mediante puntos de fotocontrol, que se determinó a través de estación diferencial, en el área de la mancha de inundación en la microcuenca Sahuanay, y se obtuvo la topografía del área de estudio con una resolución de 0.25 m. Se realizó en conjunto con INAIGEM.

Generación del MDE

Se realizó por medio de teledetección (Imágenes de Radar Topográfico) de ALOS PALSAR, en la delimitación de la cuenca debido a su gran extensión, ya que al aplicar otros métodos no similares a estos implicarán aumentos considerables de costo, tiempo y errores tanto de instrumento como humano. Para el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) del modelamiento hidráulico con parámetros reológicos, se aplicó un RPAS, con un modelo de cámara FC6310R (8.8 mm), resolución 5,472x3,648 aplicando un total de 2 899 cámaras, obteniendo una resolución de 21.8 cm/pixel, por medio del software Agisoft Metashape.

Empadronamiento

El empadronamiento se utilizó cuestionarios en la nube de Esri (Environmental Systems Research Institute) en la plataforma ArcGIS Online, aplicando una encuesta digital mediante dispositivos móviles y georreferenciados por el GPS por defecto del dispositivo. Se realizó el trabajo en conjunto con el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), del proyecto GLOP “Evaluación del Riesgo por Aluvión en la ciudad de Abancay, Distritos de Abancay y Tamburco, Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac”, realizado el mes de octubre del 2022. El empadronamiento contemplo preguntas referentes al nivel estructural como también la población que habita en la edificación.

Catastro y valorización

Utilizo ArcGIS Pro para delimitar las viviendas, sumado a las vistas tridimensionales de Agisoft Metashape e in situ, con la finalidad de corroborar los limites prediales y de área construida, así mismo del número de pisos y/o habitantes. La valorización por medio de un metrado estructural, según la Resolución Ministerial N° 309-2022-VIVIENDA para la sierra.

Datos meteorológicos y pluviométricos

Se obtuvo a través de la solicitud al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), de la estación de San Antonio, debido a la proximidad y representatividad de la meteorología con el área de estudio. Esta fue comparada con la data grillada PISCO, aplicando

la correlación de bondad de ajuste del Índice de Nash – Sutcliffe (NSE) de la data observada con la simulada.

Estudio de suelos

Aplicación de 2 calicatas en la quebrada Sahuanay, se obtuvo una información sobre los estratos superficiales y análisis de granulometría. Para el estudio de estabilidad de taludes se obtuvo a partir del ensayo de corte directo los parámetros de Cohesión (C) y Ángulo de Fricción Interna (ϕ).

Web Feature Services (WFS) y Web Coverage Services (WCS)

Las instituciones del estado peruano a través de sus diferentes Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) dieron información necesaria información necesaria para obtener los registros de desastres por movimientos de masas (SIGRID – INDECI), mapas geológicos, geomorfológicos (GEOCATMIN – INGEMMET). Estos IDE son de acceso gratuito y sin costo alguno, ya que se necesitó un software GIS para su proceso.

Gabinete

Se compiló toda la información obtenida anteriormente, la cual se utilizó una computadora de características versátiles para los procesamientos complejos, procesador 11va generación i7, RAM 16 Gb, de disco sólido. Se utilizó para el SIG (geoprocesamiento y fotogrametría) el software ArcGIS Pro Licenciado, análisis estadístico Excel, R, softwares hidráulicos e hidrológicos HEC – RAS y HEC – HMS, geotécnicos Slide y RAMMS: Avalanche, simulación de la Red Neuronal Artificial en Python.

Flujograma

El flujograma (Acorde a la norma ISO 5807:1985 “Procesamiento de la información) de la evaluación del riesgo por flujo de detritos de origen natural estará determinado según las fases: identificación, análisis y valoración del riesgo (Figura 44), adaptada de la norma ISO 31000:2018 (Figura 43).

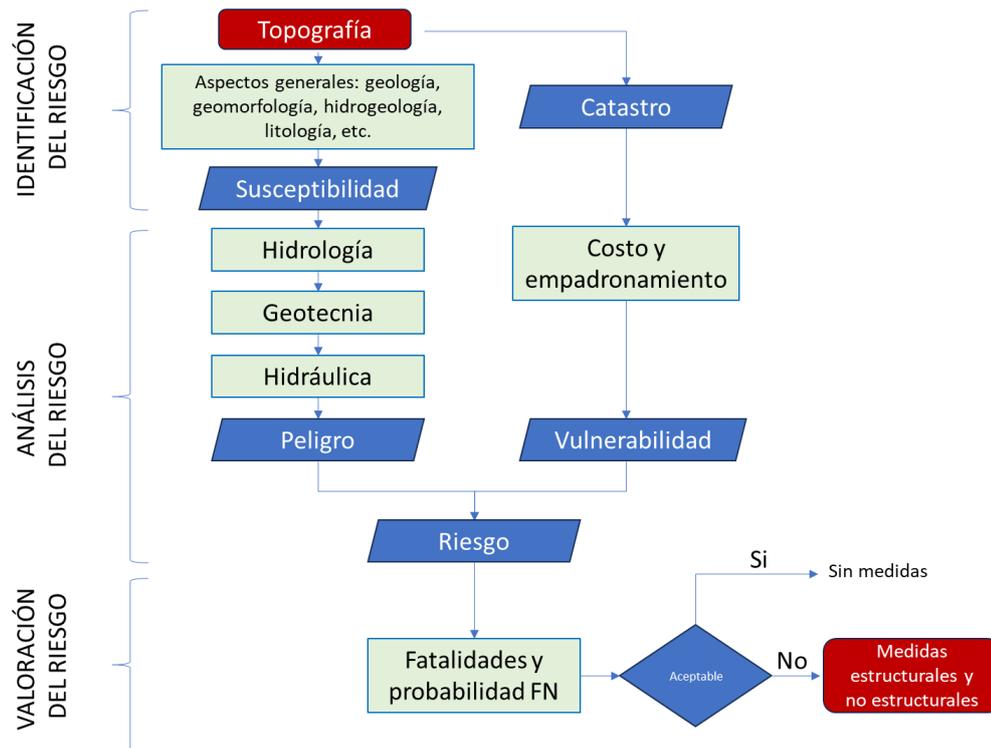


Figura 44 — Flujograma del proceso

4.6 Técnica e instrumentos

Técnicas

La técnica empleada es la observación, donde se ha recabado información de los ensayos de mecánica de suelos (laboratorio), hidrología y geotecnia, fueron desarrolladas en softwares estadísticos como R y Excel aplicando sus respectivas ecuaciones empíricas.

BENASSINI (2001) en la observación el investigador se limita a observar acciones, actitudes o hechos que sean de interés para su estudio sin establecer comunicación con los sujetos.

Se realiza la observación por 2 maneras, *observación humana*, información de un grupo de observadores que captan la información de un colectivo mediante procedimientos físicos como la vista y el oído, siendo capacitados para evitar sesgo. *Observación mecánica*, se utiliza para la observación aparatos eléctricos o electrónicos (CHÁVEZ y CANGALAYA, 2023).

Las observaciones in situ permitieron conocer el lugar (físico y social), aspectos necesarios para la evaluación del riesgo por flujo de detritos (Sahuanay).

Para la calibración del modelo, se observó en el área de estudio los antecedentes históricos, por medio de Google Earth Pro y ArcGIS (Figura 45), mapas temáticos (Figura 49 — Factores influyentes en el flujo de detritos y entrenamiento, pág. 114) y cartográficos (digitales y físicos). También se aplicó in situ (observación).



Figura 45 — Observación in situ de la microcuenca Sahuanay

Nota: Izquierda (observación in situ) y derecha (observación cartográfica)

Se desarrollo un cuestionario estructurado, realizándose a la población que será afectada por el flujo de detritos en los tres escenarios ($Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$), a través de preguntas cerradas acorde a la tipología de la vivienda y preguntas semiabiertas respecto a la cantidad de habitantes.

Aplicación teórica anclada la cual permite generar una teoría a partir de datos, destacando las observaciones de campo, según (GLASER 1992) explica lo siguiente “una metodología de análisis, unida a la recolección de datos, que utiliza un conjunto de métodos, sistemáticamente aplicados, para generar una teoría inductiva sobre un área sustantiva”. Según (STRAUSS 1989) generan y desarrollan teorías que especifican los fenómenos y las condiciones para manifestarse”, siendo plasmadas a través de la secuencia de datos geomorfológicos, hidrológicos y geotécnicos.

Instrumentos

La recolección de datos a emplearse serán las fichas y/o formatos para la recolección primaria desarrollados por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), haciendo énfasis según sus objetivos de la metodología Saaty para el cálculo del riesgo. Para la determinación de la granulometría y límites plásticos por medio de las fichas AASHTO T57 y la NTP 330.129.

La validación de los instrumentos de recogida de datos

Se busca la validez y confiabilidad de los instrumentos de recolección de información a partir de técnicas especiales de análisis. La validación de instrumentos de recolección de datos se encuentra en el (Anexo C. Validación de instrumentos, pág. 261), se realizará a través del Alfa

de Cronbach, esto se usa únicamente cuando los instrumentos son escalas de constructo; es decir, instrumentos que miden conceptos mediante ítems. Los 5 participantes profesionales especialistas son:

- Dr. Sandra Paula Villacorta Chambi, ingeniera geóloga.
- Dr. Santiago Salvador Montenegro Canario, licenciado en estadística.
- Dr. Juan Carlos Montero Chirito, ingeniero civil.
- Dr. Abbon Alex Vásquez Ramírez, ingeniero civil.
- Mag. Washington Gualberto Palomino Canaval, ingeniero civil.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_T^2} \right] \quad \text{Ecuación (49)}$$

Donde:

- k El número de ítems;
- $\sum_{i=1}^k S_i^2$ Sumatoria de varianzas de los ítems;
- S_T^2 Varianza de la suma de los ítems;
- α Coeficiente de Cronbach.

Donde el coeficiente de Cronbach varía entre 0 a 1 y se tienen las siguientes interpretaciones según los niveles alcanzados:

Tabla 27 — Interpretaciones del Alfa de Cronbach

Valor de α	Interpretación
$\alpha > 0.80$	Muy Alta
$0.60 < \alpha \leq 0.80$	Alta
$0.40 < \alpha \leq 0.60$	Moderada
$0.20 < \alpha \leq 0.40$	Baja
$\alpha \leq 0.20$	Muy Baja

Extraído de: (Ruiz 2002)

Se obtuvo un valor de Alfa de Cronbach de $\alpha = 0.75$ se encuentra en el rango de confiabilidad “Alta” realizado para 5 encuestados especialistas.

4.7 Análisis estadístico de la investigación

El análisis estadístico en estudios cuantitativos depende del diseño de investigación, es no experimental – transversal o transeccional – descriptivo simple.

Los diseños no experimentales se recolectan datos en un solo momento y tiempo único con el propósito de describir en las variables de estudio los rasgos observados (BISQUERRA 2004).

Los diseños descriptivos, busca indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan una o más variables, en el diseño descriptivo simple, busca obtener información actual en relación con un problema determinado sin mediar el control con relación a la administración del programa estímulo (GÓMEZ 2006 y HERNÁNDEZ 2010).

Se aplicó una estadística descriptiva como tablas, gráficos y distribución de frecuencias (histogramas y otros). Aplicado y visualizado en programas estadísticos como Excel y R.

Se muestran los datos a través del cálculo de índices y de fórmulas empíricas (fuentes bibliográficas) en tablas.

Estadística Inferencial

Pretende probar la hipótesis y generalizar los resultados obtenidos en la muestra a la población o universo, casi siempre se recolectan de una muestra y sus resultados estadísticos se denominan estadígrafos (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ y BAPTISTA 2014).

La inferencia de los parámetros depende de que hayamos elegido una muestra probabilística con un tamaño que asegure un nivel de significancia adecuado (JARMAN, 2013; LINDSAY, 2009; MORICEAU, 2009).

Prueba de Hipótesis

MOYA y SARAVIDA (1988) indican que “la prueba de hipótesis estadística es quizás el área más importante de la teoría de decisión. La hipótesis estadística es una aseveración que se hace a cerca de la distribución de una o más variables aleatorias (o poblaciones)”.

Una hipótesis en el contexto de la estadística inferencial es una proposición respecto de uno o varios parámetros, por medio de la prueba de hipótesis es determinar si la hipótesis poblacional es congruente con los datos obtenidos en la muestra (WILCOX, 2012; GORDON, 2010; WIERSMA y JURIS, 2008; STOCKBURGER, 2006).

HERNANDEZ, FERNANDEZ y BAPTISTA (2014) indican que, una hipótesis se retiene como un valor aceptable del parámetro, si es consistente con los datos, si no lo es, se rechaza (pero los datos no se descartan).

El nivel de significancia o significación se expresa en términos de probabilidad (0.05 y 0.01) y la distribución muestral también como probabilidad (el área total de esta como 1.00). Para saber

si existe o no confianza al generalizar acudimos a la distribución muestral, con una probabilidad adecuada para la investigación. El nivel de significación representa áreas de riesgo o confianza en la distribución muestral.

Prueba de normalidad Kolmogorov – Smirnov

El procedimiento Prueba de Kolmogorov – Smirnov para una muestra compara la función de distribución acumulada observada de una variable con una distribución teórica determinada, que puede ser la normal, la uniforme, la de Poisson o la exponencial. La Z de Kolmogorov – Smirnov se calcula a partir de la diferencia mayor (en valor absoluto) entre las funciones de distribución acumuladas teórica y observada. Esta prueba de bondad de ajuste contrasta si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución especificada (IBM 2023).

La estadística de prueba Lilliefors se puede utilizar para estimar el valor p utilizando el muestreo de Monte Carlo para probar en una distribución normal con parámetros estimados.

Es aplicada para muestras mayores iguales a 30 ($n \geq 30$), caso contrario ($n < 30$) será la prueba de Shapiro – Wilk, con la finalidad de determinar si son paramétricos o no paramétricos.

Prueba Rho de Spearman

es una medida de la correlación (la asociación o interdependencia) entre dos variables aleatorias (tanto continuas como discretas). Para calcular ρ , los datos son ordenados y reemplazados por su respectivo orden. Las poblaciones no deben ser normales o no paramétricas (ARIAS y CANGALAYA 2023).

El coeficiente rho de Spearman parece ser una aproximación cercana al coeficiente r de Pearson, cuando los datos son continuos, de acuerdo con BREEN y LUIJKX (2010) y CRESWELL (2005).

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad , \quad \text{donde } -1 \leq \rho \leq 1 \quad \text{Ecuación (50)}$$

Donde:

ρ Coeficiente Rho de Spearman

d Diferencia entre los correspondientes de los datos de orden X - Y

n Tamaño de la muestra

Prueba de t-Student

Es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias en una variable.

La prueba t se basa en una distribución muestral o poblacional de diferencia de medias conocida como la distribución t de Student que se identifica por los grados de libertad, los cuales constituyen el número de maneras en que los datos pueden variar libremente. Cuanto mayor número de grados de libertad se tengan, la distribución t de Student se acercará más a ser una distribución normal y usualmente, si los grados de libertad exceden los 120, las distribuciones normales se utiliza una aproximación adecuada de la distribución t de Student (BABBIE, 2012, WIERSMA U JURIS 2008; y GODBY, 2007).

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1-\rho^2}{n-2}}} \quad \text{Ecuación (51)}$$

Donde:

t Probabilidad de la t de Student

ρ Rho de Spearman

n Tamaño de la muestra

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis de resultados

Para determinar la afectación del riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023, se realizó por medio de los objetivos específicos que darán un resultado secuencial en la identificación, análisis y valoración del riesgo. Esto se plasmó como la afectación en la microcuenca Sahuanay.

5.1.1 Fase: Identificación del Riesgo (Risk Identification)

El inicio de la Evaluación del Riesgo fue la selección de la cuenca de estudio (microcuenca Sahuanay), acorde al proceso de la gestión del riesgo de desastres y flujograma (Figura 43 y Figura 44), cabe resaltar que parámetros como “comunicación y consulta” y “seguimiento y revisión”, están inmersos en el desarrollo de la presente investigación y de carácter situacional, implicando reuniones y acuerdos con los interesados. Mientras que el “alcance, contexto y criterios” algunos aspectos han sido descritos anteriormente, los restantes son descritos a continuación, con la selección de la cuenca, ubicación y descripción.

Ubicación política:

Departamento: Apurímac

Provincia: Abancay

Distritos: Abancay y Tamburco

Ubicación hidrográfica:

La microcuenca Sahuanay está ubicada en la unidad hidrográfica del río Mariño, que este se ubica en la unidad hidrográfica del río Pachachaca, seguido la siguiente orden y nivel de codificación de la metodología Pfafstetter (Tabla 28), establecido y aplicado por la Autoridad Nacional del Agua como unidades de territorio más adecuada para la gestión de recursos hídricos (AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA 2012).

Tabla 28 — Nivel y codificación Pfafstetter de la ubicación hidrográfica

Nivel	Nombre	Código Pfafstetter	Tipos de unidades de drenaje
4	Alto Ucayali	4999	Intercuenca
3	Ucayali	499	Intercuenca
2	Alto Amazonas	49	Intercuenca
1	Región hidrográfica del Amazonas	4	Cuenca

La microcuenca Sahuanay posee lagunas de origen glaciar por el nevado Ampay, una gran extensión pertenece al Santuario Nacional del Ampay (Figura 46). Seguido de la prospección topográfica de la microcuenca Sahuanay, por medio de imágenes satelitales, softwares integrados a SIG, revisiones bibliográficas previas, estudios. La topografía se desarrollará de manera más extensiva luego de la identificación del problema, objetivos del estudio, identificación del riesgo, susceptibilidad, aspectos sociales, económicos, ambientales, entre otros.

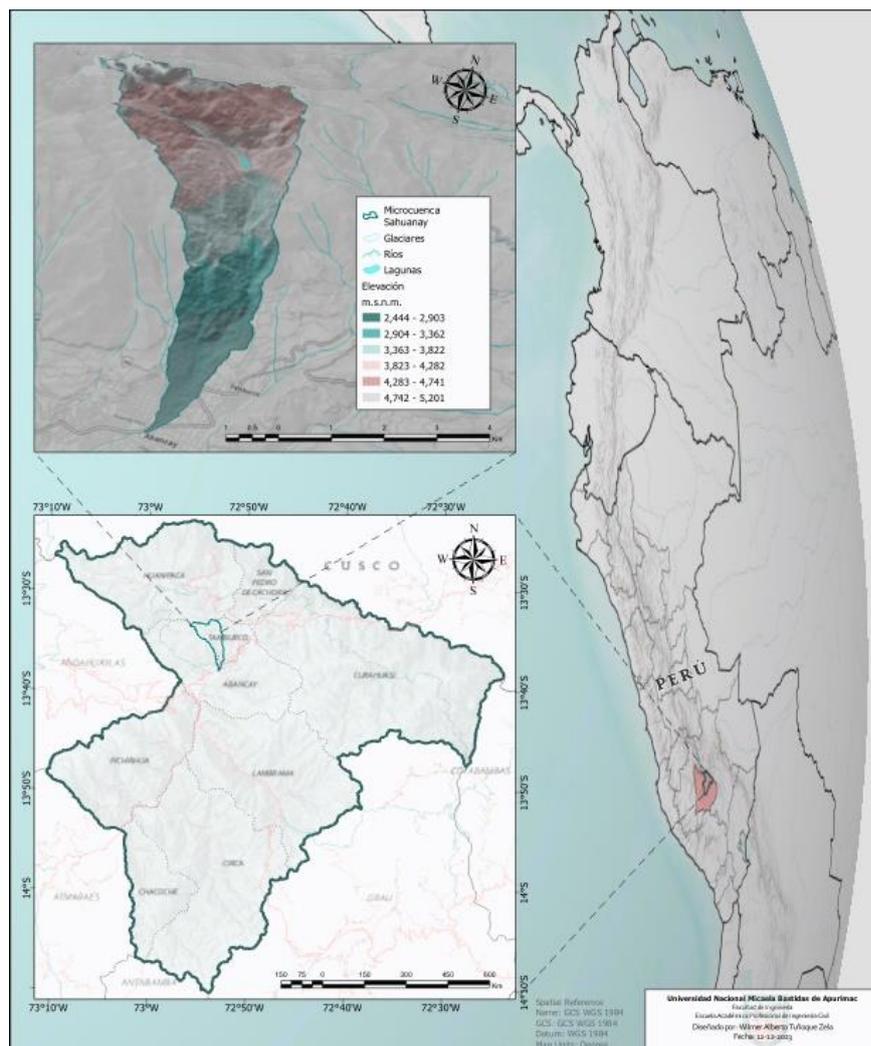


Figura 46 — Mapa de ubicación de la microcuenca Sahuanay

5.1.1.1 Categorización del fenómeno

En la microcuenca Sahuanay se tiene 2 antecedentes ocurridos (detritos y deslizamientos), ocurridos por activación del cerro Chuyllurpata en los años 1951 y 2012. Se aplicó un criterio de clasificación (predicción por umbrales) inundación de agua, hiperconcentrado o flujo de detritos (Figura 47), que hace uso del número de Melton (MELTON 1965), criterio de tipo morfométrico (morfología), pueden ser consideradas más criterios de otros indoles para su clasificación (mejora de precisión). El número de Melton esta expresado por $R = H/\sqrt{A}$, donde H es la diferencia altitudinal de la cuenca y A el área de la cuenca.

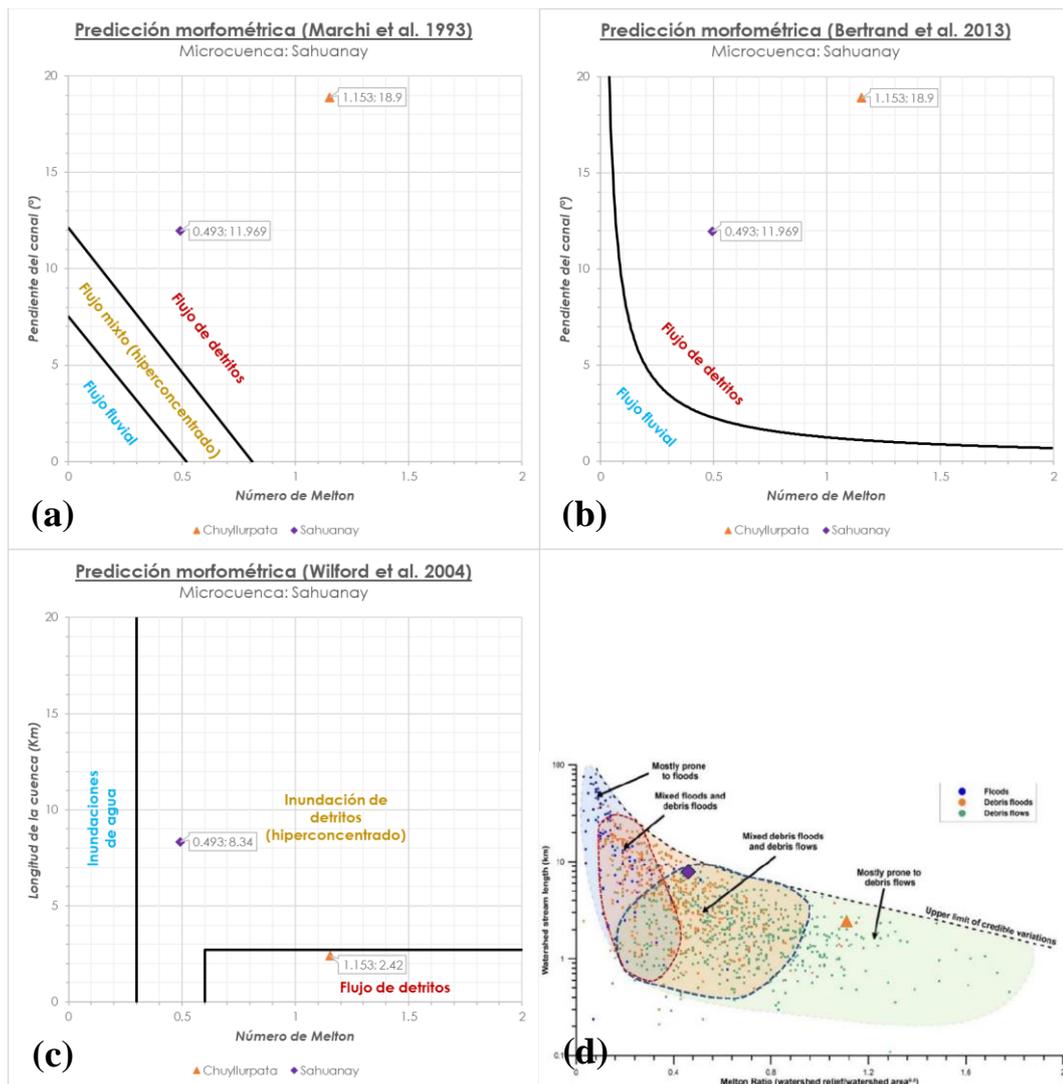


Figura 47 — Predicción morfométrica del tipo de flujo

Extraído de: Acuerdo a las metodologías de (a) (Marchi, Pasuto y Tecca 1993); (b) (Bertrand, Liébault y Piégay 2013); (c) (Wilford et al. 2004); (d) (Church y Jakob 2020)

Se observó que predominantemente está regido por un flujo de detritos, según sus parámetros morfométricos del cerro Chuyllurpata y de la microcuenca Sahuanay.

5.1.1.2 Análisis de Susceptibilidad

El resultado de la susceptibilidad por flujo de detritos se realizó a través de redes neuronales artificiales (RNA), desarrollado en Google Colab en lenguaje Python, se importaron librerías de aprendizaje automáticos de TensorFlow 2.13.0 r-c0, Deep Learning como Keras que interactúa con TensorFlow, finalmente Pandas, especializada en la manipulación y análisis de datos (Figura 124, pág. 241). Se aplicó bajo los parámetros propuestos por (CHEN et al. 2020) para la predicción de la susceptibilidad por flujos de detritos aplicando redes neuronales convolucionales, la metodología de (PRADHAN, LEE y BUCHROITHNER 2010).

La susceptibilidad contó con 2 cuencas de entrenamientos más grandes, con el fin de mejorar el entrenamiento y validez del modelo, fue seleccionada a partir de dos cuencas de nivel 7 (según Pfafstetter) de la base de datos de HydroSHEDS. Ambas cuencas de entrenamiento, microcuenca Sahuanay, con sus respectivos puntos de entrenamiento, con un total de 265 registros de deslizamientos, algunas de estas fueron de la base del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación – SINPAD v2.0 del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), con periodo de registro 2003 al 2023, fueron adicionados con información a través de la teledetección e imágenes satelitales, además, 114 registros de no ocurrencia de deslizamientos, con la finalidad de tener salidas (outputs) de condiciones de “Si” o “No” (falso positivos) ocurrencia de flujo de detritos con valores booleanos de 1 y 0 respectivamente.

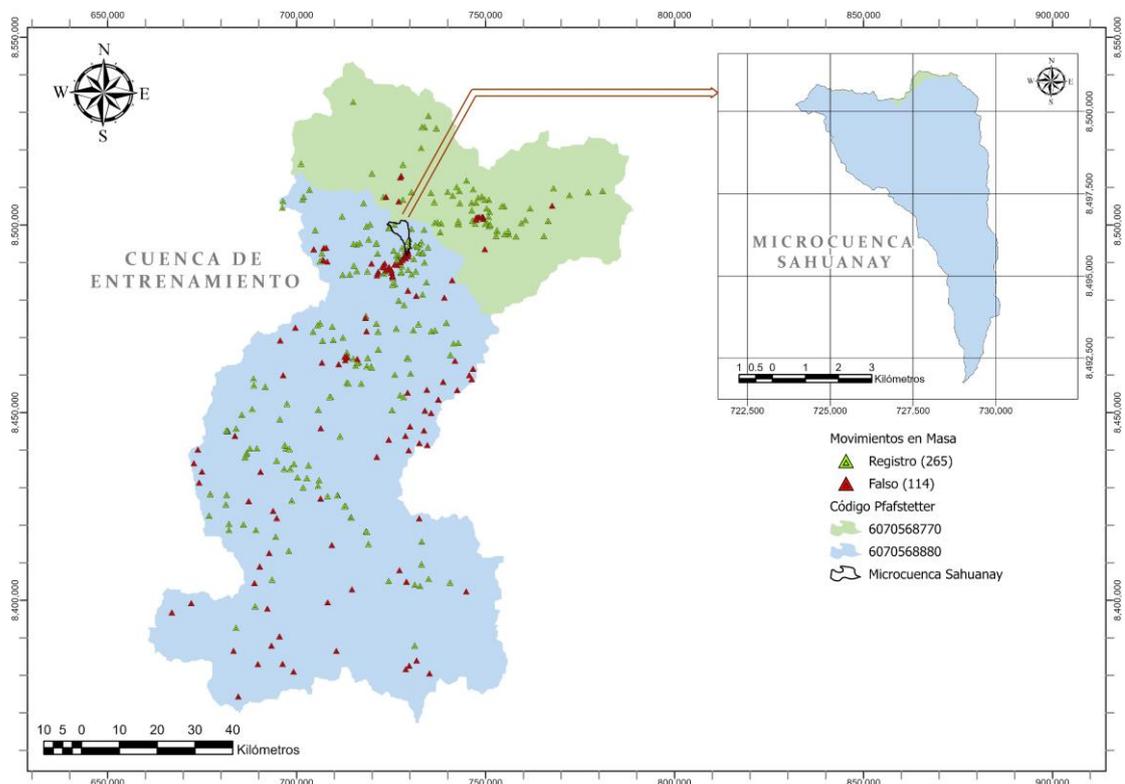


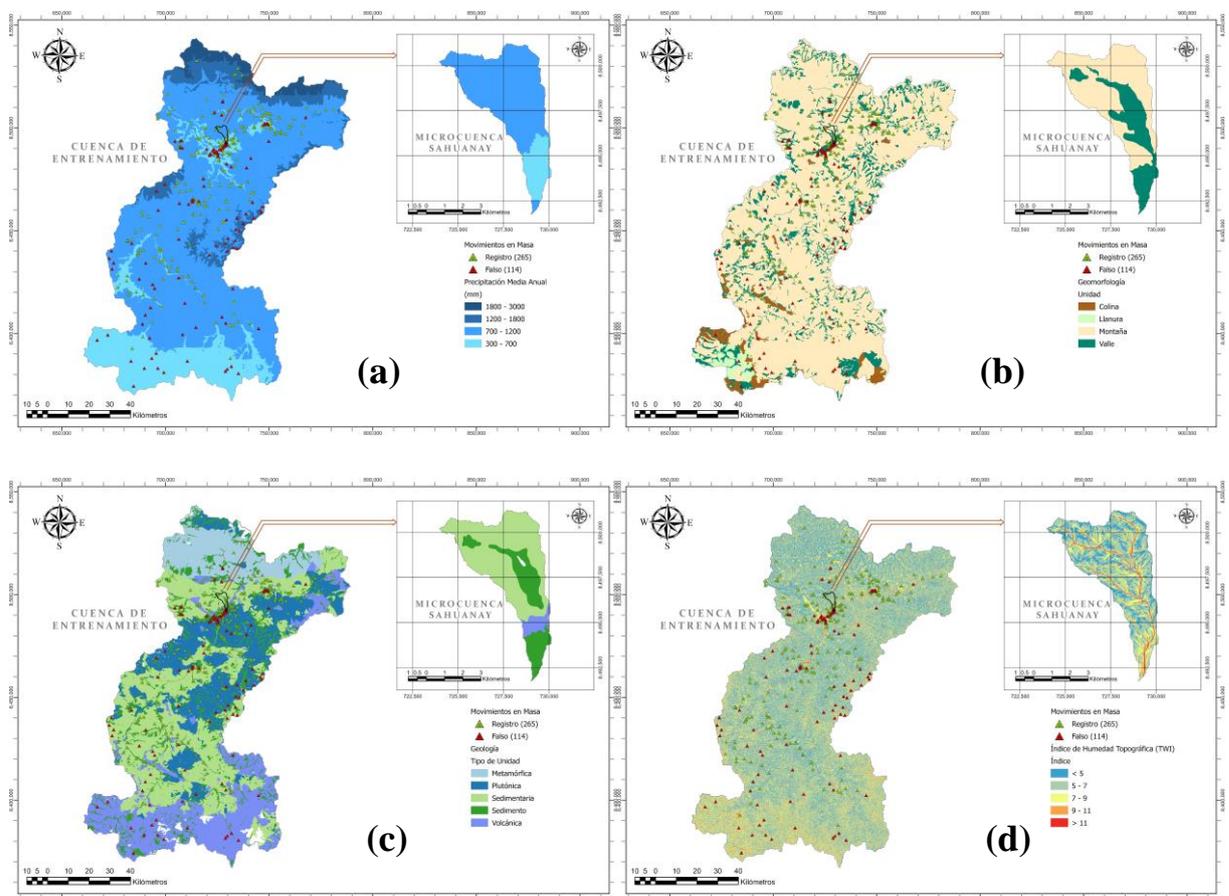
Figura 48 — Área de entrenamiento (2 cuencas)

Preparación de la data

Se utilizaron 10 factores de mayor incidencia para el modelo de susceptibilidad a través de la inteligencia artificial (Figura 49), entre ellas se tiene:

- a) Precipitación media anual (*PMA*) de 4 clases,
- b) Geomorfología (*GMF*) de 4 clases (escala local Anexo A),
- c) Geología (*GLG*) de 6 clases (escala local Anexo A),
- d) Índice de humedad topográfica (*TWI*) de 5 clases,
- e) Distancia hacia carreteras (*DIS*) de 6 clases,
- f) Aspecto (*ASP*) de 10 clases,
- g) Curvatura del terreno en perfil (*CRV*) de 3 clases,
- h) Pendiente del terreno (*PDT*) de 5 clases,
- i) Altitud del terreno (*ALT*) de 4 clases,
- j) Cobertura vegetal o suelo (*COV*) de 4 clases.

Influencia de los factores, fueron la aplicación e interoperabilidad de los 10 factores, como se muestra a continuación.



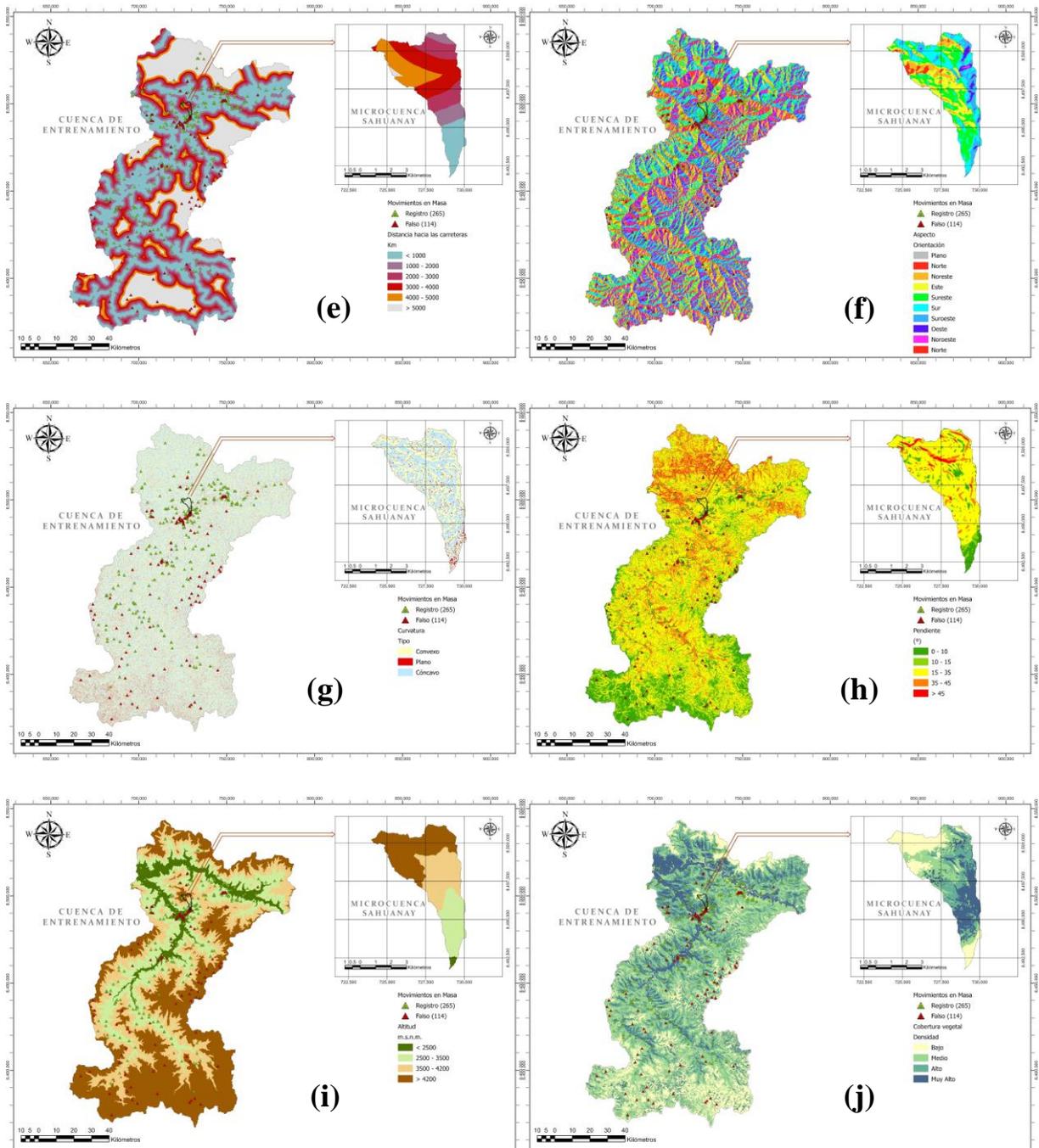


Figura 49 — Factores influyentes en el flujo de detritos y entrenamiento

Nota: (a) precipitación media anual, (b) geomorfología, (c) geología, (d) índice de humedad topográfica, (e) distancia hacia carreteras, (f) aspecto, (g) curvatura, (h) pendiente, (i) altitud, (j) cobertura vegetal

Mapa de Susceptibilidad por flujo de detritos

Una vez entrenado el modelo y calibrado, se procedió a aplicar en el área de estudio el modelo de red neuronal artificial, para tener los 4 niveles de susceptibilidad por flujos de detritos en la microcuenca Sahuanay, estos niveles se clasificaron a través de la distribución de Natural Breaks (Jenks), ya que esta muestra niveles más lógicos que otras distribuciones como intervalos iguales, cuantiles o intervalos geométricos (Figura 50).

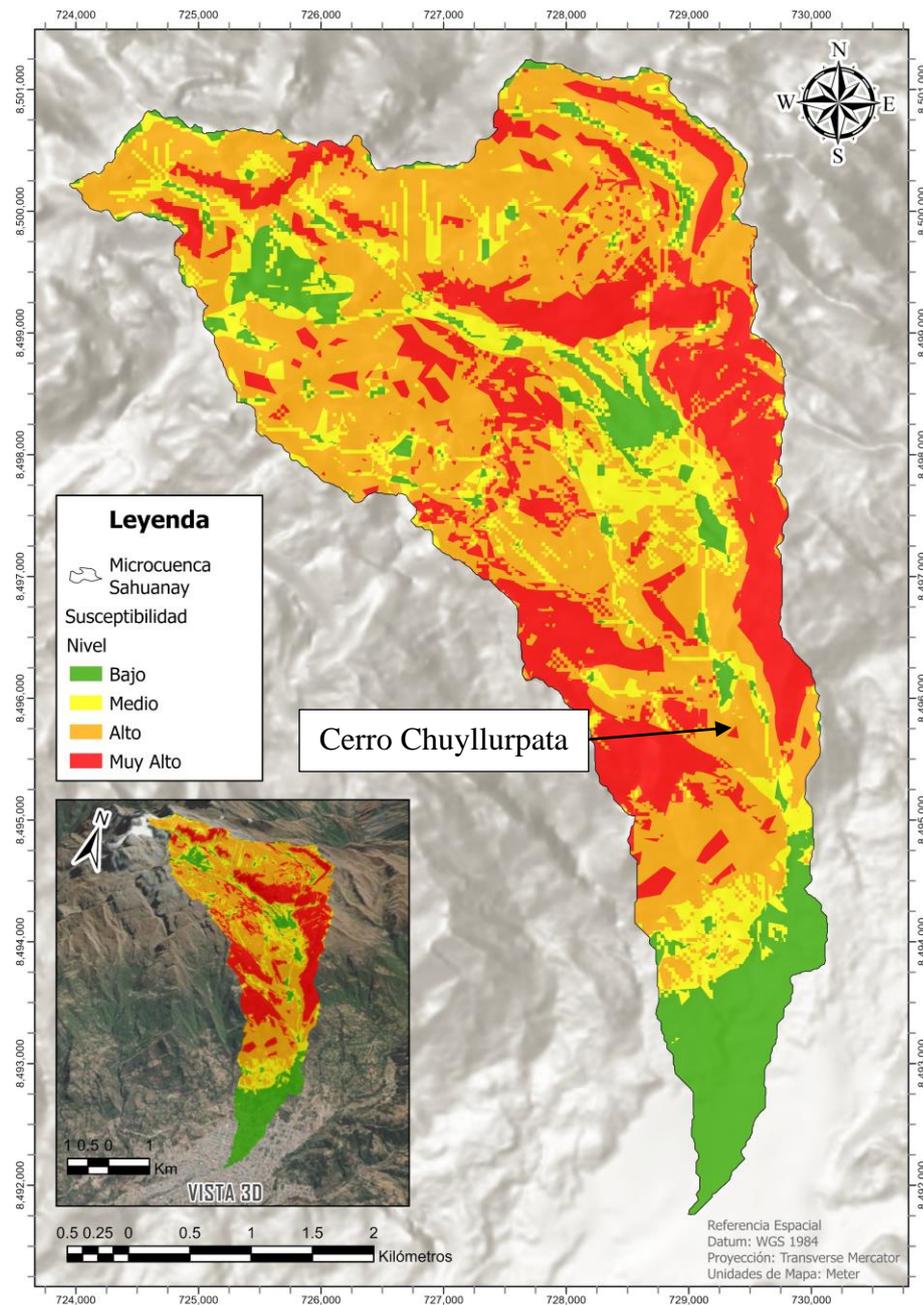


Figura 50 — Mapa de susceptibilidad por flujo de detritos (Sahuanay)

Una vez determinado la susceptibilidad por flujo de detritos, se observa que en la microcuenca Sahuanay las áreas de nivel muy alto (rojo), dan mayor probabilidad a flujos de detritos, esto no implica que todas estas áreas se activaran al mismo tiempo, sino que a partir de ellas se debe evaluar su posible evento o desenlace del flujo de detritos, para el estudio se ratifica que la zona del cerro Chuyllurpata, presentando niveles alto y muy alto, además, esta es de mayor impacto debido a que el cauce principal pasa al pie del talud del cerro Chuyllurpata. A partir de aquí se realiza los estudios concernientes a la determinación del peligro, vulnerabilidad y riesgo.

5.1.1.3 Topografía y cartografía

Partiendo del análisis de susceptibilidad por flujos de detritos en la microcuenca Sahuanay, se obtuvo el área para el modelamiento por flujo de detritos (pre modelamiento). La topografía del área de estudio se utilizó a través de la fotogrametría usando planes de vuelo mediante un dron multirrotor, donde se obtuvieron sectores aguas abajo del lugar del evento (flujo de detritos), este método fue semi automático, la cual consistió en realizar capturas de imágenes a una altura determinada. Cabe resaltar que incluyó un preprocesamiento para realizar la fotogrametría.

Fotogrametría

Se establecieron un total de 2,899 imágenes con altitudes promedio de 219 m (variable según sus condiciones de obstáculos), resolución del terreno 5.45 cm/pixel, área del vuelo de 7.04 Km² (Figura 51).



Figura 51 — Capturas de imágenes de vuelo RPAS

De acuerdo al reporte de procesamiento generado por el programa Agisoft Metashape, se obtuvo las características de la cámara (Tabla 29).

Tabla 29 — Reporte de propiedades de la cámara del vuelo en DRON

Modelo de cámara	Resolución	Longitud focal	Tamaño de pixel	Pre calibrado
FC6310R	5472 x 3648	8.8 mm	2.41 x 2.41 μm	Si

A partir de ello se procedió a la calibración de coeficientes y se realizó el proceso de fotogrametría, de esta manera se obtuvo valores y resultados correctos, según el reporte del software Agisoft Metashape (Tabla 30).

Tabla 30 — Coeficientes de calibración y matriz de correlación

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3664.23	0.049	1.00	0.17	0.09	-0.87	0.69	-0.56	-0.22	-0.14
Cx	8.13562	0.0045		1.00	0.04	-0.13	0.11	-0.08	-0.45	0.03
Cy	30.3096	0.0038			1.00	-0.08	0.07	-0.06	0.01	-0.59
K1	-0.263975	7.2e-06				1.00	-0.90	0.76	0.22	0.14
K3	0.102597	7.4e-06					1.00	-0.97	-0.16	-0.12
P1	-0.0266242	3.7e-06						1.00	0.12	0.10
P2	-0.000517751	1.6e-07							1.00	-0.01
P3	-0.000484074	1.6e-07								1.00

Donde:
F: Longitud focal (pixel)
Cx, Cy: Desplazamiento del punto principal (pixel)
K1, K2, K3: Coeficientes de distorsión radial (adimensional)
P1, P2: Coeficientes de distorsión tangencial (adimensional)

Geodesia

Para la corrección y mejor ajuste de las imágenes de la cámara fue necesario utilizar una estación diferencial (Figura 52) como base en cada plan de vuelo, se hicieron un total de 17 planes de vuelo de acuerdo a un pre procesamiento previo que obtuvo la mancha de inundación, con el objetivo de delimitar el área de afectación y la optimización de recursos en la fase de fotogrametría. Una característica importante fueron la no interferencia de vehículos, personas, visibilidad visual, tráfico aéreo, etc. El método fue de RTK (Real Time Kinematic, siglas en inglés) o cinemática en tiempo real.



Figura 52 — Estación diferencial en diferentes puntos del plan de vuelo

Clasificación de la nube de puntos

Se realizó la nube de puntos densa, para posteriormente clasificarlo de acuerdo a su tipología del material o de objeto (Figura 53), con la finalidad del desarrollo del Modelo Digital de Elevación o Modelo Digital de Terreno, ya que estas no consideran elementos como árboles, viviendas, muros, desmonte, objetos móviles o estacionales (vehículos, personas, residuos, entre otros).



Figura 53 — Nube de puntos de la fotogrametría

Nota: Nube de puntos densa (izquierda), clasificación de la nube de puntos (derecha)

La clasificación de puntos se realizó bajo un proceso semi automático, interoperando con las fotografías de cada área correspondiente, se consideraron muros de concreto armado o de resistencia, ya que estas fueron diseñadas para cargas hidráulicas o similares, por ende, estas pueden resistir el impacto del flujo de detritos.

5.1.1.3.1 Modelo digital de elevación

A partir de la clasificación de puntos se elaboró el Modelo Digital de Elevación (MDE) o de Terreno (MDT), para ser usado en el modelamiento hidráulico. Se obtuvo una resolución original de 21.8 cm/píxel del MDE, siendo de muy alta resolución, ya que el área de estudio contempla detalles muy importantes a considerar en el modelo hidráulico, las cuales son carreteras, calles, muros de contención, canal principal y cunetas, en las zonas de vegetación densa se obviaron el proceso de depuración para el MDE (Figura 54), debido a la carencia de puntos de amarre o interpolación en el desarrollo del filtrado, cabe mencionar que no era necesario dicho proceso, ya que el punto del hidrograma de entrada empieza en la parte baja de la estación ecológica de SERNANP (área de poca densidad vegetativa).

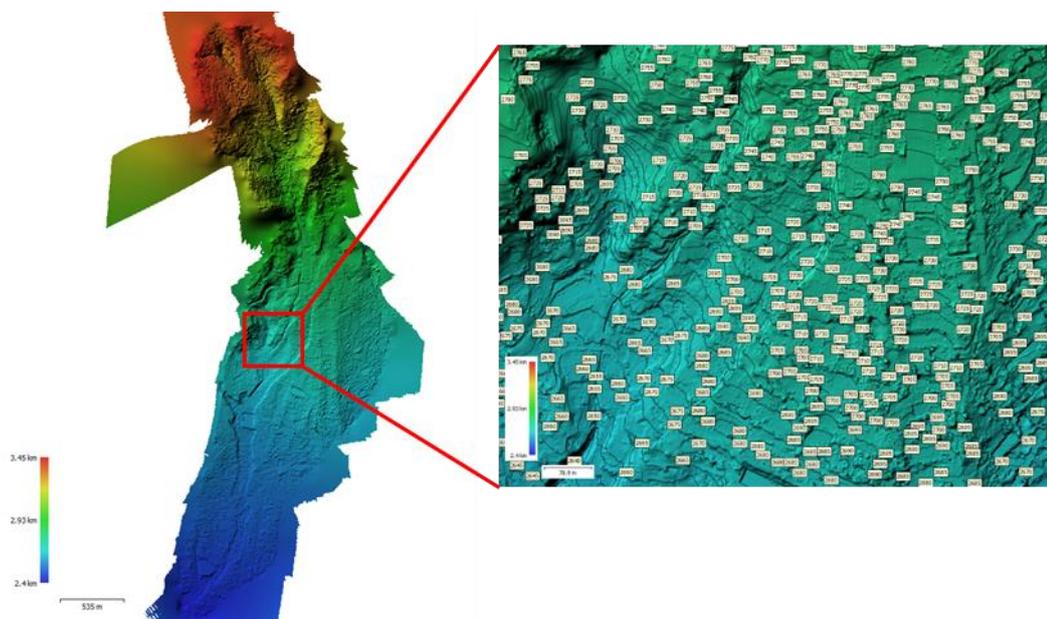


Figura 54 — Modelo Digital de Elevación y sus respectivas curvas de nivel

5.1.2 Fase: Análisis del Riesgo (Risk Analysis)

5.1.2.1 Modelamiento hidrológico

El cálculo del hidrograma de salida del modelo hidrológico es la componente principal del modelamiento hidráulico, debido a su modelo precipitación – escorrentía, se obtuvo la precipitación bajo dos perspectivas, una estación de observación, estación automática San Antonio (Figura 55), y otra sintética de la data simulada grillada PISCO de SENAMHI (Figura 56), fue necesario realizar una Bonda de Ajuste ente la observada y la simulada, con la finalidad de su aplicabilidad en la microcuenca Sahuanay.

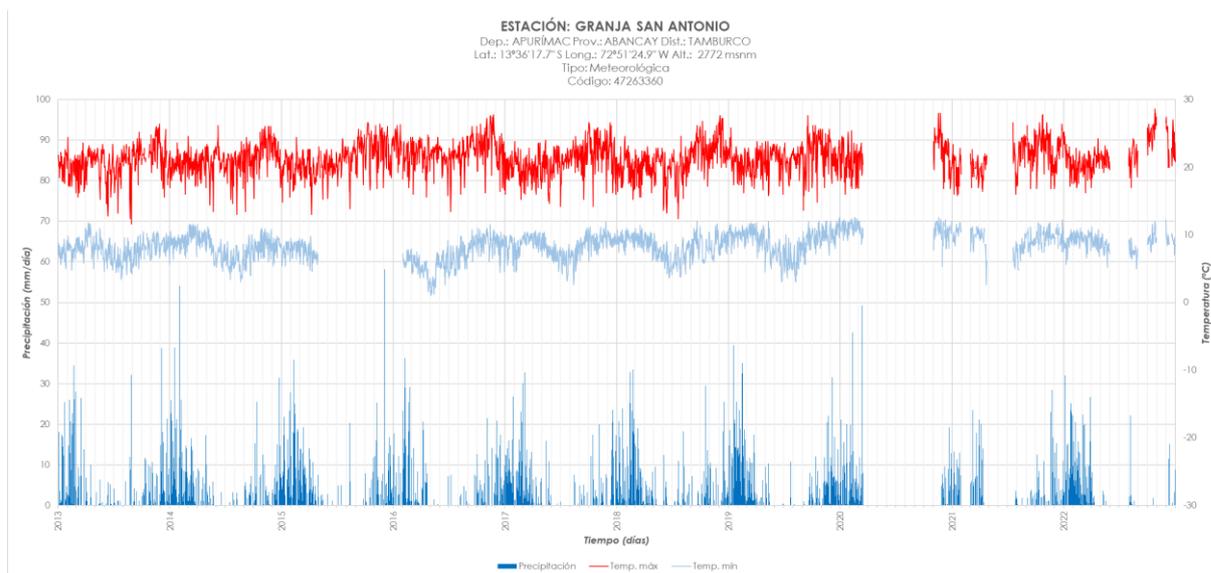


Figura 55 — Registro histórico de precipitaciones (EMA Granja San Antonio)

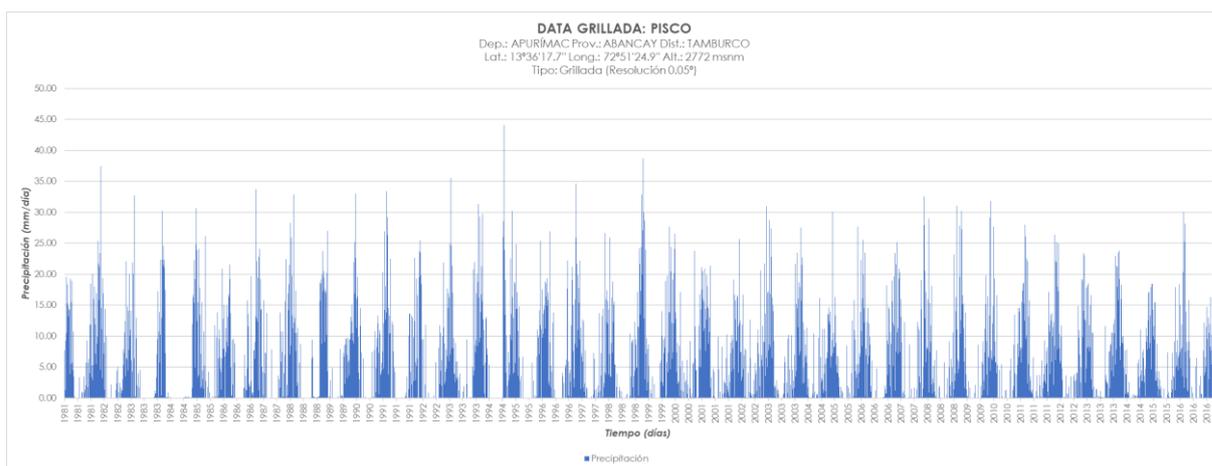


Figura 56 — Registro histórico de precipitaciones (Data Grillada PISCO)

Data grillada PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations)

Esta data grillada brindada por SENAMHI con información meteorológica para todo el Perú (Figura 57), con resolución temporal diaria (24 h), resolución espacial 0.05° (aproximadamente 5Km). Fue construido con covariable, la base de datos global del proyecto CHIRPS (Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data), esta utiliza datos provenientes de sensores remotos, modelos y datos provenientes de estaciones de observación o terrenas, el periodo de datos registrados 1981 hasta el presente (AYBAR et al. 2017).

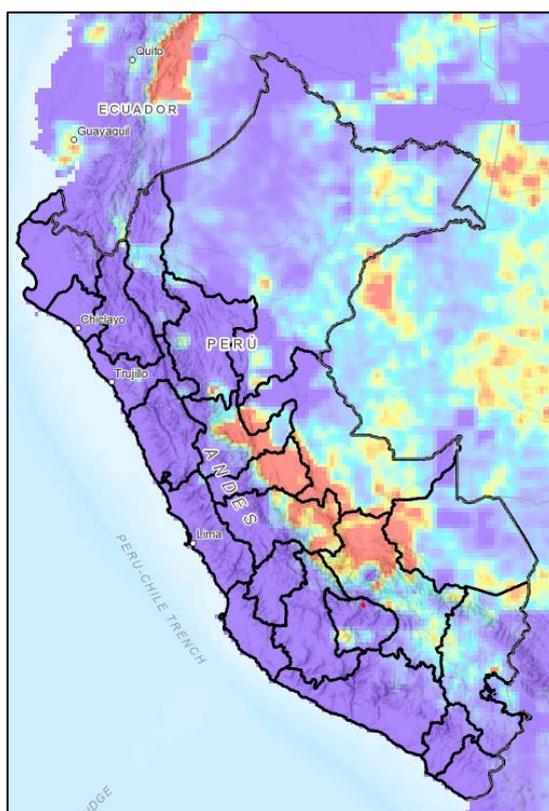


Figura 57 — Data grillada PISCO de precipitación a nivel nacional

La descarga de datos se realizó a través del programa estadístico R y sus librerías de extracción de datos en formato NetCDF (Network Common Data Form), extrayéndose la data desde 1981 al 2016 (Figura 58), debido que esta versión es de acceso libre y descarga gratuita, las coordenadas de extracción fueron latitud 13°36'17.7'' y longitud 72°51'24.9'' (ubicación de la estación Granja San Antonio).

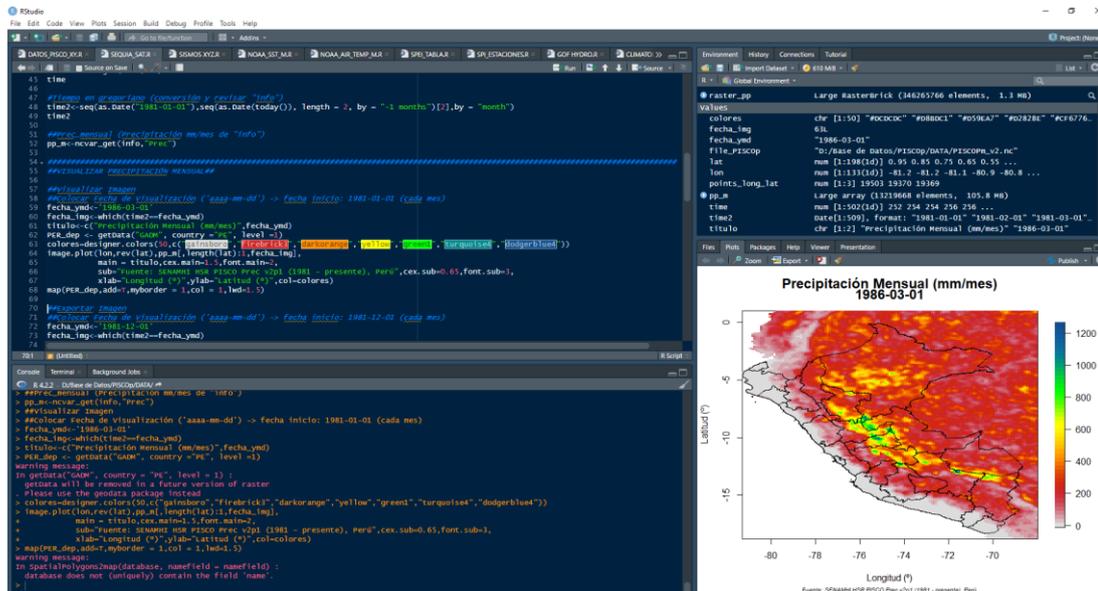


Figura 58 — Extracción de datos de precipitación de la data grillada PISCO

Se descargaron las precipitaciones diarias con un tamaño de pixel de 0.05° o 5Km aproximadamente.

Prueba de Bondad de Ajuste

La prueba de Bondad de Ajuste se realizó en el programa estadístico R, aplicando librerías de bondad de ajuste (GoF, Goodness of Fit), aplicando en la misma ubicación espacial del observado (Granja San Antonio) y simulado (data grillada PISCO). Se realizó la prueba para dos tipos de escalas temporales, una diaria y otra mensual, debido que es necesario para conocer la correlación entre lo observado y simulado (Figura 59), y así ser utilizado en la microcuencia Sahanay, donde la escala diaria será la que presente menor correlación, debido a su mayor número de datos.

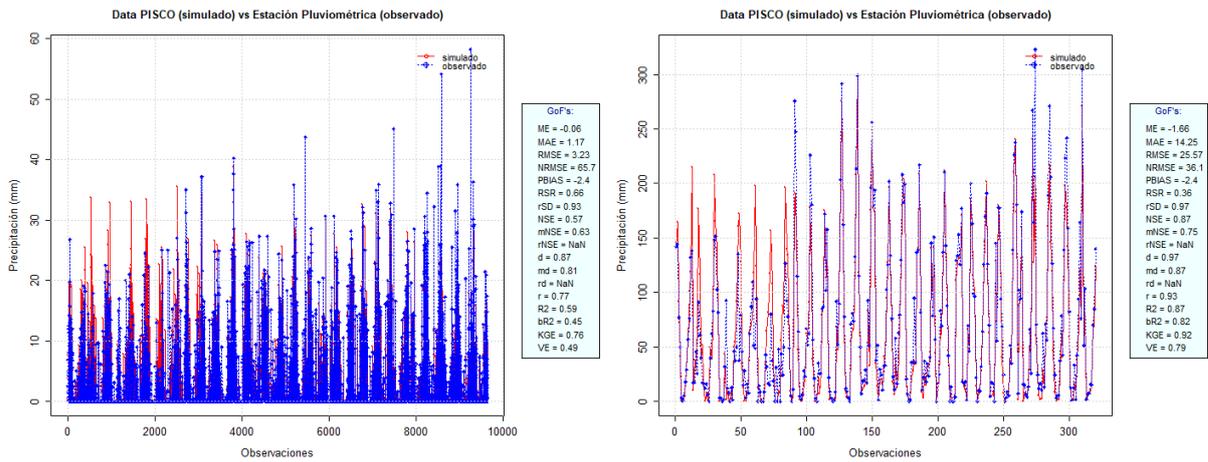


Figura 59 — Pruebas de bondad de ajuste entre observada y simulada

Nota: observada (Granja San Antonio) y simulada (PISCO), escala diaria (izquierda), escala mensual (derecha)

Los resultados obtenidos respecto a la Figura 59 (GoF's), para las escalas temporales diarias y mensuales (Tabla 31), son los siguientes:

Tabla 31 — Resultados de la prueba de bondad de ajuste diaria y mensual

Escala temporal	ME	MAE	RMSE	NRMSE %	PBIAS %	rSD	NSE	mNSE	r	R2	bR2
Diario	-0.06	1.17	3.23	65.7	-2.4	0.93	0.57	0.63	0.77	0.59	0.45
Mensual	-1.68	14.25	25.57	36.1	-2.4	0.97	0.87	0.75	0.93	0.87	0.82

ME: Error medio
 MAE: Error absoluto medio
 RMSE: Error cuadrático medio
 NRMSE: Error cuadrático medio normalizado
 PBIAS: Porcentaje de sesgo
 rSD: Relación o tasa de desviación estándar
 NSE: Eficiencia de Nash – Sutcliffe
 mNSE: Eficiencia de Nash – Sutcliffe modificado
 r: Coeficiente de correlación producto – momento de Pearson
 R2: Coeficiente de determinación
 bR2: R2 multiplicado por la pendiente de la regresión lineal entre lo “observado” y “simulado”

De acuerdo a los resultados de la Tabla 31, los índices más usados en la correlación de variables hidrológicas (precipitación y caudal), son R² (coeficiente de determinación) y NSE (eficiencia

de Nash – Sutcliffe), los valores de correlación según sus propiedades se dan a continuación (Tabla 32 y Tabla 33) respectivamente.

Tabla 32 — Valores de la prueba de coeficiente de determinación (R^2)

Propiedades	Valor R^2
Muy fuerte	$0.80 < R^2 \leq 1.00$
Fuerte	$0.49 < R^2 \leq 0.80$
Moderado	$0.16 < R^2 \leq 0.49$
Débil	$0.04 < R^2 \leq 0.16$
Despreciable	$R^2 \leq 0.04$

Extraído de: Optimizing radar-based rainfall (Hassan et al. 2022)

Tabla 33 — Valores de la prueba de Nash – Sutcliffe (NSE)

Propiedades	Valor NSE
Muy bueno	$0.75 < NSE \leq 1.00$
Bueno	$0.65 < NSE \leq 0.75$
Satisfactorio	$0.50 < NSE \leq 0.65$
Insatisfactorio	$NSE \leq 0.50$

Extraído de: Optimizing radar-based rainfall (Hassan et al. 2022)

De los resultados obtenidos de la bondad de ajuste entre la observada y simulada (Tabla 31), se comparan con la Tabla 32 y Tabla 33 para conocer sus valores de correlación entre la estación Granja San Antonio y la data grillada PISCO (Tabla 34).

Tabla 34 — Grado de aceptabilidad de la bondad de ajuste

Escala temporal	R^2 (Grado)	NSE (Grado)	Observación
Diaria	0.59 (Fuerte)	0.57 (Satisfactorio)	Se acepta
Mensual	0.87 (Muy Fuerte)	0.87 (Muy bueno)	Se acepta

A nivel gráfico del R^2 se observaron los puntos de dispersión (muestra de datos de observación y simulación), dando a entender que la pendiente de cada recta da el nivel de similitud entre ambas, mientras más cercana a 1 indicará mejor similitud, para la escala diaria se tiene 0.716 y mensual 0.9022, esta última presenta mejor similitud.

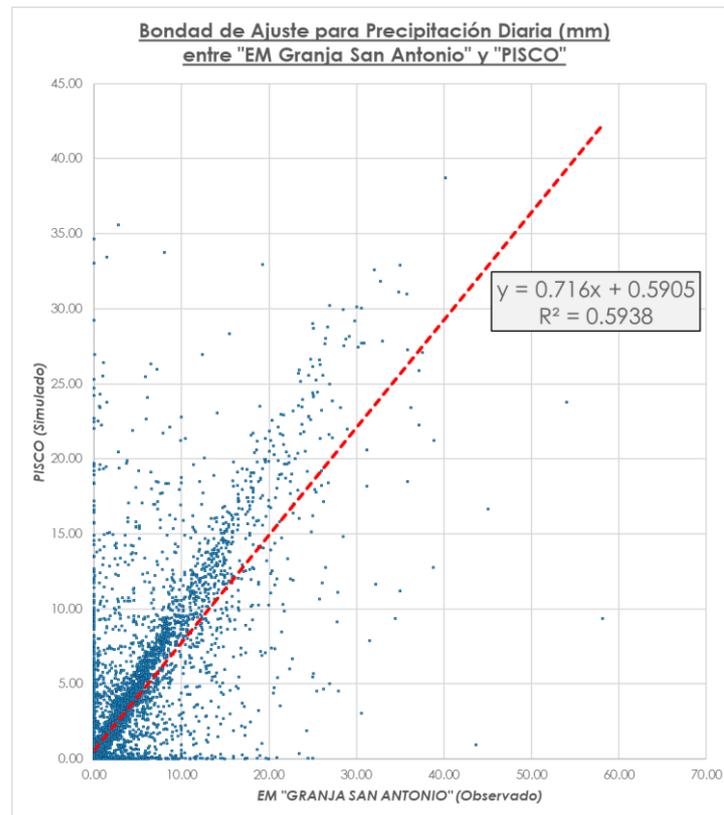


Figura 60 — Pruebas de bondad de ajuste R^2 (diario)

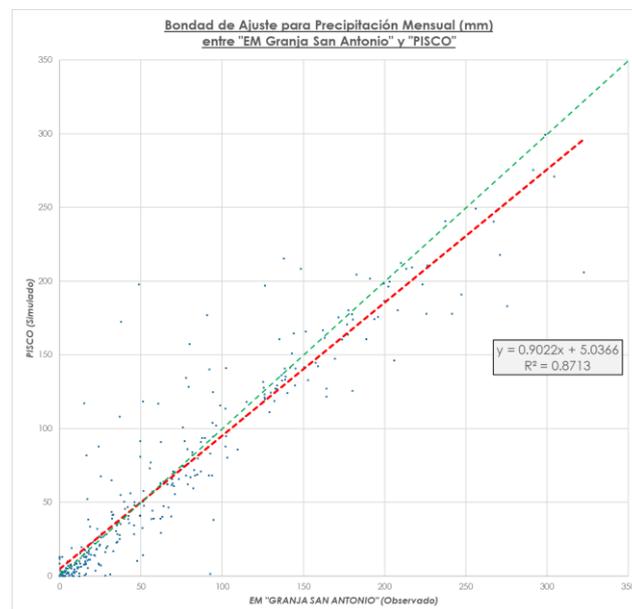


Figura 61 — Pruebas de bondad de ajuste R^2 (mensual)

Por lo expuesto en la Tabla 34, Figura 60 y Figura 61, se demuestra que hay una buena correlación entre la observada (estación meteorológica Granja San Antonio) y simulada (data grillada PISCO), se aplicaron la data grillada PISCO en la microcuenca Sahuanay. La data grillada PISCO para el área de estudio (microcuenca Sahuanay), se utilizaron 3 pixeles de PISCO, que indicarán la cuenca alta (SB-3), media (SB-2) y baja (SB-1, área urbana). Las precipitaciones en los Andes aumentan directamente proporcional a la altitud (Figura 62).

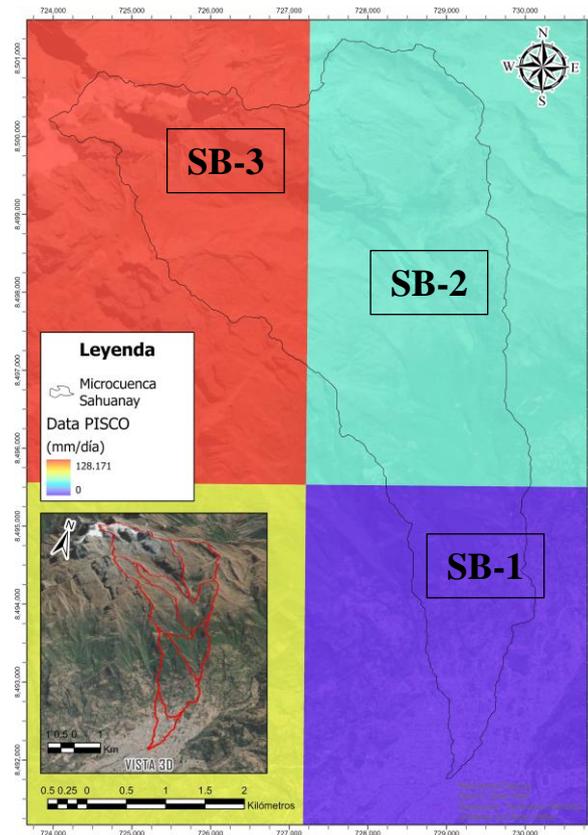


Figura 62 — Data grillada PISCO en 3 zonas

Se ha delimitado la microcuenca Sahuanay a través de la data satelital topográfica de Land Viewer (EOS Data Analytics – EOSDA), a una resolución de 5 m de su base de teselas de terreno mundial. Se delimitó la cuenca en 7 subcuencas aportantes, con el fin de especializar y distribuir las condiciones de terreno y precipitación (Figura 63).

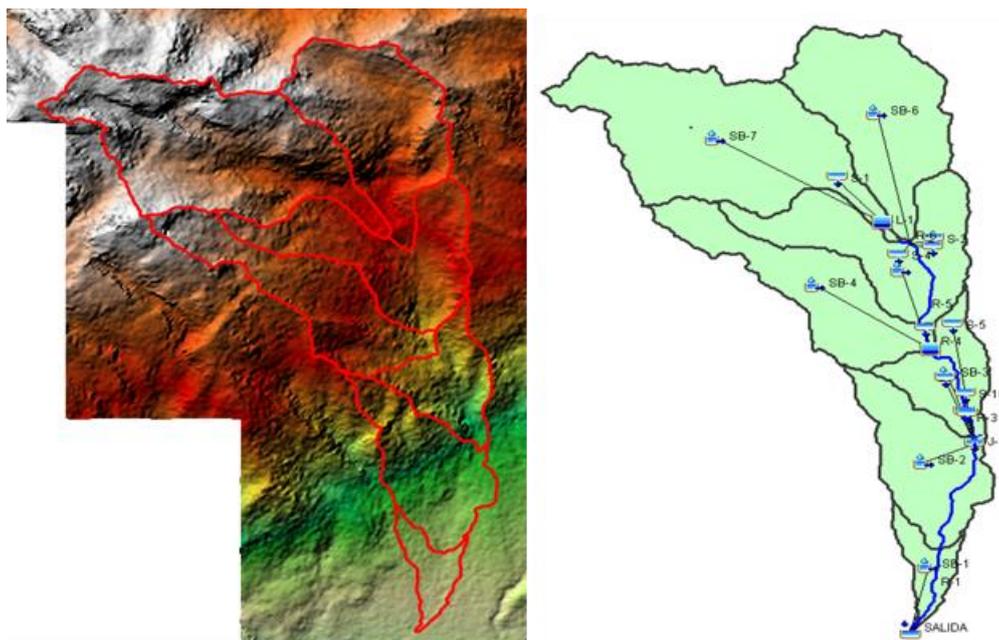


Figura 63 — Modelo hidrológico de la microcuenca Sahuanay

Validación de la data hidrológica obtenida

Los valores de precipitación anual acumulada de la data PISCO, para las 3 estaciones virtuales, tienen picos cercanos a 1200, 1100 y 1300 mm/año para las estaciones virtuales E-1, E-2 y E-3 respectivamente (Figura 64), esto tiene relación con los datos de con la data de precipitación media anual a largo plazo (KIRSCHBAUM et al. 2017) para el Perú según datos de TMPA (Tropical Rainfall Measuring Mission), periodo 1998 – 2013 (Figura 65), dando un valor oscilante entre 1200 mm/año en la microcuenca Sahuanay. Se realizó con el fin de dar validez a través de la semejanza con otra fuente oficial y validada como el TMPA de la NASA.

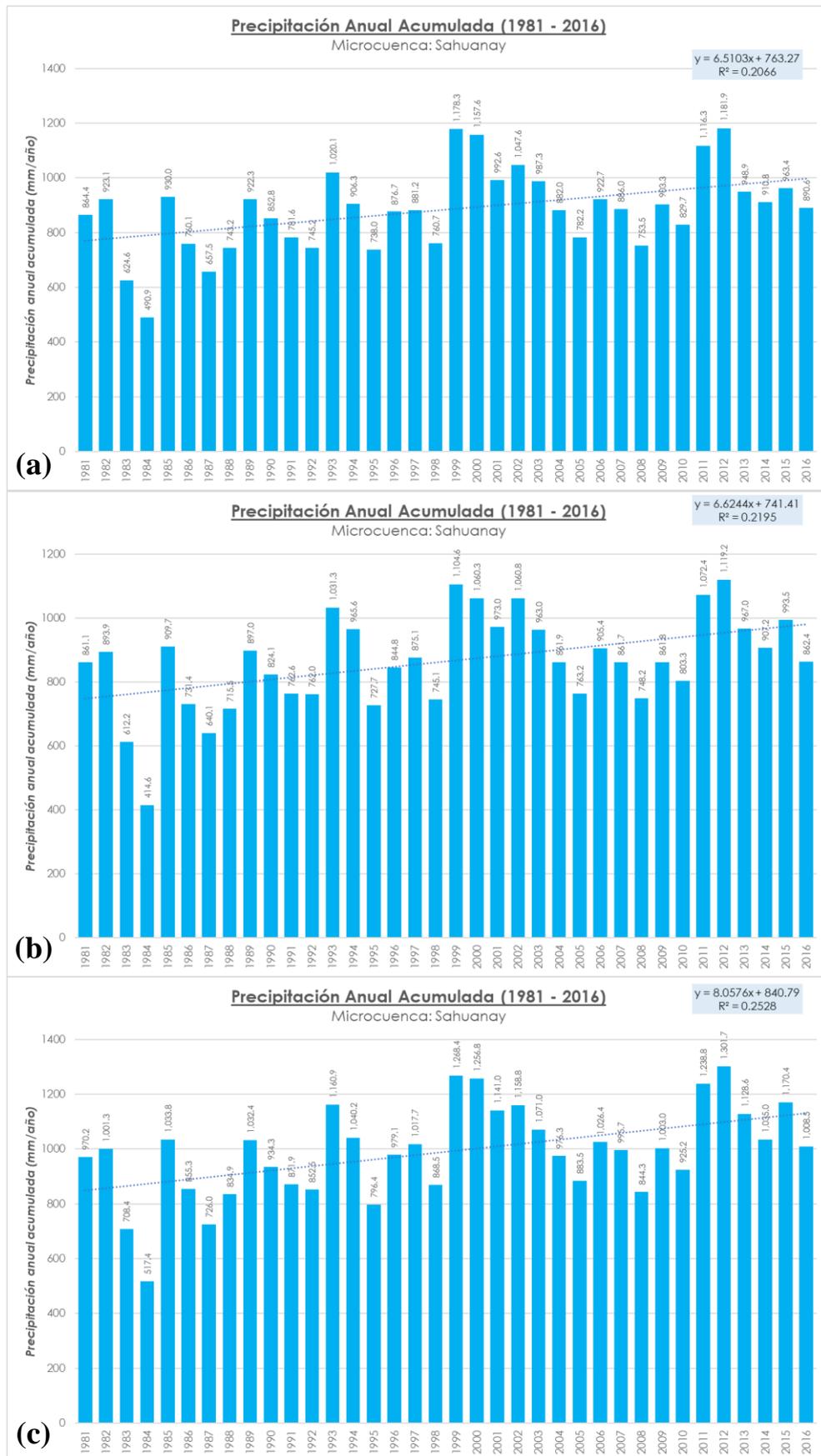


Figura 64 — Precipitación anual acumulada

Nota: Estación virtual E-1 (a), E-2 (b) y E-3 (c)

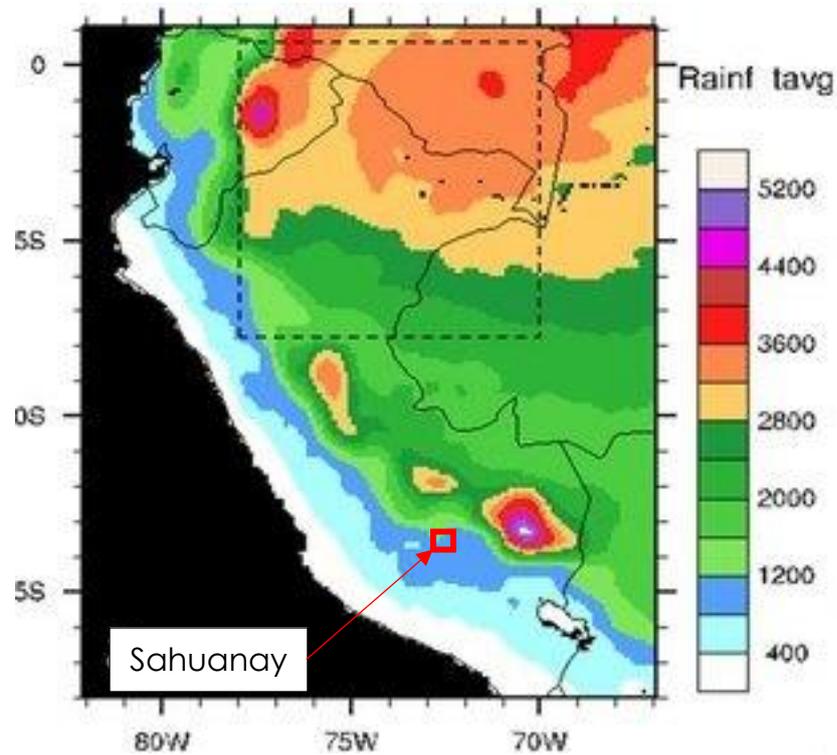


Figura 65 — Precipitación media anual a largo plazo, TMPA (1998 – 2013)

Extraído de: NASA's remotely sensed precipitation (Kirschbaum et al. 2017)

Parámetros geomorfológicos

Para la microcuenca Sahuanay se ha determinado los parámetros más importantes, dimensiones (Tabla 35), forma (Tabla 36) y relativo al relieve (Tabla 37).

Tabla 35 — Dimensiones de la microcuenca Sahuanay

Característica	Resultado
Área (A)	23.16 Km ² (microcuenca)
Perímetro de la cuenca (P)	29.81 Km
Longitud del cauce principal (L)	14.20 Km
Centroide X – Este (UTM18S)	727,942.33 m
Centroide Y – Norte (UTM18S)	8'497,858.27 m

Tabla 36 — Parámetros de forma de la microcuenca Sahuanay

Característica	Fórmula	Resultado y observación
Ancho promedio de la cuenca	$\frac{A}{L}$	1.63 Km
Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius	$\frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$	1.75 (oval oblonga a rectangular oblonga)
Factor de forma de Horton	$\frac{A}{L^2}$	0.11 (muy alargada)
Índice de circularidad de Miller	$\frac{4\pi A}{P^2}$	0.33 Km (ovalada)
Rectángulo equivalente – lado mayor	$\frac{P}{4 + \sqrt{\frac{P^2}{16}} - A}$	13.14 Km
Rectángulo equivalente – lado menor	$\frac{P}{4 - \sqrt{\frac{P^2}{16}} - A}$	1.76 Km

Tabla 37 — Parámetros relativos al relieve de la microcuenca Sahuanay

Característica	Resultado
Altitud más alta	5162.45 m
Altitud más baja	2400.89 m
Diferencia altitudinal	2761.56 m
Altitud media	3967.97 m
Pendiente máxima	78.40°
Pendiente mínima	0.05°
Pendiente media	26.16°

La curva hipsométrica de la microcuenca Sahuanay muestra que las altitudes distribuidas dentro del perímetro (divisoria de aguas), entre el rango de 5200 – 4100 se concentra el 50% de las altitudes (Figura 66), indicando una gran diferencia altitudinal concentrada (susceptible a movimientos en masa y/o flujo de detritos). Esto puede complementarse con la madurez de la cuenca, siendo la fase de juventud (curva A), madurez (curva B) y vejez (curva C), para la microcuenca se encuentra en una fase de transición de joven a madura (Figura 67).

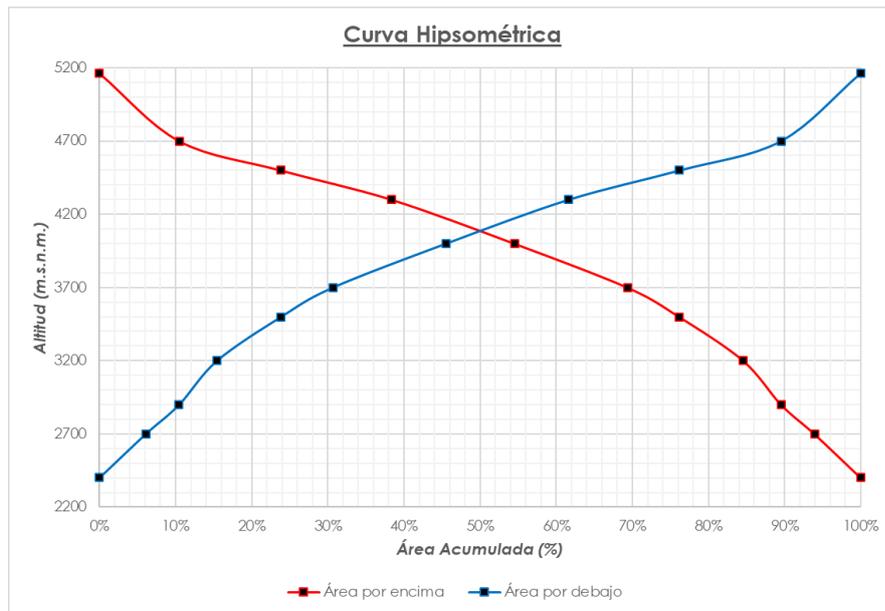


Figura 66 — Curva hipsométrica de la microcuenca Sahuanay

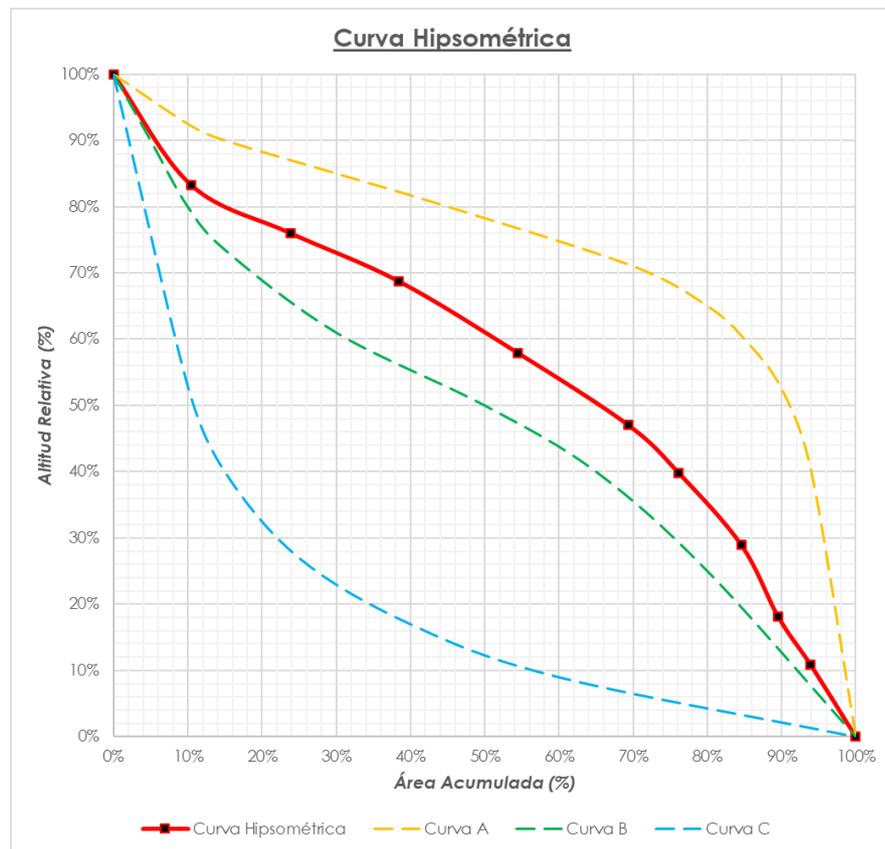


Figura 67 — Curva hipsométrica y su fase de madurez

La curva hipsométrica de la misma muestra a nivel de frecuencias de altitudes una mayor concentración de 16% en el rango de 4000 – 4300 (Figura 68).

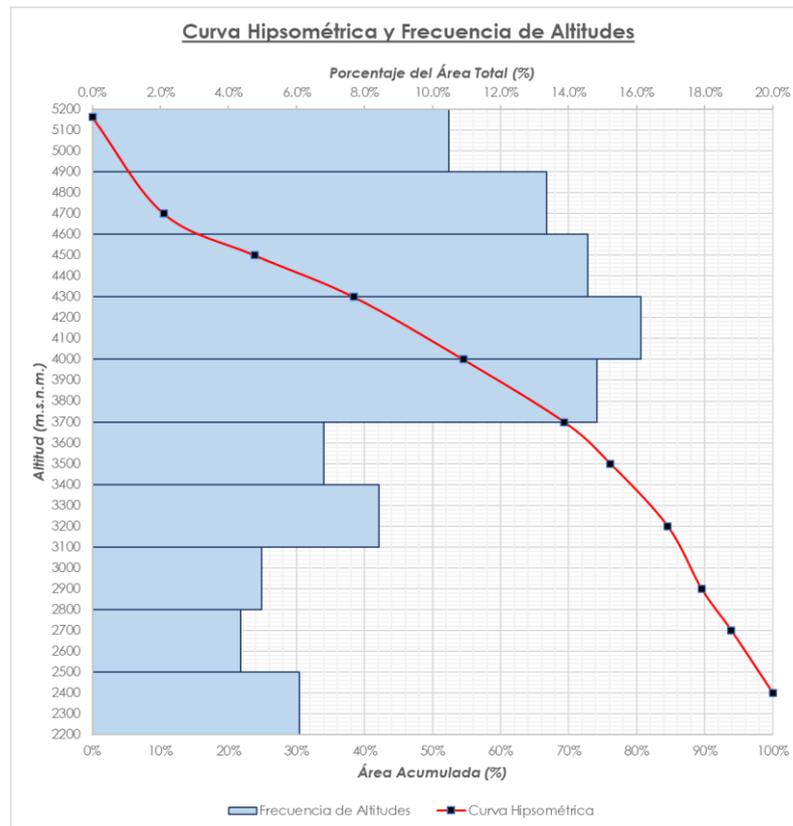


Figura 68 — Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes

De acuerdo a (ARANCIBIA 1998) la clasificación de quebradas de la investigación “Criterios para el manejo de quebradas y su aplicación en el diseño de obras civiles”, para la microcuenca se obtuvo un riesgo alto debido a que la vía evitamiento o interoceánica al ser bloqueado o destruido, esta provocaría grandes efectos negativos ya que es un nexo principal de Lima hacia Brasil (Tabla 38).

Tabla 38 — Clasificación de la quebrada Sahuanay

Clasificación por	Resultado	Observación
Localización	A	Vertiente del Atlántico, región Suni
Pendiente	A	Fuerte
Área	B	Mediana
Naturaleza del suelo	A	Alta contribución
Tipo de vía	A	Duales y 1ra clase (vía evitamiento – interoceánica)
Clasificación de quebrada	Tipo I	Alto riesgo

Extraído de: Clasificación de quebradas (Arancibia 1998)

Tiempo de concentración

Aplicando el modelo hidrológico del HEC-HMS, la microcuenca Sahuanay se compone de 7 subcuencas aportantes, el tiempo de retardo aplicando los diferentes métodos más usados (Tabla

39), se consideró la ecuación de retardo del SCS (Soil Conservation Service) debido que esta muestra valores no tan extremos a diferencia de los demás métodos. Dentro de la microcuenca Sahuanay se aplicaron a 7 subcuencas aportantes.

Tabla 39 — Tiempo de concentración en las subcuencas aportantes

Subcuenca N°	Método							Promedio	Mediana
	USACE HEC-HMS (min)	Kirpich (min)	Snyder (min)	California Culverts Practice (min)	Ecuación de Retardo SCS (min)	Bransby Williams (min)	Témez (min)		
SB - 1	54.77	18.12	131.25	18.13	40.94	59.49	55.27	53.99	54.77
SB - 2	55.51	17.11	154.93	17.11	42.05	62.36	61.23	58.61	55.51
SB - 3	49.42	13.90	137.79	13.90	40.33	50.31	50.15	50.83	49.42
SB - 4	69.26	23.06	191.41	23.07	67.29	88.09	80.99	77.60	69.26
SB - 5	66.91	22.99	178.86	23.00	73.93	84.10	79.01	75.54	73.93
SB - 6	73.03	24.74	184.97	24.75	76.85	87.41	82.74	79.21	76.85
SB - 7	89.82	30.71	233.27	30.72	64.63	108.91	101.43	94.21	89.82

El tiempo de retardo o “lag time” para las subcuencas aportantes, se determinó por el método del SCS, fue determinado en minutos (Tabla 40).

Tabla 40 — Tiempo de retardo de las subcuencas aportantes

Subcuenca N°	Time of Concentration (Hr)	Lag Time (Hr)	Lag Time (min)	Área (Km ²)
SB - 1	0.68	0.41	24.57	0.76
SB - 2	0.70	0.42	25.23	2.78
SB - 3	0.67	0.40	24.20	1.75
SB - 4	1.12	0.67	40.37	3.35
SB - 5	1.23	0.74	44.36	3.63
SB - 6	1.28	0.77	46.11	4.23
SB - 7	1.08	0.65	38.78	6.67

Enrutamiento

Se identificaron 6 rutas o cauces de articulación del modelo respecto a las subcuencas aportantes (Tabla 41), estas rutas unen ríos, quebradas, manantes, lagunas y el nevado Ampay.

Tabla 41 — Enrutamientos de las subcuencas aportantes

Tramo N°	Long. (Km)	Pendiente (m/m)	Relieve (m)	Sinuosidad
T - 1	1.48	0.10	144.06	1.14
T - 2	1.03	0.11	109.51	1.14
T - 3	2.89	0.23	650.25	1.25
T - 4	0.40	0.05	21.53	1.11
T - 5	1.59	0.20	323.03	1.19
T - 6	0.15	0.31	47.52	1.05

Número de curva (CN)

El número de curva para la microcuenca Sahuanay fue determinado a partir de la información del satélite óptico SENTINEL-2 de la Agencia Espacial Europea (ESA) aplicando productos multiespectrales del monitoreo de la Tierra (PHIRI et al. 2020), de resolución 10m/píxel, adaptada como uso de suelo / cobertura de suelo (land use / land cover “LULC”), se clasifican en 9 tipos de usos de suelo (Figura 69).

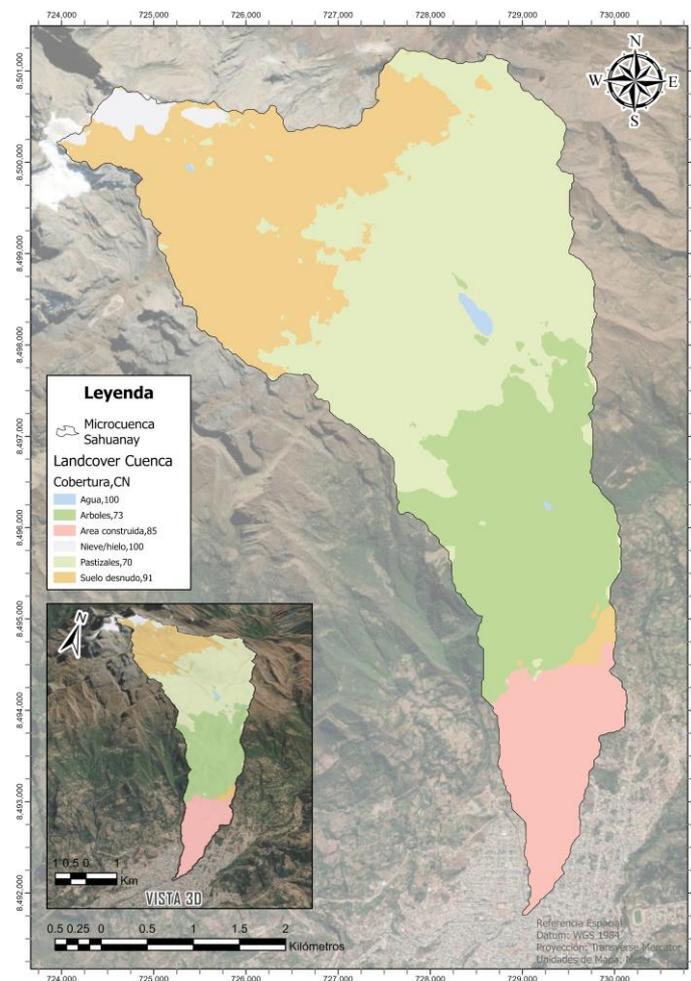


Figura 69 — Mapa de número de curva (CN) para la microcuenca Sahuanay

Se asignaron números de curva CN(II) en condiciones normales, en temporadas húmedas CN(III) para la microcuenca (Tabla 42), debido que el escenario esta realizado en temporadas de lluvias (enero – abril).

Tabla 42 — Números de curva CN (III) asociados al tipo de uso de suelo

Uso de suelo	Agua	Árboles	Área construida	Nieve / hielo	Pastizales	Suelo desnudo
CN(II)	100	73	85	100	70	91
CN(I)	100	53	70	100	49	81
CN(III)	100	86	93	100	84	96

A nivel de subcuencas (Tabla 43) de Sahuanay.

Tabla 43 — Número de curva de las subcuencas

Numero de Curva	SB-1	SB-2	SB-3	SB-4	SB-5	SB-6	SB-7
CN(II)	86.29	73.51	71.66	74.73	73.86	79.84	85.0

Hidrogeología (manantes o agua subterránea)

Fue realizado por el INGEMMET en su estudio “Evaluación integral de la cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac) para la prevención de desastres de origen geológico y geohidrológico” (VILLACORTA et al. 2019), sumando al modelo hidrológico como manantes o fuentes (temporada húmeda o de lluvias). El caudal de salida de cada manante fue obtenido en litros/segundo (Tabla 44) y el corte conceptual (Figura 70).

Tabla 44 — Fuentes o manantes de agua de la microcuenca Sahuanay

COD	Tipo de fuente	X (UTM)	Y (UTM)	Z (m.s.n.m.)	Q (l/s)	Q (m³/s)	pH	Salinidad
001	Manantial	727990	8498831	3870	6.5	0.0065	8.31	0.142
002	Punto de control	728622	8498100	3810	0	0	8.79	0.124
003	Manantial	729305	8497869	3546	0.8	0.0008	7.94	0.098
004	Manantial	729290	8497737	3665	0.2	0.0002	6.5	0
005	Manantial	728820	8497613	3683	0.5	0.0005	7.2	0.236
007	Manantial	729563	8496551	3427	0.5	0.0005	6.64	0.143
008	Manantial	729190	8496453	3327	3.2	0.0032	6.73	0.228
009	Punto de control	729285	8496203	3302	0	0	6.68	0.138
012	Manantial	729470	8495676	3175	3.5	0.0035	6.62	0.28

013	Manantial captado	729742	8495436	3015	5.77	0.00577	6.65	0.304
014	Manantial	729727	8495147	2962	0.5	0.005	6.65	0.85
015	Manantial	729773	8495123	2923	0.6	0.006	6.63	0.544

Extraído de: INGEMMET (Villacorta et al. 2019)

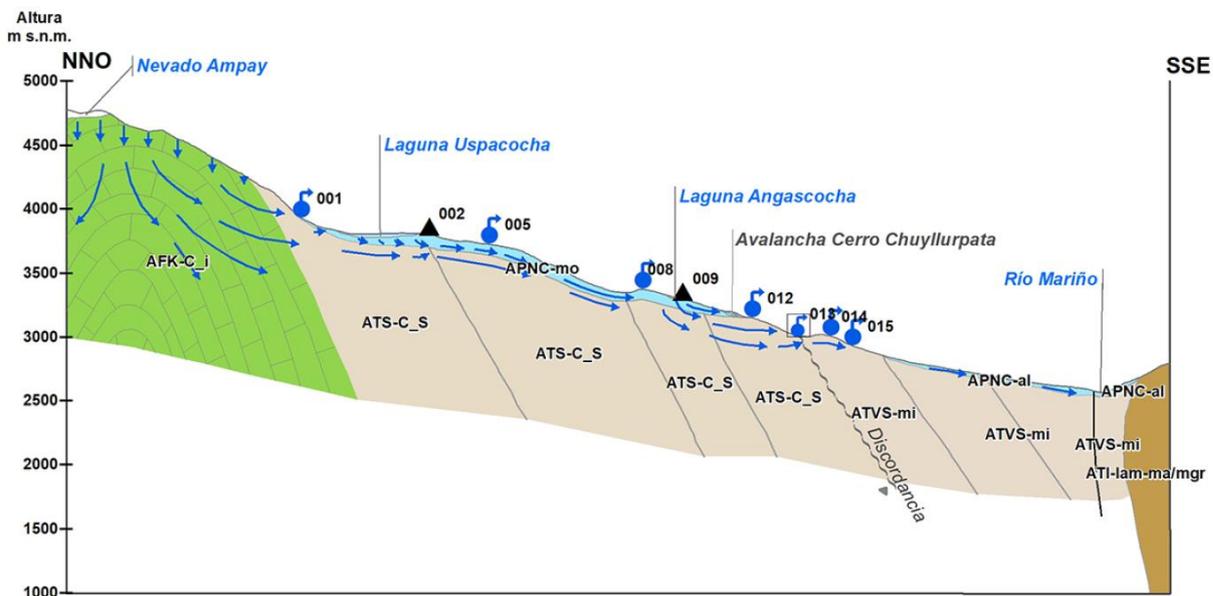


Figura 70 — Modelo hidrogeológico conceptual de flujo de agua subterránea

Nota: Corte a lo largo de la quebrada Sahuanay y Ampay

Extraído de: INGEMMET (Villacorta et al. 2019)

Precipitación máxima

Se aplicó para las tres estaciones virtuales a partir de la data grillada PISCO de SENAMHI, estas precipitaciones generadas de las estaciones virtuales (Tabla 45) están asociadas a sus subcuencas aportantes (SB)

Tabla 45 — Ubicación de estaciones virtuales y su respectiva asociación

Estación Virtual	Longitud (°)	Latitud (°)	Subcuencas asociadas (SB)
E – 1	-72.875	-13.615	1 y 2
E – 2	-72.885	-13.575	4 y 7
E – 3	-72.915	-13.565	3, 5 y 6

Factor de ajuste

Para generar la data de precipitación, es necesario realizar un factor de ajuste a los datos de precipitación diaria, debido que influenciado por un error sistemático principalmente por la pérdida ocasionada por la deformación del campo de viento sobre el orificio de los pluviómetros

elevados, como también producto de humedad y evaporación adherida en el embudo (ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL 2009), de acuerdo a esto se aplicó el factor de corrección de 1.13 a los registros de precipitación diaria (Tabla 46).

Tabla 46 — Factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria

Número de observaciones /día	1	2	3 – 4	5 – 8	9 – 24	>24
Factor de ajuste	1.13	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

Nota: Adaptado de (Organización Meteorológica Mundial 2009)

Análisis probabilístico

La precipitación máxima anual de PISCO para la microcuenca Sahuanay y aplicado el factor de ajuste para el periodo 1981 al 2016 (Figura 71), se observa que, a mayor altitud, mayor es la precipitación máxima tanto a nivel diario como anual, una característica meteorológica estándar en los Andes peruanos.

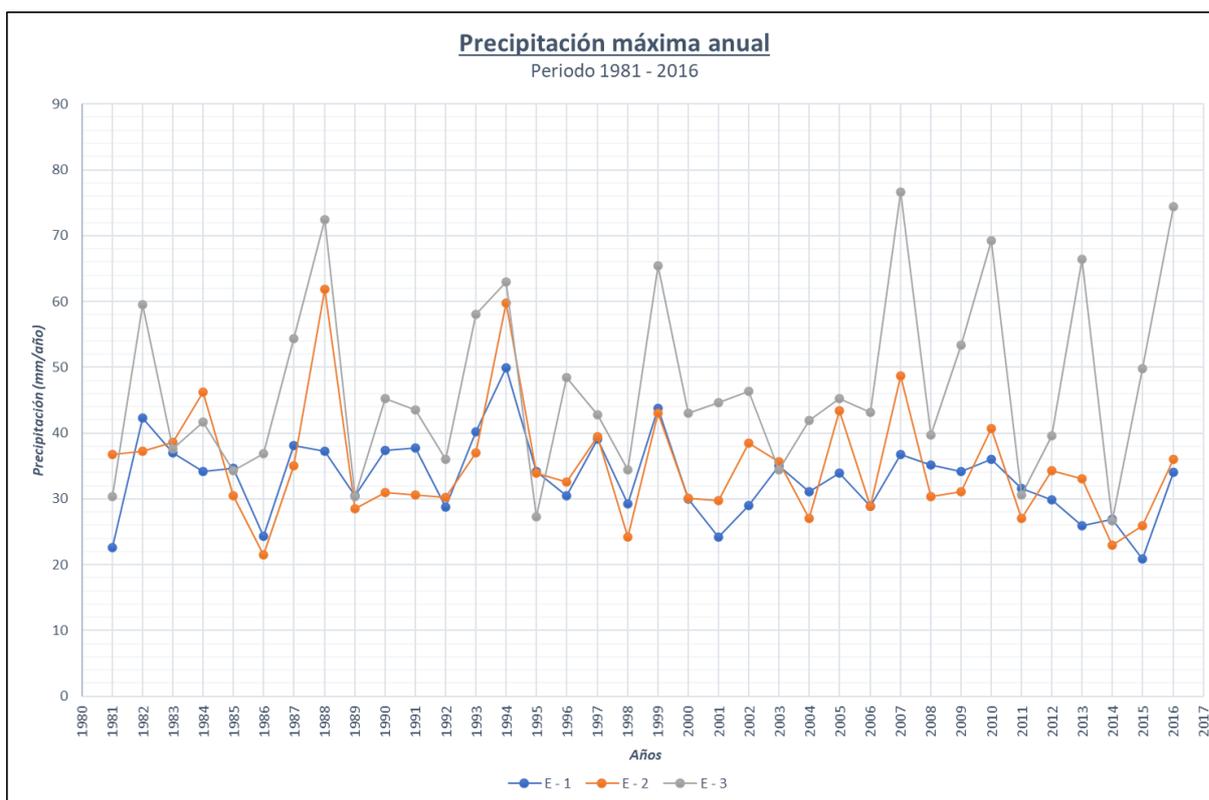


Figura 71 — Precipitación máxima anual de las 3 estaciones virtuales

A partir de ello, se procedió a realizar las pruebas de bondad de ajuste para las estaciones virtuales, como la prueba de Kolmogorov – Smirnov (Tabla 47), se aplicó las distribuciones más usuales en hidrología (Ministerio de Transportes y Comunicaciones 2008).

Tabla 47 — Prueba de Kolmogorov - Smirnov de las estaciones virtuales

Estaciones virtuales	Funciones de distribución (en %)						
	Normal	Log Normal	Exponencial	Gamma	Pearson III	Log Pearson III	Gumbel
E – 1	91.37	58.69	6.32	70.77	76.63	42.71	29.24
E – 2	78.51	98.60	88.03	96.05	96.10	99.73	99.70
E – 3	43.68	93.90	69.84	81.49	85.09	97.95	98.24

De esta tabla, se aplicaron periodos de retorno (años) a cada estación (Tabla 48), para E – 1, distribución Normal, E – 2, Log Pearson III y E – 3, Gumbel.

Tabla 48 — Precipitación máxima en 24h por periodos de retorno

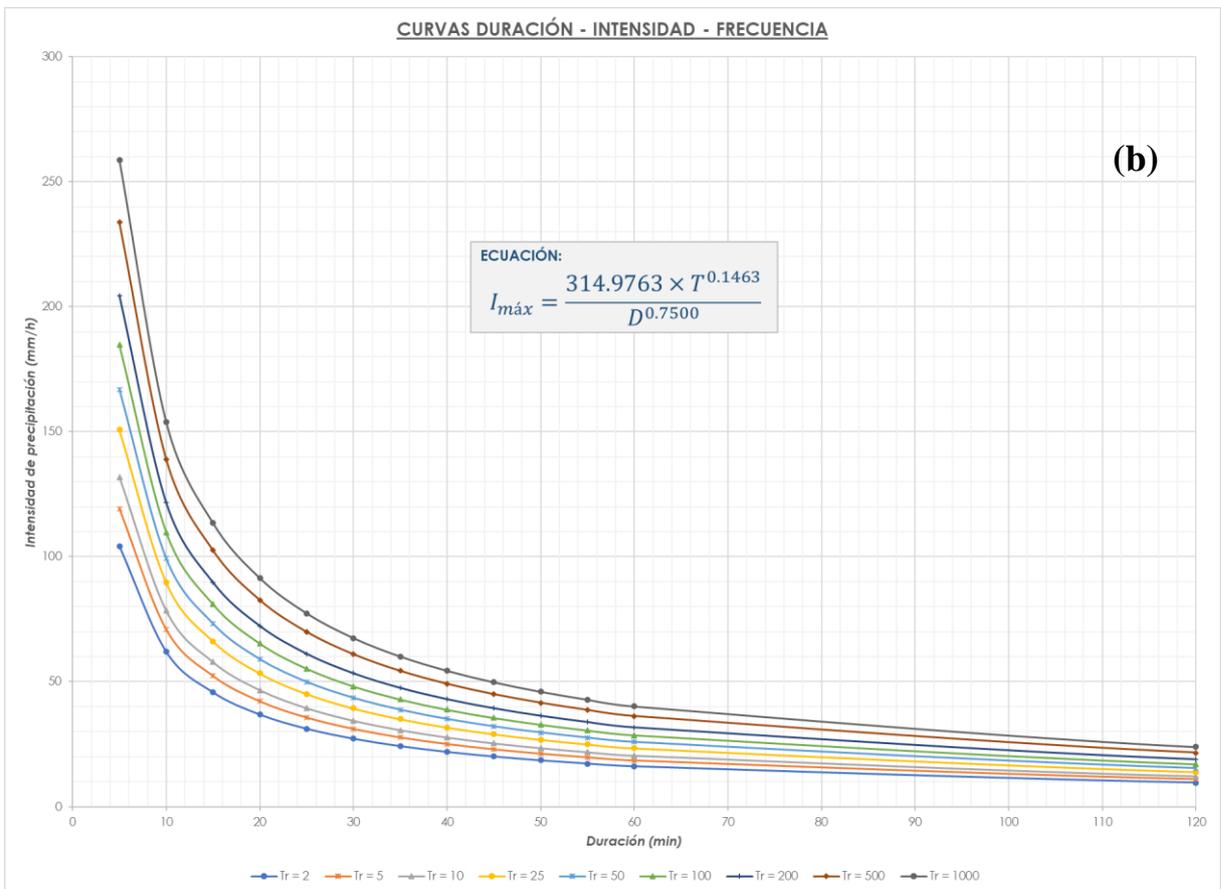
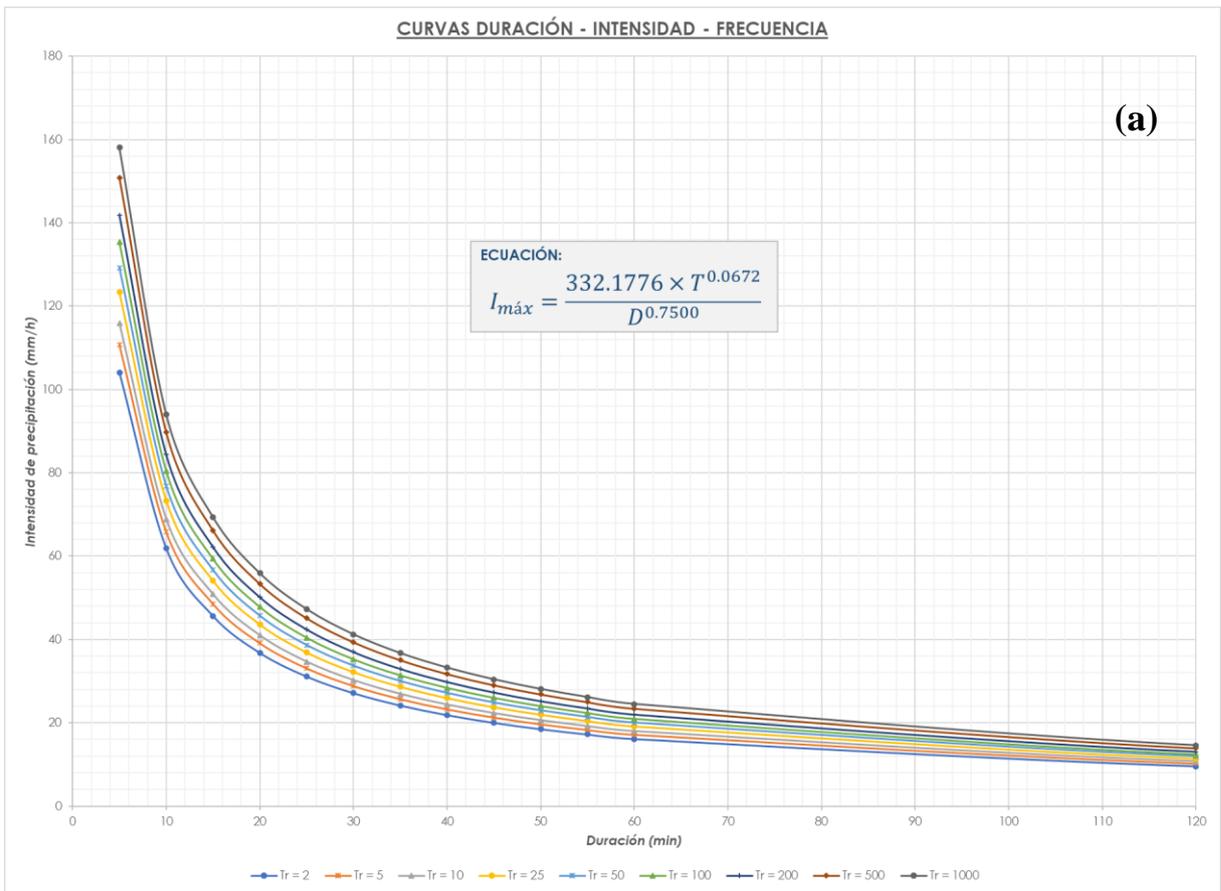
Estaciones virtuales	Precipitación máxima (mm/día) por periodos de retorno (Tr)								
	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=200	Tr=500	Tr=1000
E – 1	33.19	38.35	41.04	43.91	45.77	47.44	48.97	50.82	52.12
E – 2	33.35	41.19	46.60	53.68	59.15	64.79	70.64	78.78	85.28
E – 3	44.57	59.86	65.00	75.28	82.91	90.48	98.02	107.97	115.49

Tormenta de diseño (hietograma de precipitación de diseño)

Para obtener la tormenta de diseño para 24h para cada estación virtual respecto a su periodo de retorno, se aplicó las relaciones de las curvas intensidad – duración – frecuencia (IDF), usando el método de bloque alterno.

Curva IDF

Las curvas IDF fueron generadas de datos diarios llegando a escala menores a 1 hora por el método de Dick Peshke, generando curvas IDF (sin ajuste), a través de una regresión múltiple para cada estación virtual (lineal), con el objetivo de tener curvas IDF con ajuste (Figura 72).



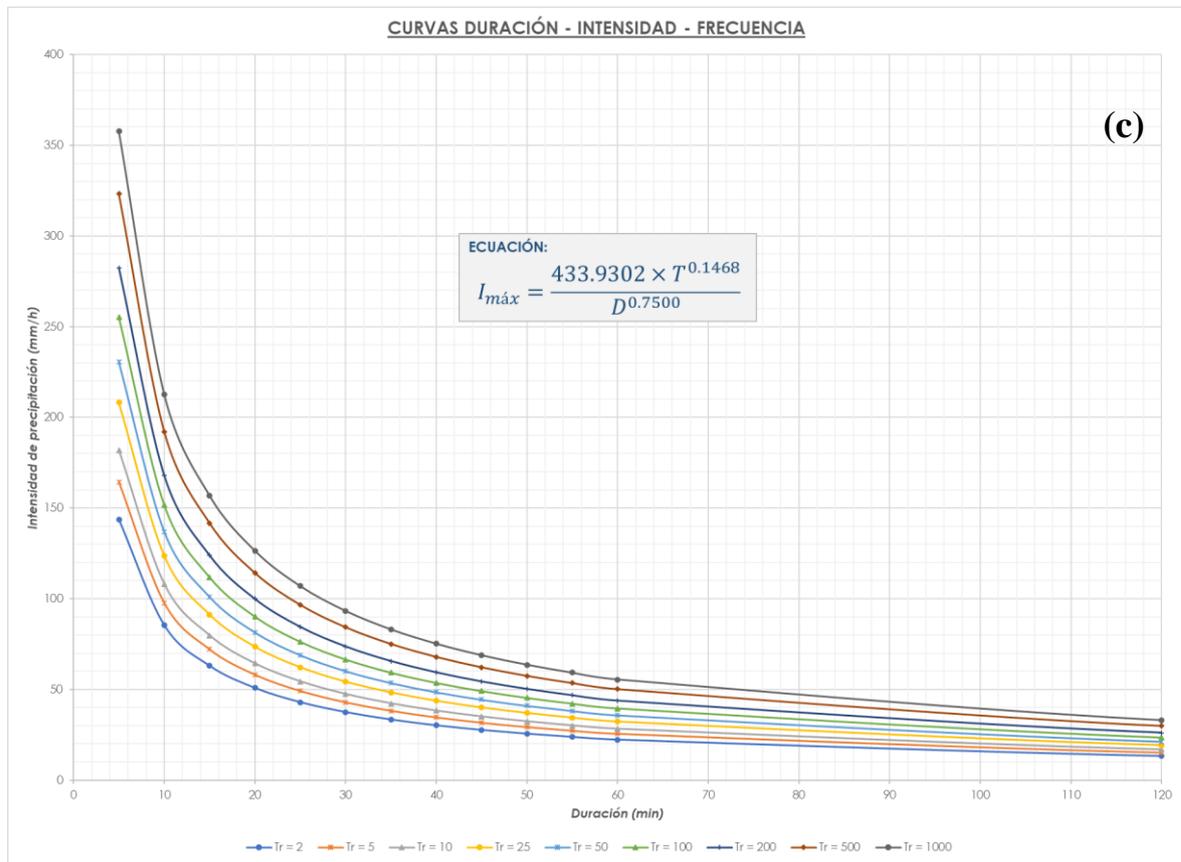


Figura 72 — Curva IDF (ajustada) y su ecuación respectiva

Nota: Estaciones virtuales E-1 (a), E-2 (b) y E-3 (c)

Las intensidades máximas ($I_{máx}$) obtenidas para cada estación de la regresión lineal de las curvas IDF, donde D es la duración en minutos y T es el periodo de retorno en años (Tabla 49).

Tabla 49 — Intensidades máximas para cada estación virtual

Estación Virtual	Intensidad máxima ($I_{máx}$)
E - 1	$I_{máx} = \frac{332.1776T^{0.0672}}{D^{0.7500}}$
E - 2	$I_{máx} = \frac{314.9763T^{0.1463}}{D^{0.7500}}$
E - 3	$I_{máx} = \frac{433.9302T^{0.1468}}{D^{0.7500}}$

Hietograma de diseño

A partir de las curvas IDF ajustada de las tres estaciones, se construyeron los hietogramas de diseño para precipitaciones máximas en 24 horas (Tabla 50, Tabla 51 y Tabla 52), estas se han introducido en el modelo HEC-HMS de la componente meteorológica, se usarán para Tr=50, Tr=100 y Tr=500.

Tabla 50 — Hietograma de diseño 24h para distintos periodos de retorno de E-1

Duración (min)	Tiempo de Retorno (Años)								
	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500	Tr = 1000
0 - 60	0.38	0.40	0.42	0.45	0.47	0.49	0.52	0.55	0.57
60 - 120	0.40	0.43	0.45	0.48	0.50	0.53	0.55	0.59	0.61
120 - 180	0.43	0.46	0.48	0.52	0.54	0.57	0.59	0.63	0.66
180 - 240	0.47	0.50	0.53	0.56	0.59	0.61	0.64	0.68	0.72
240 - 300	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.70	0.75	0.78
300 - 360	0.57	0.61	0.64	0.68	0.71	0.75	0.78	0.83	0.87
360 - 420	0.65	0.69	0.72	0.77	0.80	0.84	0.88	0.94	0.98
420 - 480	0.75	0.79	0.83	0.88	0.93	0.97	1.02	1.08	1.13
480 - 540	0.89	0.95	0.99	1.06	1.11	1.16	1.21	1.29	1.35
540 - 600	1.13	1.20	1.25	1.33	1.40	1.46	1.53	1.63	1.71
600 - 660	1.58	1.68	1.77	1.88	1.97	2.06	2.16	2.30	2.41
660 - 720	3.05	3.25	3.40	3.62	3.79	3.97	4.16	4.43	4.64
720 - 780	16.14	17.17	17.99	19.13	20.04	21.00	22.00	23.40	24.52
780 - 840	2.05	2.18	2.28	2.43	2.54	2.66	2.79	2.97	3.11
840 - 900	1.31	1.39	1.46	1.55	1.63	1.70	1.79	1.90	1.99
900 - 960	0.99	1.06	1.11	1.18	1.23	1.29	1.35	1.44	1.51
960 - 1020	0.81	0.86	0.90	0.96	1.01	1.06	1.11	1.18	1.23
1020 - 1080	0.69	0.74	0.77	0.82	0.86	0.90	0.94	1.00	1.05
1080 - 1140	0.61	0.65	0.68	0.72	0.75	0.79	0.83	0.88	0.92
1140 - 1200	0.54	0.58	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74	0.79	0.83
1200 - 1260	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.71	0.75
1260 - 1320	0.45	0.48	0.50	0.54	0.56	0.59	0.62	0.66	0.69
1320 - 1380	0.42	0.45	0.47	0.50	0.52	0.55	0.57	0.61	0.64
1380 - 1440	0.39	0.42	0.44	0.46	0.49	0.51	0.53	0.57	0.59

Tabla 51 — Hietograma de diseño 24h para distintos periodos de retorno de E-2

Duración (min)	Tiempo de Retorno (Años)								
	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500	Tr = 1000
0 - 60	0.38	0.43	0.48	0.55	0.61	0.67	0.74	0.85	0.94
60 - 120	0.40	0.46	0.51	0.59	0.65	0.72	0.79	0.91	1.01
120 - 180	0.44	0.50	0.55	0.63	0.70	0.77	0.85	0.98	1.08
180 - 240	0.47	0.54	0.60	0.68	0.76	0.84	0.93	1.06	1.17
240 - 300	0.52	0.59	0.65	0.75	0.83	0.92	1.02	1.16	1.28
300 - 360	0.57	0.66	0.73	0.83	0.92	1.02	1.13	1.29	1.43
360 - 420	0.65	0.74	0.82	0.94	1.04	1.15	1.27	1.45	1.61
420 - 480	0.75	0.85	0.95	1.08	1.20	1.32	1.47	1.68	1.86
480 - 540	0.89	1.02	1.13	1.29	1.43	1.58	1.75	2.00	2.22
540 - 600	1.13	1.29	1.43	1.63	1.81	2.00	2.21	2.53	2.80
600 - 660	1.59	1.81	2.01	2.30	2.54	2.81	3.11	3.56	3.94
660 - 720	3.06	3.50	3.87	4.43	4.90	5.42	6.00	6.86	7.59
720 - 780	16.17	18.49	20.46	23.40	25.89	28.66	31.72	36.26	40.13
780 - 840	2.05	2.35	2.60	2.97	3.29	3.64	4.02	4.60	5.09
840 - 900	1.31	1.50	1.66	1.90	2.10	2.33	2.57	2.94	3.26
900 - 960	0.99	1.14	1.26	1.44	1.59	1.76	1.95	2.23	2.47
960 - 1020	0.81	0.93	1.03	1.18	1.30	1.44	1.59	1.82	2.02
1020 - 1080	0.69	0.79	0.88	1.00	1.11	1.23	1.36	1.56	1.72
1080 - 1140	0.61	0.70	0.77	0.88	0.97	1.08	1.19	1.36	1.51
1140 - 1200	0.54	0.62	0.69	0.79	0.87	0.96	1.07	1.22	1.35
1200 - 1260	0.49	0.56	0.62	0.71	0.79	0.88	0.97	1.11	1.23
1260 - 1320	0.45	0.52	0.57	0.66	0.73	0.80	0.89	1.02	1.12
1320 - 1380	0.42	0.48	0.53	0.61	0.67	0.74	0.82	0.94	1.04
1380 - 1440	0.39	0.45	0.50	0.57	0.63	0.69	0.77	0.88	0.97

Tabla 52 — Hietograma de diseño 24h para distintos periodos de retorno de E-3

Duración (min)	Tiempo de Retorno (Años)								
	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100	Tr = 200	Tr = 500	Tr = 1000
0 - 60	0.52	0.60	0.66	0.76	0.84	0.93	1.03	1.17	1.30
60 - 120	0.56	0.64	0.71	0.81	0.90	0.99	1.10	1.25	1.39
120 - 180	0.60	0.69	0.76	0.87	0.96	1.07	1.18	1.35	1.49
180 - 240	0.65	0.74	0.82	0.94	1.04	1.16	1.28	1.46	1.62
240 - 300	0.71	0.82	0.90	1.03	1.14	1.27	1.40	1.60	1.78
300 - 360	0.79	0.91	1.00	1.15	1.27	1.41	1.56	1.78	1.97
360 - 420	0.89	1.02	1.13	1.29	1.43	1.58	1.75	2.01	2.22
420 - 480	1.03	1.18	1.30	1.49	1.65	1.83	2.03	2.32	2.56
480 - 540	1.23	1.41	1.56	1.78	1.97	2.18	2.42	2.77	3.06
540 - 600	1.55	1.78	1.97	2.25	2.49	2.76	3.06	3.49	3.87
600 - 660	2.19	2.50	2.77	3.17	3.51	3.88	4.30	4.92	5.45
660 - 720	4.22	4.82	5.34	6.11	6.76	7.49	8.29	9.48	10.50
720 - 780	22.28	25.49	28.22	32.29	35.74	39.57	43.81	50.12	55.48
780 - 840	2.83	3.23	3.58	4.10	4.53	5.02	5.56	6.36	7.04
840 - 900	1.81	2.07	2.29	2.62	2.90	3.21	3.55	4.07	4.50
900 - 960	1.37	1.57	1.74	1.99	2.20	2.43	2.69	3.08	3.41
960 - 1020	1.12	1.28	1.42	1.62	1.80	1.99	2.20	2.52	2.79
1020 - 1080	0.96	1.09	1.21	1.38	1.53	1.70	1.88	2.15	2.38
1080 - 1140	0.84	0.96	1.06	1.21	1.34	1.49	1.65	1.89	2.09
1140 - 1200	0.75	0.86	0.95	1.09	1.20	1.33	1.47	1.69	1.87
1200 - 1260	0.68	0.78	0.86	0.99	1.09	1.21	1.34	1.53	1.69
1260 - 1320	0.62	0.71	0.79	0.90	1.00	1.11	1.23	1.40	1.56
1320 - 1380	0.58	0.66	0.73	0.84	0.93	1.03	1.14	1.30	1.44
1380 - 1440	0.54	0.62	0.68	0.78	0.87	0.96	1.06	1.21	1.34

El hietograma de diseño para las tres estaciones por periodo de retorno (Anexo B) en cada hora muestra que en la mitad del periodo se encuentra la precipitación máxima horaria para 24h (Figura 73).

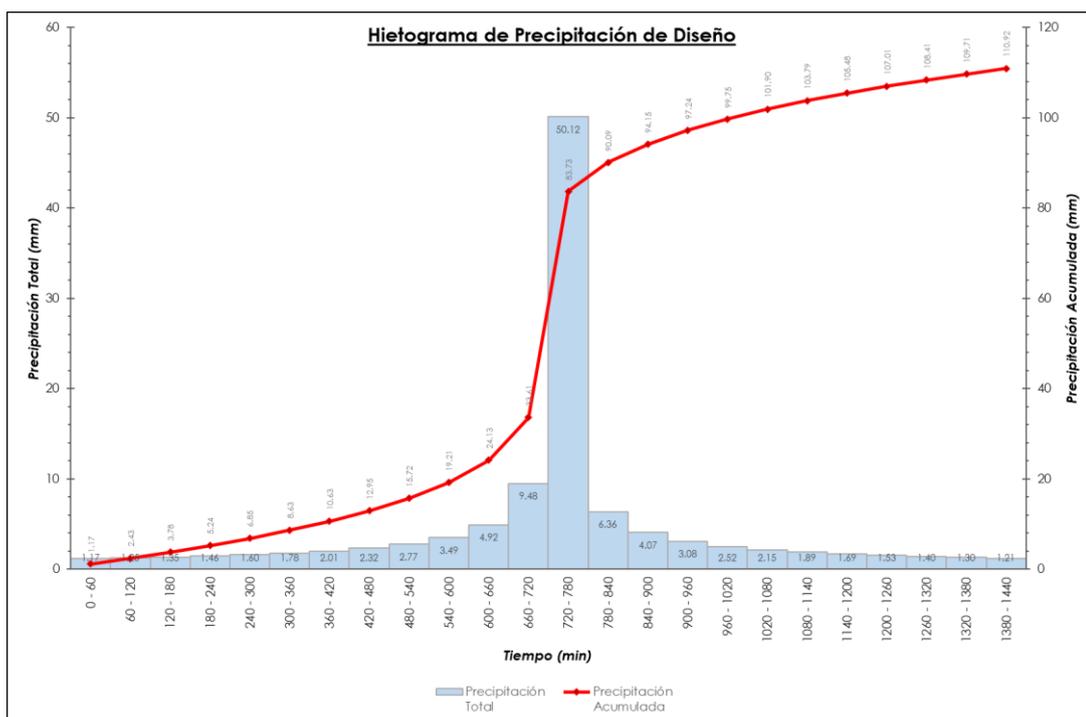


Figura 73 — Hietograma de diseño de una estación virtual

Finalmente se modeló en el software HEC-HMS el modelo hidrológico (Figura 74) para determinar el hidrograma de salida en el punto del deslizamiento, y los diferentes puntos de la microcuenca Sahuanay, se han considerado la hidrogeología (manantiales u ojos de agua) provisto del estudio realizado por INGEMMET en su Boletín N° 71 “Microcuenca Mariño” y las dos lagunas principales perennes (a tope), Uspacocha y Angascchocha.

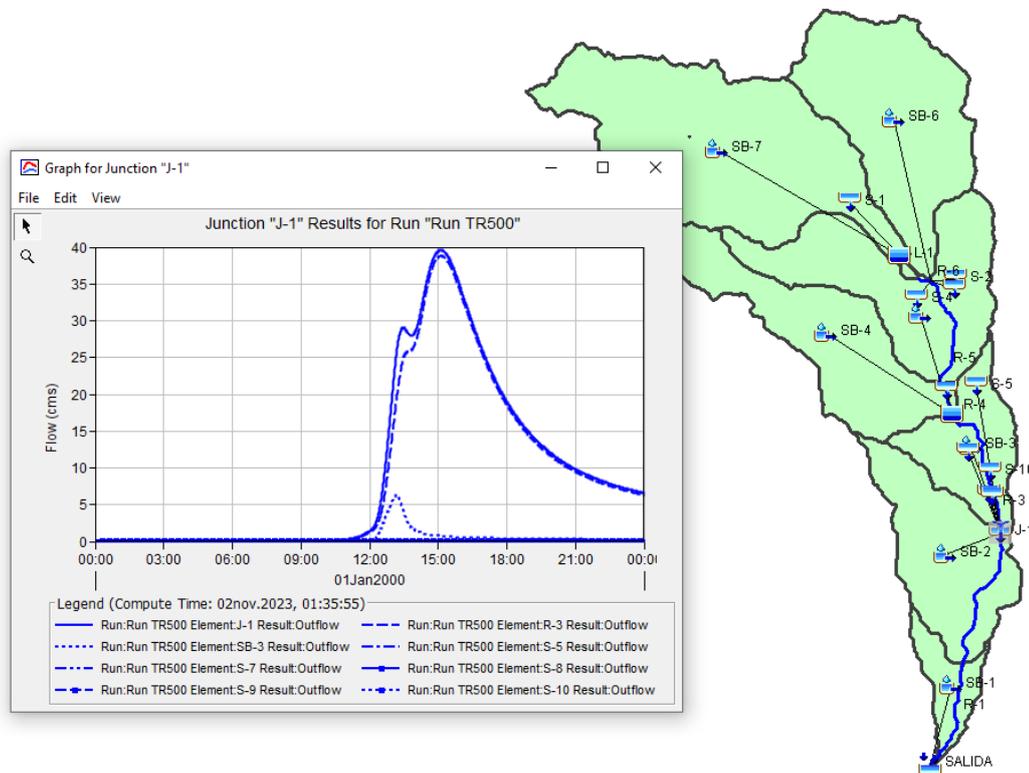


Figura 74 — Hidrograma de salida (caudal) en la microcuenca Sahuanay

Una vez realizado el modelamiento hidrológico se utilizó para 3 tiempos de retorno de 50, 100 y 500 para la microcuenca Sahuanay, a partir de la hora 10:30:00, el caudal cambia o se bifurca en los tres periodos de retorno (Figura 75).

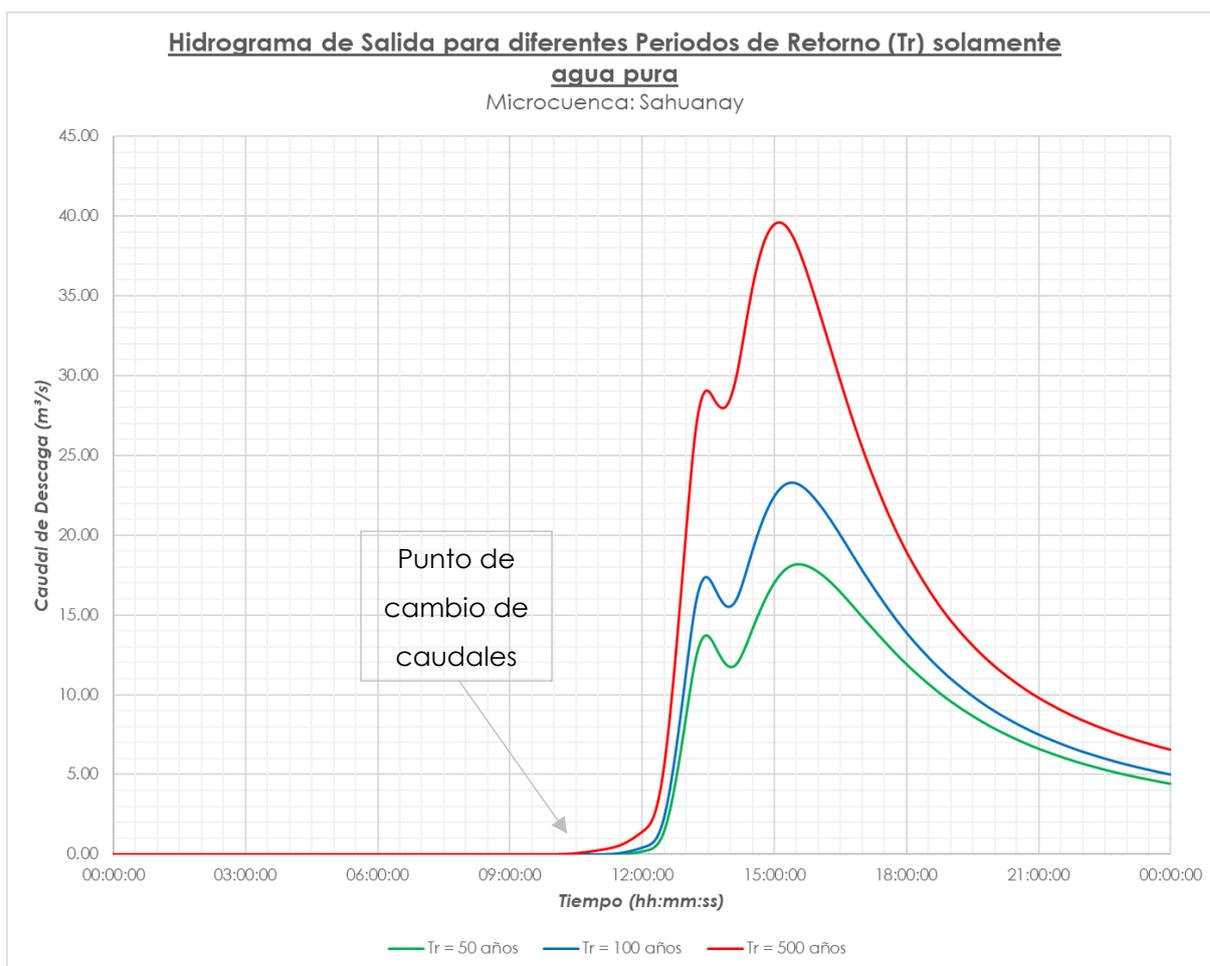


Figura 75 — Hidrograma de salida para distintos tiempos de retorno

Se obtuvieron los valores de los picos de descarga (Tabla 53) del hidrograma de salida donde cada periodo de retorno está asociada a un caudal máximo y tiempo evento.

Tabla 53 — Caudal pico de descarga y volumen

Periodo de retorno	Caudal máximo (m ³ /s)	Hora (hh:mm:ss)	Volumen (m ³)
Tr = 50	18.2	15:33:00	430,873.57
Tr = 100	23.3	15:24:00	526,013.21
Tr = 500	39.6	15:07:00	808,176.58

5.1.2.2 Modelamiento geotécnico

Mecánica de suelos

Se han determinado las curvas granulométricas del cerro Chuyllurpata, en la parte alta o corona (Figura 76) y parte baja o pie de talud (Figura 77), a una profundidad de 2.0 m, entendiéndose un estrato superior.

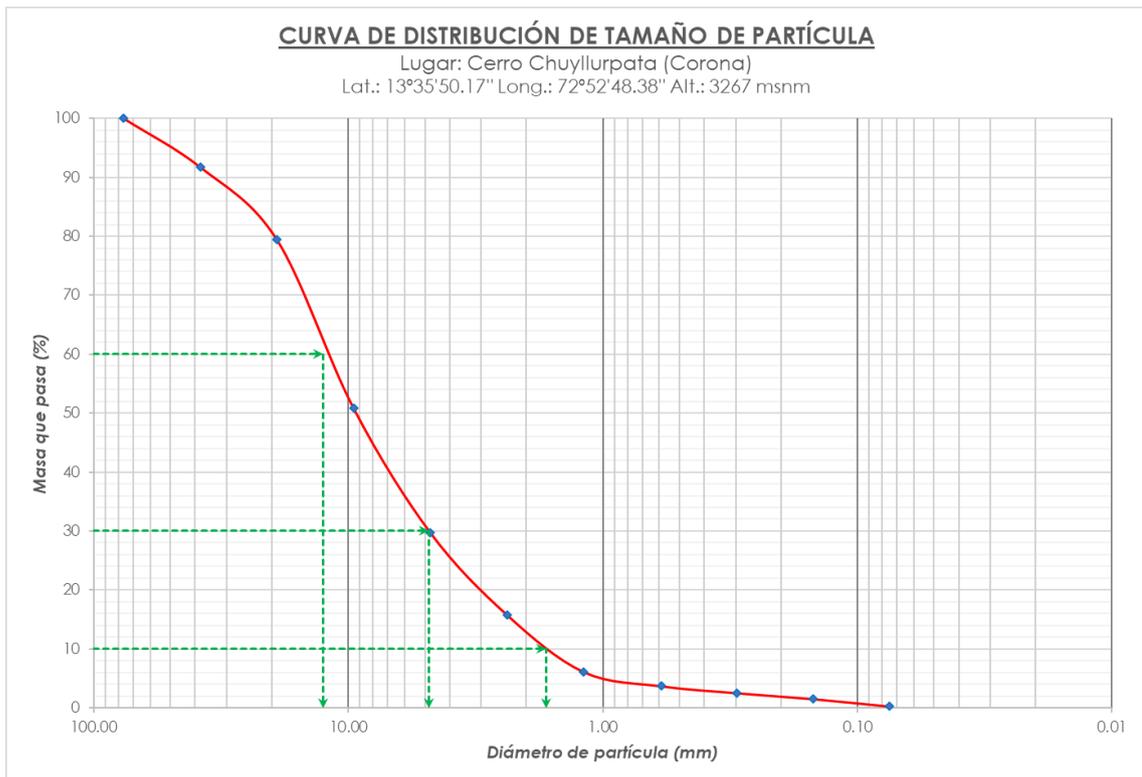


Figura 76 — Curva granulométrica del cerro Chuyllurpata (corona)

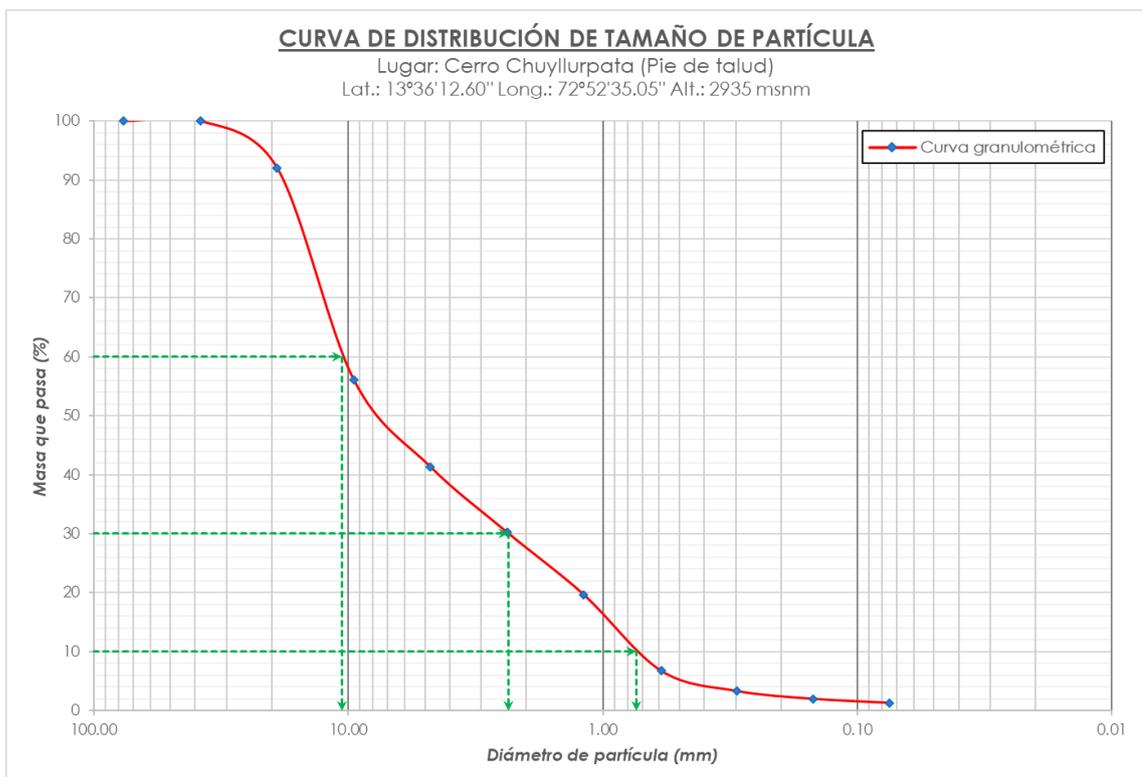


Figura 77 — Curva granulométrica del cerro Chuyllurpata (pie de talud)

Los resultados acordes a la granulometría son las siguientes (Tabla 57), el límite líquido fue de LL=26.57%, límite plástico LP=0.0% e índice de plasticidad IP=26.57%, perteneciendo a un suelo no cohesivo.

Tabla 54 — Valores de granulometría y clasificación ASTM D422 (Chuyllurpata)

Lugar	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	D ₅₀	C _u	C _c	Clasificación ASTM D422
Corona	1.665	4.816	12.582	9.338	7.559	1.107	GW (Grava bien graduada con arena)
Pie del talud	0.740	2.350	10.545	7.542	14.247	0.707	GP (Grava mal graduada con arena)

5.1.2.2.1 Estimación del volumen de tierra (deslizamiento)

Prospección geofísica

Se recogieron datos del INGEMMET en su estudio “Evaluación integral de la cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac) para la prevención de desastres de origen geológico y geohidrológico” (VILLACORTA et al. 2019), se aplicaron métodos de resistividad – tomografía eléctrica 2D, para el área de la investigación fue el corte TM02 (cerro Chuyllurpata), observándose acuíferos en el talud (Figura 78).

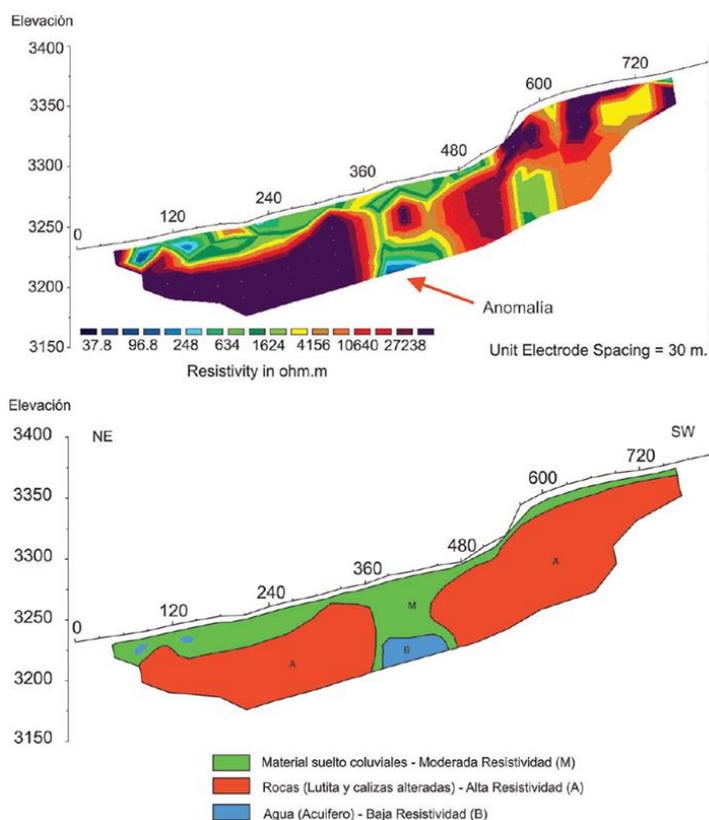


Figura 78 — Corona del deslizamiento configuración dipolo – dipolo

Nota: Tomografía eléctrica (superior), interpretación del modelo geofísico con la información geológica de superficie (inferior)

Extraído de: INGEMMET (Villacorta et al. 2019)

Estabilidad del talud

Se extrajeron datos de estabilidad de taludes realizado por INDECI “Mapa de peligros de la ciudad de Abancay” (INDECI 2007), realizándose ensayos de laboratorio del ensayo de corte directo (Tabla 55), ángulo de fricción interna (ϕ), cohesión (c), peso específico en condiciones normales (γ_N) y peso específico en condiciones saturadas (γ_{SAT}).

Tabla 55 — Valores geotécnicos de corte directo del cerro Chuyllurpata

Medida	Resultado
Ángulo de fricción interna (ϕ)	13.1°
Cohesión (c)	3.30 Tn/m ²
Peso específico condición normal (γ_N)	1.75 Tn/m ³
Peso específico condición saturada (γ_{SAT})	2.08 Tn/m ³

Extraído de: Mapa de peligros de la ciudad de Abancay (INDECI 2007)

Se modelo la inestabilidad del talud en el programa SLIDE (método de las dovelas), sumado a la prospección geofísica de INGEMMET para la delimitación de estratos y acuíferos, se obtuvo un factor de seguridad de FS = 0.696, lo cual es muy inestable en el cerro Chuyllurpata, presentando un deslizamiento violento si fallara (Figura 79), sumado a su composición estratigráfica (Tabla 56) de depósito coluvial y pendiente.

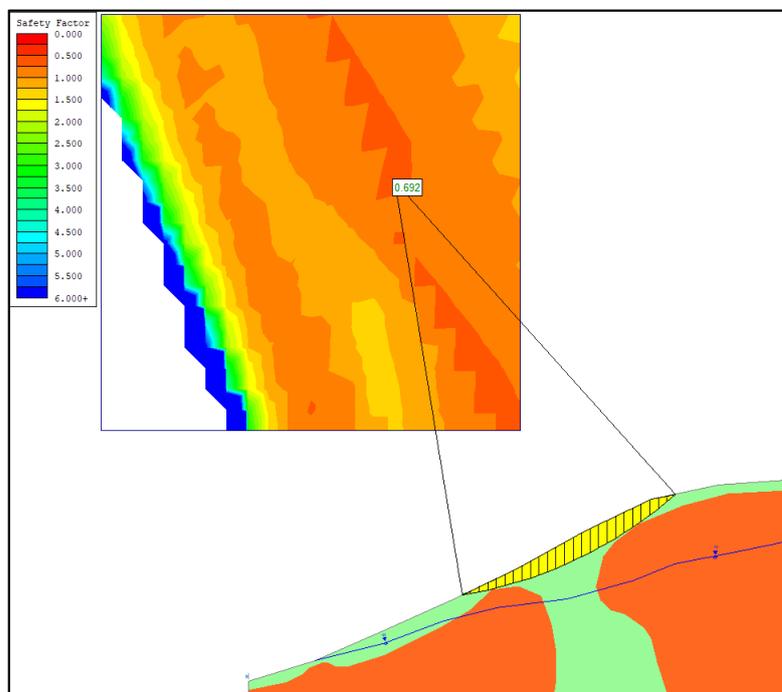


Figura 79 — Estabilidad de talud del cerro Chuyllurpata

Tabla 56 — Propiedades de los materiales de ingreso del modelo Slide

Property	Material suelto coluvial	Lutita y caliza alterada
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	17.16	17
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20.4	23
Cohesion [kPa]	32.36	200
Friction Angle [deg]	13.1	40
Water Surface	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1

Los valores obtenidos por los diferentes métodos para la estabilidad del talud del cerro Chuyllurpata (Tabla 57), donde los valores de factor de seguridad (FS) son muy cercanos, así como el centro y radio (superficie de falla).

Tabla 57 — Valores obtenidos para estabilidad de taludes (Chuyllurpata)

Método	FS	Centro relativo (m)	Radio (m)
Ordinario/Fellenius	0.678	342.189; 426.477	268.662
Bishop simplificado	0.696	217.725; 768.751	627.573
Jambu simplificado	0.672	342.189; 426.477	268.662
Jambu corregido	0.705	217.725; 768.751	267.573
Spencer	0.692	217.725; 768.751	627.573
US Army Corps of Engineers I	0.696	217.725; 768.751	627.573
US Army Corps of Engineers II	0.697	217.725; 768.751	627.573
Lowe – Karafiath	0.696	217.725; 768.751	627.573
GLE/Morgenstern – Price	0.692	217.725; 768.751	627.573

Se utilizó el método de Spencer: FS = 0.692 (inestable), Coordenadas del centro = 729,647.94m E 8,495,501.36m N 3737.54 m.s.n.m., Radio = 627.57m.

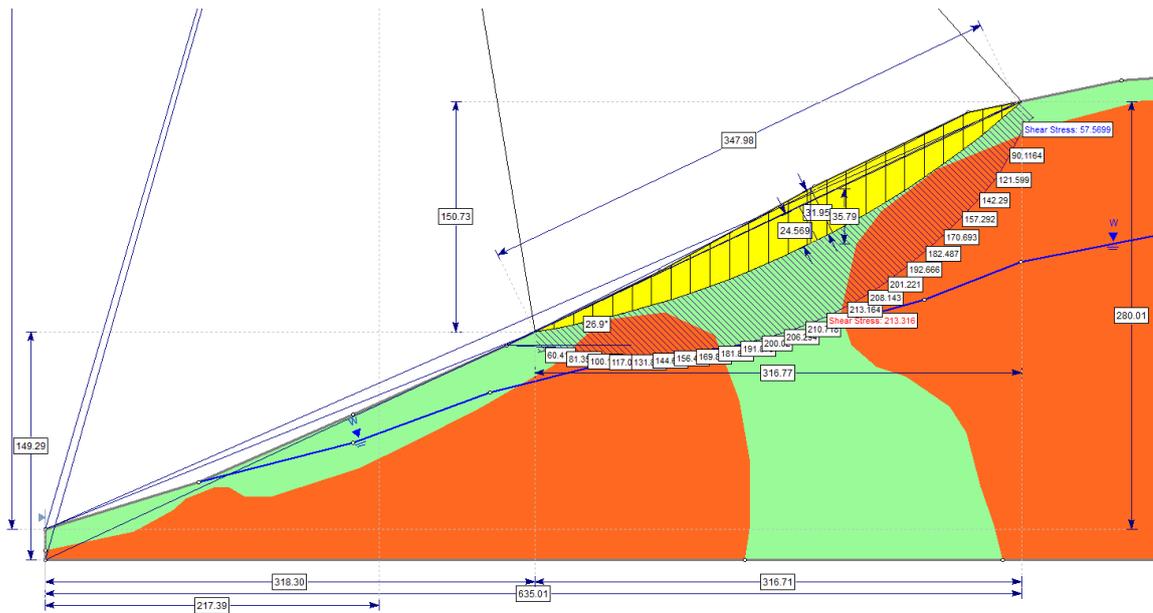


Figura 80 — Parámetros geométricos de la superficie de falla (Chuyllurpata)

De acuerdo a la clasificación de tipo de deslizamiento (ABRAMSON et al. 2012), se tiene la profundidad de la falla máxima $D = 31.95\text{m}$ (diagonal) y longitud de la superficie de falla $L = 347.98\text{m}$, por lo que $D/L = 0.09$, indicando que la superficie de falla del cerro Chuyllurpata es de tipo rotacional, además, de otras medidas obtenidas del análisis de estabilidad de taludes (Figura 80 y Tabla 58).

Tabla 58 — Medidas de la superficie de falla del cerro Chuyllurpata

Medida	Resultado
Profundidad de falla o espesor máximo (diagonal)	31.95 m
Profundidad de falla (vertical)	35.79 m
Longitud de la superficie de falla (diagonal)	347.98 m
Longitud de la superficie de falla (horizontal)	316.77 m
Ángulo de la pendiente de la falla	26.9°
Altura de la superficie de falla (vertical)	150.72 m
Altura de la pendiente (vertical)	280.01 m

Volumen de tierra deslizado

Se aplicó la relación empírica de (ORRIS y WILLIAMS 1984), corroborando el deslizamiento de Sahuanay ocurrido el 2012, con una longitud de 77.15m y ancho de 23.96m (imagen satelital). Se utilizó la longitud de superficie de falla estimada (estabilidad de talud) de 347.98m y se obtuvo un ancho de la superficie de falla de 88.30m. A partir de ello se estimó el volumen inicial en el software Autodesk Civil 3D 2023, con un volumen total de 870,445.454 m³ de tierra acorde a sus propiedades geométricas típicas para deslizamientos, las propiedades

geométricas del deslizamiento fueron elaboradas a partir de un elipsoide de revolución a su eje principal a partir del cálculo de estabilidad de taludes en SLIDE y (CRUDEN Y VARNES 1996; JU, ZHANG y XIAO 2023), con centroide de coordenadas 729,442.0 m E, 8,495,816.5 m N y 3224.2 m.s.n.m. (Figura 81).

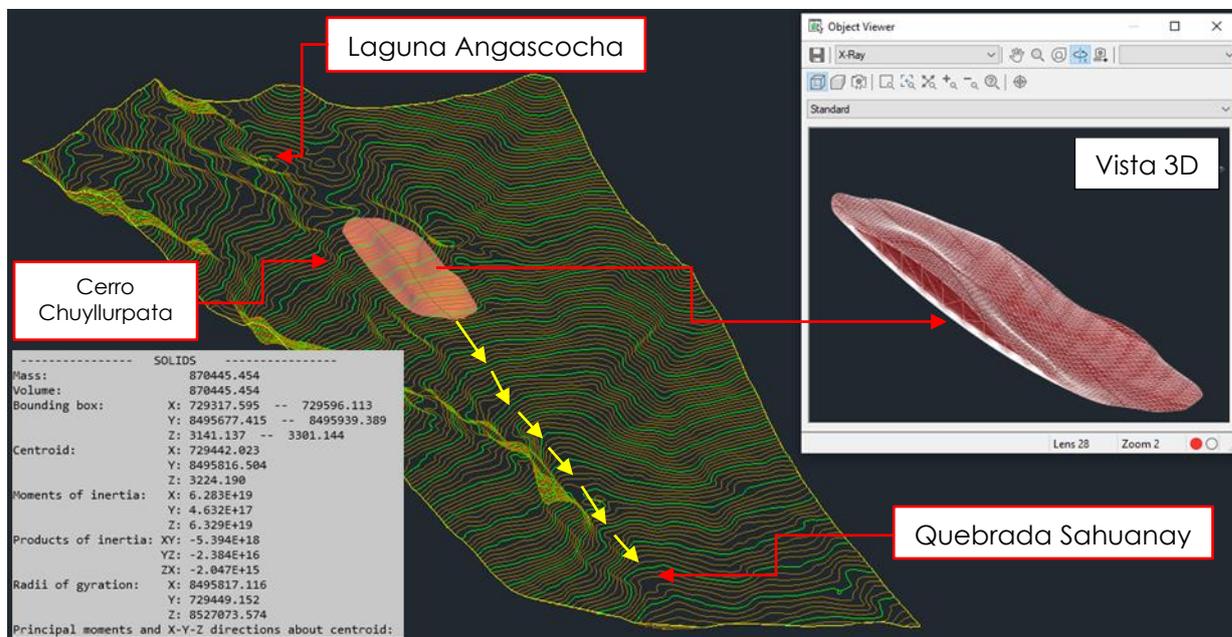


Figura 81 — Volumen de tierra por deslizamiento, en el cerro Chuyllurpata

El desplazamiento de tierra (run out) según (QARINUR 2015) obtenido de diferentes escenarios (Tabla 59) y su volumen (Tabla 72).

Tabla 59 — Desplazamiento de tierra por deslizamiento según su tipo

Run out (m)	General	Deslizamiento rotacional	Flujo de detritos
L	504.10	437.98	978.67
L _{max}	1,483.93	493.17	3,340.70
L _{min}	172.13	382.78	334.36
L _(H,β)	797.48		

Tabla 60 — Volumen de tierra total generado por deslizamiento según su tipo

Volumen (m ³)	General	Deslizamiento rotacional	Flujo de detritos
V	384,171.38	380,809.53	1,555,545.49
V _{max}	4,916,597.40	4,873,572.78	19,907,758.40
V _{min}	29,857.88	29,596.60	120,897.32
V _(H,β)	1,010,269.56		

Se compararon con otras metodologías empíricas y experimentales, de lo calculado a través de Civil 3D, se encuentra en un valor medio respecto de las otras relaciones empíricas (Tabla 73 y Tabla 62).

Tabla 61 — Volumen de tierra total generado por deslizamiento según su tipo

Método	Volumen (m ³)
Cruden y Varnes	524,690.59
Dewitte y Demoulin	432,028.71
Qarinur (H)	1,555,545.49
Qarinur (H y β)	1,010,269.56
Esta investigación (Civil 3D)	870,445.45

Se compararon con otras metodologías empíricas y experimentales, de lo calculado a través de Civil 3D, se encuentra en un valor medio respecto de las otras relaciones empíricas (Tabla 62).

Tabla 62 — Volumen de tierra total generado por deslizamiento según su tipo

Método	Volumen (m ³)
Cruden y Varnes	524,690.59
Dewitte y Demoulin	432,028.71
Qarinur (H)	1,555,545.49
Qarinur (H y β)	1,010,269.56
Esta investigación (Civil 3D)	870,445.45

Desplazamiento de tierra por deslizamiento

Se determinó a través del modelamiento numérico RAMMS Avalanche 1.8.0., donde el volumen de masa total calculado fue de 870,445.454 m³ de tierra a deslizar, a través del modelo de fricción de fluido Voellmy.

La masa de tierra ubicada en el cerro Chuyllurpata se deslizará a través de un modelo digital de elevación, donde se aplicaron los siguientes criterios al modelo (Tabla 63).

Tabla 63 — Parámetros de ingreso para el modelo RAMMS Avalanche

Parámetros de liberación	
Densidad de la avalancha	1750 Kg/m ³
Volumen de la masa liberada (aprox.)	870,444.0 m ³
Área de liberación proyectada	48,106.0 m ²
Resolución MDE	1 m/pixel

Parámetros μ (Mu) y ξ (Xi)	
Periodo de retorno	10 años
Categoría del volumen de avalancha	Gran avalancha
Límites altitudinales (región climática)	2500 – 2000 m.s.n.m.
Parámetros de simulación	
Porcentaje del momentum total	10%
Umbral de velocidad del centro de masa	1.0 m/s
Cohesión	32881.25 Pa

Los parámetros μ Xi (μ y ξ) para el cerro Chuyllurpata e inicio de la quebrada Sahuanay, fue determinado de acuerdo al periodo de retorno y su tipo de avalancha, donde esta última corresponde a gran avalancha ($> 60,000 \text{ m}^3$ de masa de tierra), siendo clasificada en 5 categorías: sin canalizar, canalizado, quebrada, plano y área forestada (unchannelled, channelled, gully, flat, forested area), cada una respectivamente a su altitud (Figura 82).

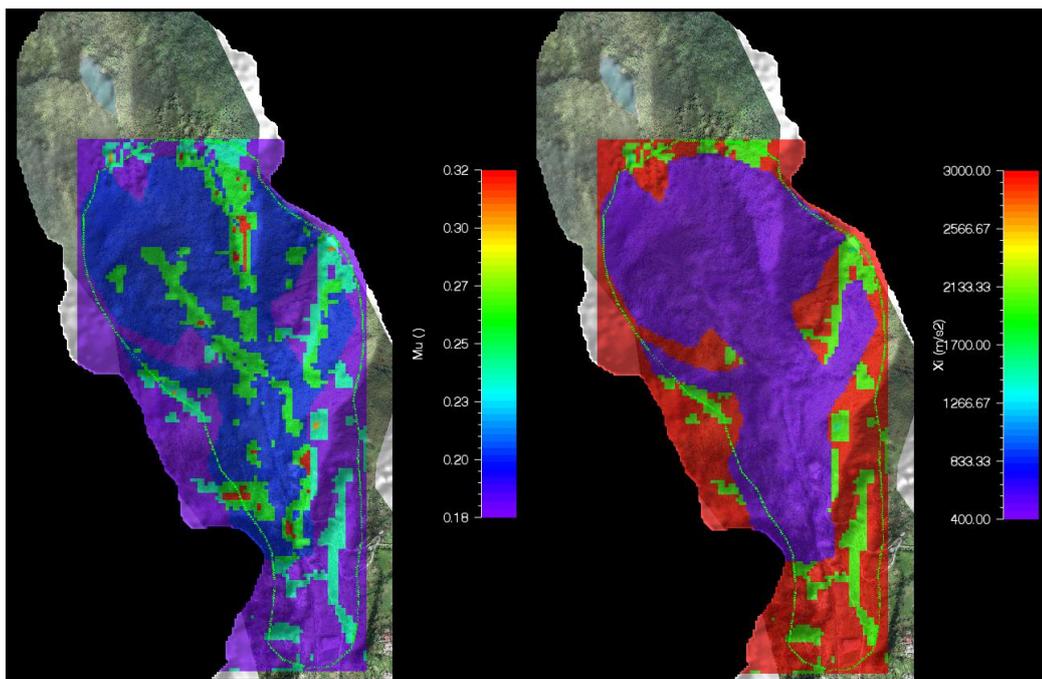


Figura 82 — Parámetros MuXi del cerro Chuyllurpata y Sahuanay

Nota: Izquierda Mu; derecha Xi

Después se realizó la simulación numérica en RAMMS Avalanche y se obtuvo el desplazamiento de tierra (Figura 83), para así determinar el alcance y si genera una presa de deslizamiento de tierra en el tiempo final (hasta que el deslizamiento se detenga por completo, según el modelamiento 46 s), para luego extraer los datos del nuevo MDE (masa de tierra deslizada), que será usado en el capítulo de rotura de presa.

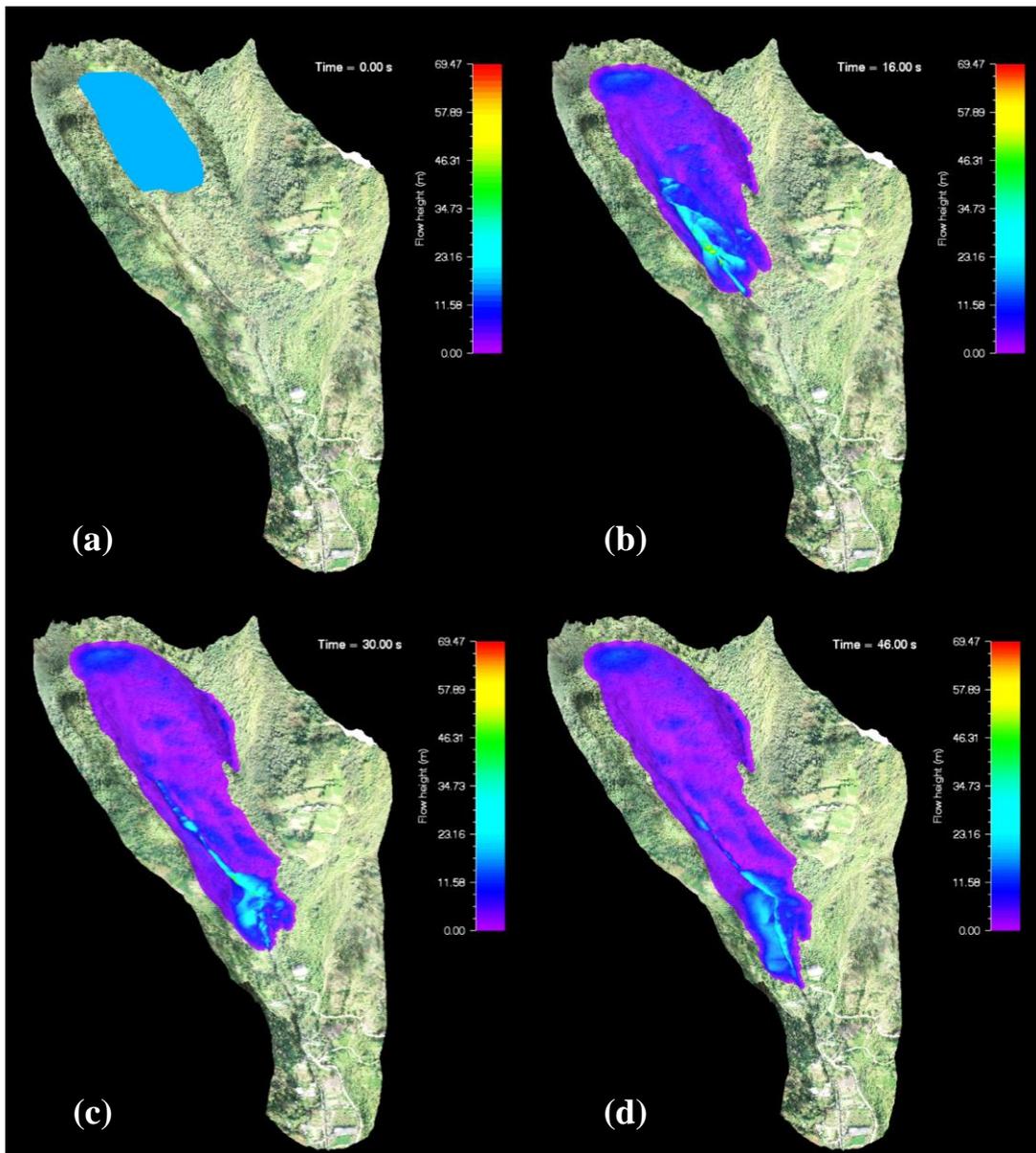


Figura 83 — Simulación del deslizamiento en el cerro Chuyllurpata

Nota: (a) 0 s, (b) 16 s, (c) 30 s, (d) 46 s

El valor de desplazamiento de tierra por deslizamiento obtenido de la simulación es de 594.86 m (tridimensional) y 165.65 m (planar), muy similar al método empírico de (QARINUR 2015) con 504.10 m (general) y 493.17 m (rotacional – máxima). Se genera en la parte baja (cauce del río Sahuanay) una presa de deslizamiento de tierra (Figura 84), donde (a) es el corte transversal de la presa con una altura promedio de 13 m, (b) es el corte longitudinal de todo el deslizamiento (inicio a fin), (c) es el desarrollo de velocidad y altura alcanzado en un punto a través del tiempo (46 s total hasta detenerse), (d) muestra (vista 3D) la generación del deslizamiento (marrón claro) y presa de deslizamiento de tierra (violeta). A partir del análisis de RAMMS y ArcGIS Pro se obtuvieron las métricas de la presa, con un volumen de 345,017.0

m³, de acuerdo al método empírico de (CRUDEN y VARNES 1996) el volumen desplazado es 684,946.03 m³ (incluye el volumen fuera del desplazado, líneas violetas punteadas).

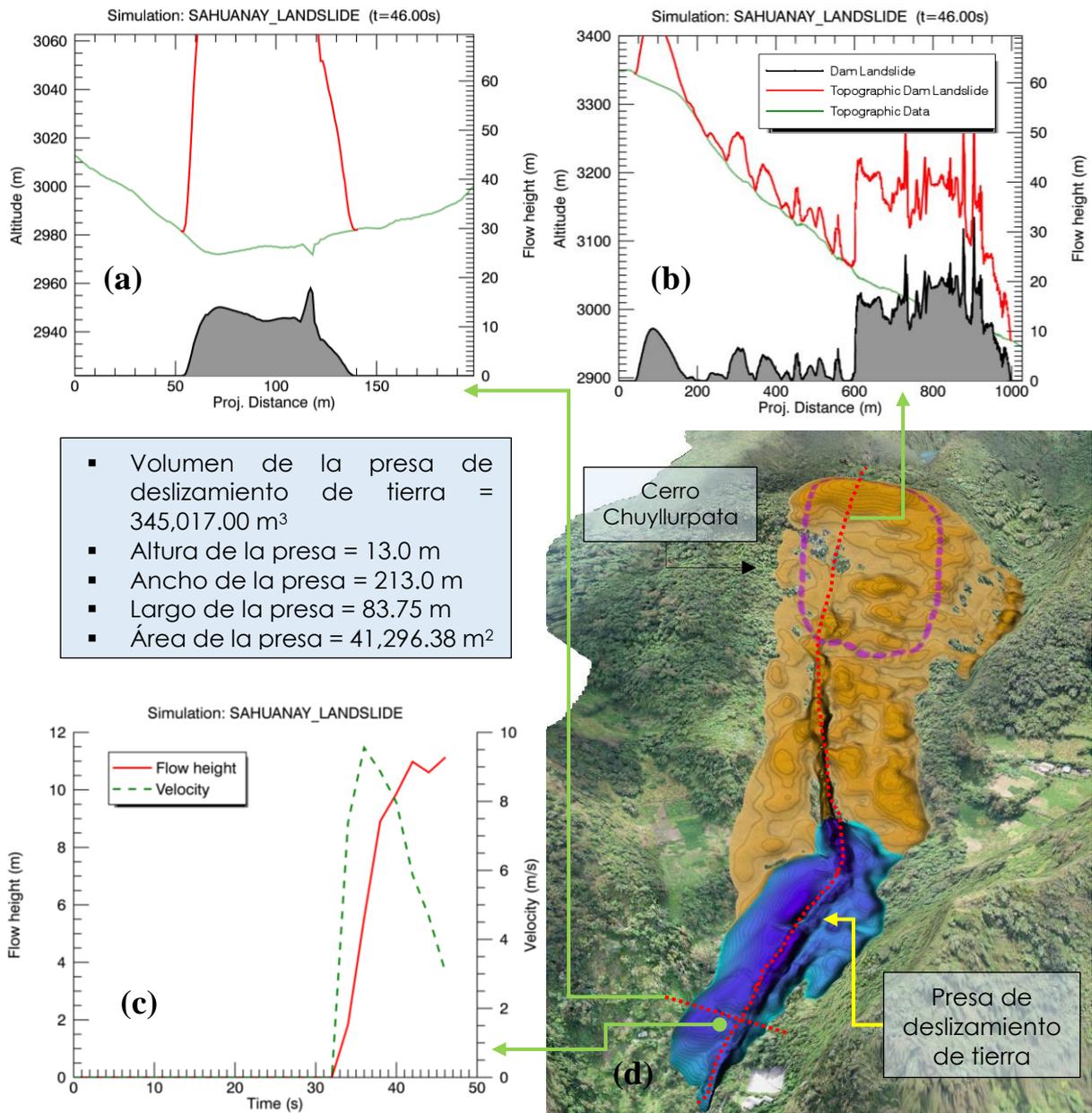


Figura 84 — Simulación del deslizamiento y presa de tierra (Chuyllurpata)

5.1.2.3 Modelamiento hidráulico

El modelamiento hidráulico se realizó con parámetros reológicos de esfuerzo de cedencia y viscosidad (flujo no newtoniano) en la microcuenca de Sahuanay, para distintos periodos de retorno de 50, 100 y 500 años.

En el modelamiento no se colocaron rugosidades de Manning muy altas debido que estas reducen la velocidad del flujo de detrito (JOŠT et al. 2009), esto no es real, por lo que se quitaron las viviendas, autos, árboles y otros elementos del MDE, y se colocó la rugosidad

correspondiente, como área construida o pavimentada, con la finalidad de que los elementos como viviendas representen una indestructibilidad ante la presión de impacto del flujo de detritos.

Coefficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning se determinó a través de teledetección, se aplicó el criterio de Maximum Likelihood a través de clasificación supervisada en el software ArcGIS Pro 3.1.0, se dio muestras de entrenamiento de acuerdo a su tipo de cobertura usando una imagen verdadera o RGB (DEMIR y KESKIN 2020), el insumo principal fue las imágenes satelitales de Sentinel-2, usando las bandas 2 (Blue), 3 (Green) y 4 (Red). Se realizaron para 10 clases de rugosidad acorde a lo existente en la microcuenca Sahuanay (Figura 85), finalmente se dio valores de rugosidad de Manning en condiciones húmedas, debido que el evento se presentará en temporada húmeda o de lluvias (enero a abril).

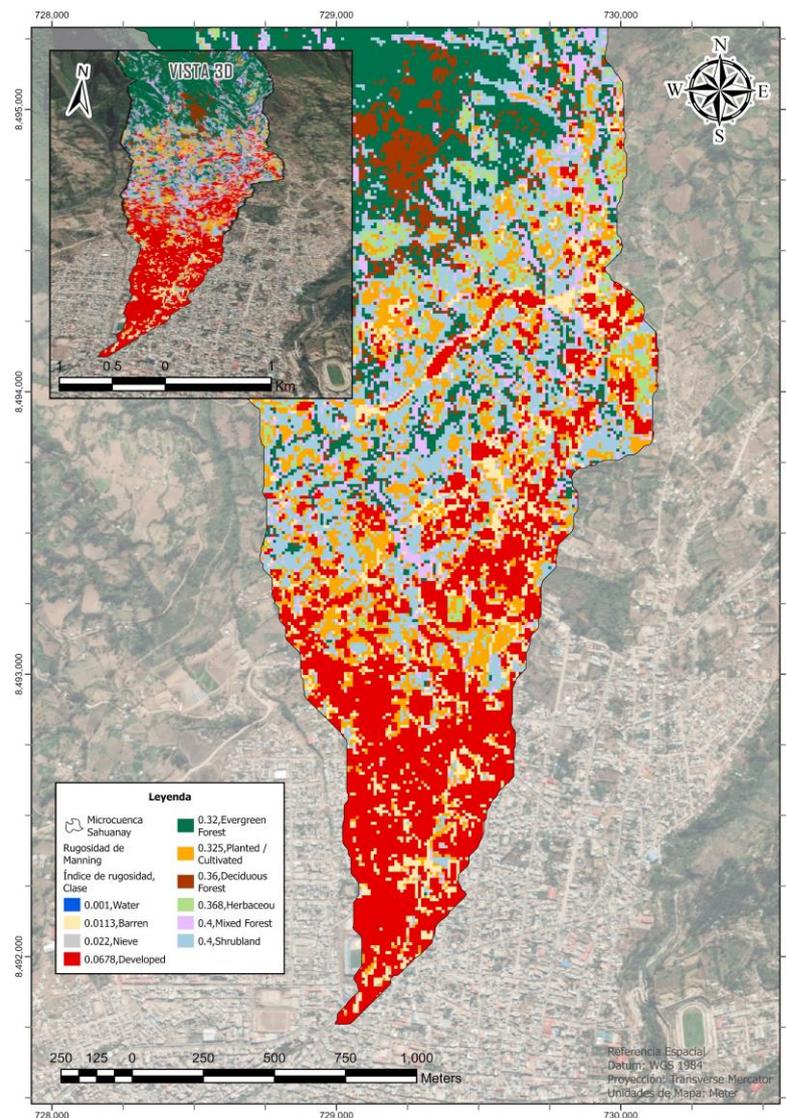


Figura 85 — Coeficiente de rugosidad de Manning de Sahuanay

5.1.2.3.1 Presa de deslizamiento de tierra (dam landslide)

A partir de la generación de la presa de deslizamiento de tierra, se han obtenido los datos de las dimensiones de la presa a partir de los datos de simulación y de ArcGIS Pro, para lo cual se determinará los siguientes índices:

Índices de geomorfológicos de la presa

Se extrajeron los datos del deslizamiento de tierra, presa, hidrología y topografía del lugar para el desarrollo de los índices (Tabla 64).

Tabla 64 — Parámetros geomorfológicos de la presa y del deslizamiento

Parámetros geomorfológicos	Valor
Altura de la presa de deslizamiento (H_D)	13.0 m
Ancho de la presa de deslizamiento (W_L)	213.0 m
Volumen de la presa de deslizamiento (V_D)	345,017.0 m ³
Volumen de deslizamiento (V_{LS})	870,445.45 m ³
Velocidad de deslizamiento (v)	20.0 m/s
Densidad de deslizamiento (ρ_L)	1750 Kg/m ³
Densidad del agua (ρ_w)	1000 Kg/m ³
Tamaño de grano de deslizamiento (d_{30})	0.004816 m
Zona de captación (A_c)	18,992,236.4 m ²
Caudal de agua ($Q_{TR=5}$)	8.5 m/s ³
Pendiente del lecho del canal (S)	0.21 m/m
Ancho del valle (W_v)	6.5 m
U/S (aguas arriba) pendiente (H/V)	3.078
D/S (aguas abajo) pendiente (H/V)	2.145
Altura de deslizamiento (H_L)	150.72 m
Altura hidráulica (h)	2.0 m
Cota máxima de la zona de captación (E_{max})	5,120.0 m
Cota mínima de la zona de captación (E_{min})	2,975.0 m

Índices de formación de presas

Los índices determinaron que se forma una presa producto del deslizamiento de tierra del cerro Chuyllurpata, en los cuatro índices se tiene un índice de formación de presa por deslizamiento del cerro Chuyllurpata en el río Sahuanay (Tabla 65), dando como resultado una obstaculización del cauce natural del río Sahuanay, es decir un represamiento de dique o presa natural.

Tabla 65 — Índice de formación de presa por deslizamiento

Índice	Valor	Si	No
ACR	-0.488	X	
DMI	22430.949	X	
DCI	55.967	X	
MOI	5.127	X	

Índices de estabilidad de presas

Los índices de estabilidad determinaron por mayoría que la presa de deslizamiento de tierra es inestable, lo cual implica que se dará la rotura de presa (Tabla 66).

Tabla 66 — Índice de formación de presa por deslizamiento

Índice	Valor	Estable	Incierto	Inestable
BI	-1.739			X
II	1.758	X		
DBI	2.853		X	
IS	-0.438		X	
BI (Cuenca)	-5.049			X
RI	-2.215			X
HDSI	-1.065			X

A partir de esta premisa, se determinó la curva área – elevación del lago (Figura 86) generado producto del represamiento de la presa de deslizamiento de tierra con ArcGIS Pro (curvas de nivel).

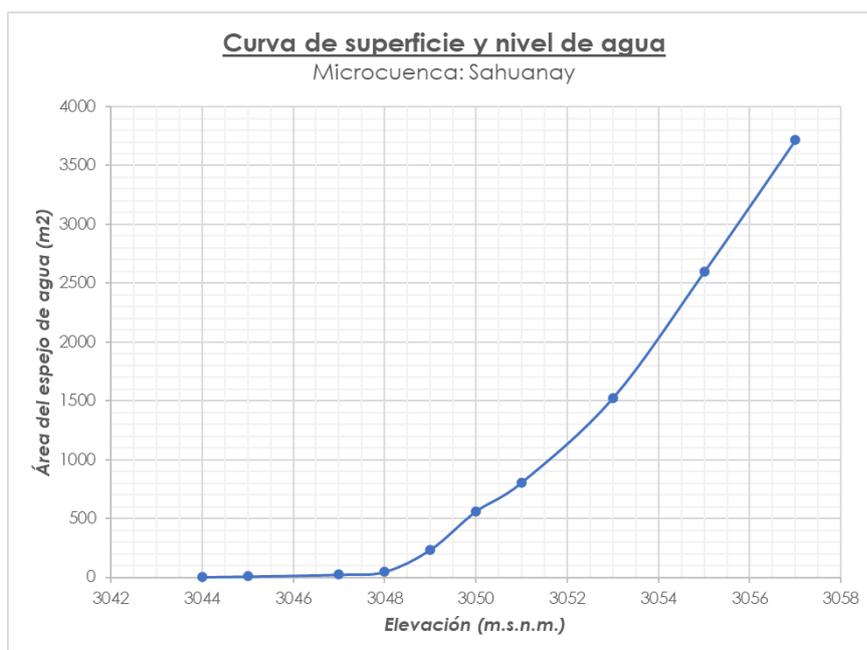


Figura 86 — Curva de superficie y nivel por represamiento

5.1.2.3.2 Rotura de la presa de deslizamiento

De acuerdo a la mayor modalidad de falla por desbordamiento (overtopping) (FAN et al. 2021), aplicando la metodología de (PENG y ZHANG 2012) y de erosionabilidad media, se determinó lo siguiente (Tabla 67).

Tabla 67 — Parámetros de falla de la presa (deslizamiento de tierra)

Parámetro	Variable completa	Simplificada
Q_p (m/s ³)	57.85	64.94
H_b (m)	5.68	5.66
W_t (m)	7.91	13.14
W_b (m)	6.15	6.25
T_b (h)	1.33	1.38
H/V (brecha)	0.16	0.61

Se agrego además los métodos para presas (Tabla 68) de terraplén (artificiales).

Tabla 68 — Parámetros de falla de la presa (terraplén)

Método	Ancho del fondo de la brecha (m)	pendiente lateral (H/V)	Tiempo de desarrollo de la rotura (h)
MacDonald et al.	0	0.5	0.02
Froehlich (1995)	2	1.4	2.03
Froehlich (2008)	5	1	4.35
Von Thun y Gillete	6	0.5	0.25
Xu y Zhang	1	1.24	1.38

De acuerdo a los resultados obtenidos en los parámetros de falla de la presa (deslizamiento y terraplén), se aplicará el método de (PENG y ZHANG 2012) a excepción del tiempo de desarrollo de la rotura T_b , debido a la sobreestimación del parámetro aplicada en otras presas de deslizamiento. Por lo que se utilizará un $T_b=0.1$ horas.

El caudal pico se desarrolló a través del software HEC-HMS aplicando los parámetros mencionados anteriormente y se obtuvo los siguientes hidrogramas (Tabla 70 y Figura 87), según el periodo de retorno correspondiente.

Se compararon con otras metodologías de estimación del caudal pico (Q_p), la cual se tiene lo siguiente (Tabla 69). Producto del modelamiento de la rotura en HEC-HMS se muestran los periodos de retorno (Tr), pero con resultados muy cercanos, lo cual en las demás metodologías no se consideran caudales no constantes (aguas arriba).

Tabla 69 — Caudales pico por rotura de presa de deslizamiento de tierra

Autor	Q_p (m ³ /s)
Costa (1985)	371.97
	38.36
	60.52
Evans (1986)	72.52
Costa y Schuster (1988)	69.40
Walder y O'Connor (1997)	566.50
	84.54
	89.75
Peng y Zhang (2012)	57.85
	64.94
HEC-HMS	59.64 (Tr=50)
	60.80 (Tr=100)
	60.73 (Tr=500)

Tabla 70 — Caudal pico de descarga y volumen (rotura de presa)

Periodo de retorno	Caudal máximo (m ³ /s)	Hora (hh:mm:ss)	Volumen (m ³)
Tr = 50	59.643	13:09:00	428,468.96
Tr = 100	60.796	13:02:00	523,581.29
Tr = 500	60.728	12:45:00	805,684.54

Del mismo modo se presenta en forma agrupada los tres periodos de retorno $Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$ (Figura 87). Este hidrograma se aplicará en HEC-RAS para modelar el flujo de detritos bajo un escenario de lluvias intensas y con una presa de deslizamiento de tierra que bloquea el río Sahuanay, provocando una rotura con arrastre de sedimentos (generación del flujo de detritos).

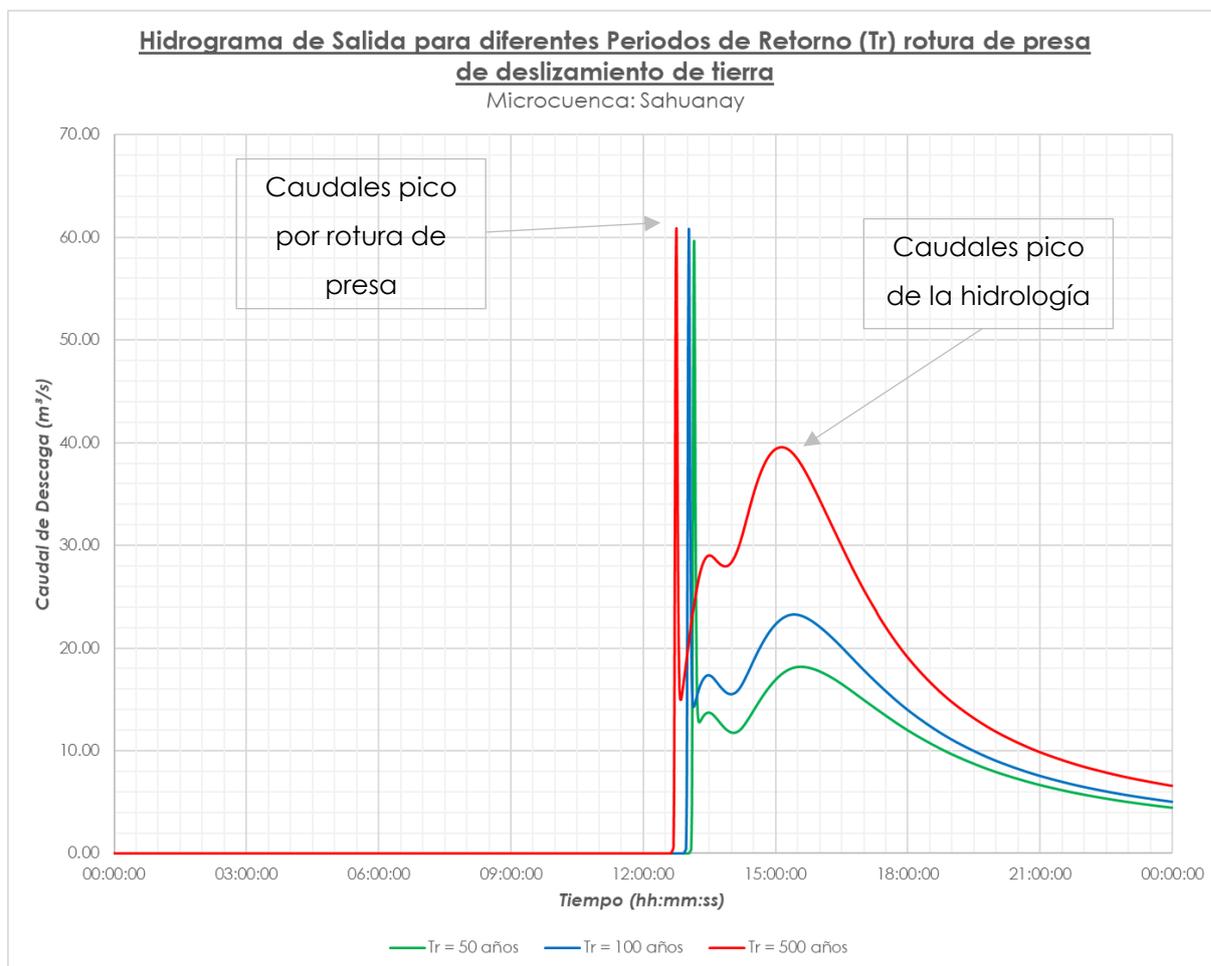


Figura 87 — Hidrograma de salida por rotura de presa de deslizamiento de tierra

5.1.2.3.3 Modelamiento del flujo no – Newtoniano (flujo de detritos)

Parámetros reológicos y calibración del modelo

De acuerdo a los parámetros de (O'BRIEN et al. 1993) la muestra utilizada para el modelo del cerro Chuyllurpata se ajusta a la muestra de tipo Aspen Pit 1, esto también fue usado por (VILLACORTA et al. 2019), en el estudio realizado para la cuenca Mariño por el INGEMMET (2019). Por lo tanto, las ecuaciones de esfuerzo de cedencia y viscosidad utilizadas para el modelo de flujo de detritos es el siguiente:

$$\eta = 0.0360e^{22.1C_v}$$

$$\tau_y = 0.181e^{25.7C_v}$$

Donde:

η : Viscosidad

τ : Esfuerzo de cedencia

C_v : Concentración volumétrica ($C_v=45\%$)

Se aplicó una concentración volumétrica de 45% de acuerdo a los rangos de tipología de flujos no newtonianos propuestos por O'Brien, con una gravedad específica de sedimento de 2.65, concentración por peso 68.4%, contenido de agua por peso 46.1% (Figura 88).

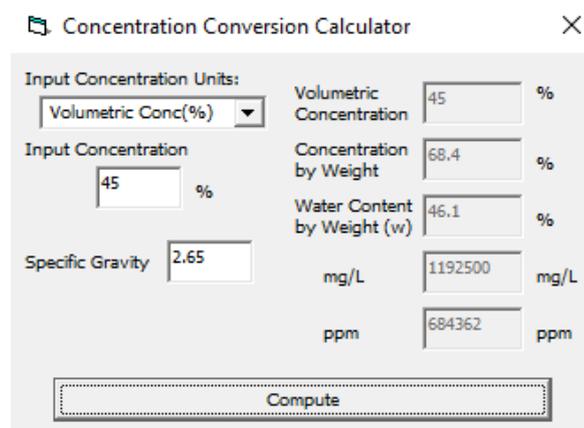


Figura 88 — Calculadora de conversión de concentración del software Hec-Ras

Se consideró un aumento de volumen de arrastre por el flujo de detritos (Bulk fluid volumen), debido que a la emergencia sucedida el 18 de marzo del 2012 producto del deslizamiento del cerro Chuyllurpata (Figura 89). Para el modelo se consideró un C_v máximo de 61.5% y de tamaño de granos representativos de 0.58mm.



Figura 89 — Flujo de detritos ocurrido el 18 de marzo del 2012

Malla y perímetro

Se aplicó mallas no estructuradas en el cauce principal (río Sahuanay), para dar mejor detalle de como se comporta el flujo en el canal de concreto armado. La malla general es estructurada de tamaño de celda de 2m, mientras que la no estructurada es de 1m de tamaño de celda en dirección del cauce principal. Se uso el MDE generado por la fotogrametría con resolución de 21.8 cm/pixel (Figura 90).

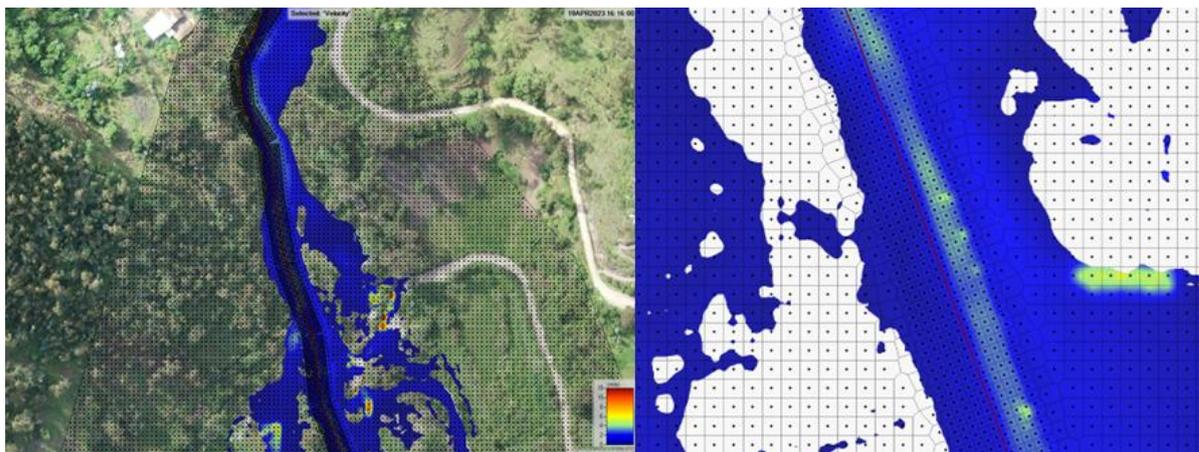


Figura 90 — Malla estructurada y no estructurada en HEC-RAS del modelo

Para el perímetro del modelo se delimito en base al área de estudio (microcuenca Sahuanay), sumado un espaciamiento considerable para mejorar el detalle de la simulación (Figura 91), está determinado de la siguiente manera, área de estudio (línea magenta), líneas de condiciones de perímetro tanto para entrada y salida del flujo de detritos (línea celeste). En las condiciones de entrada (INFLOW) ingresan los hidrogramas determinados en la hidrología (hidrogramas de entrada) para distintos tiempos de retorno $Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$, para las condiciones de salida (OUTFLOW) será de profundidad normal (normal depth), es decir que el flujo saldrá del perímetro libremente, se utilizo las ecuaciones de Shallow Water Equation (SWE).

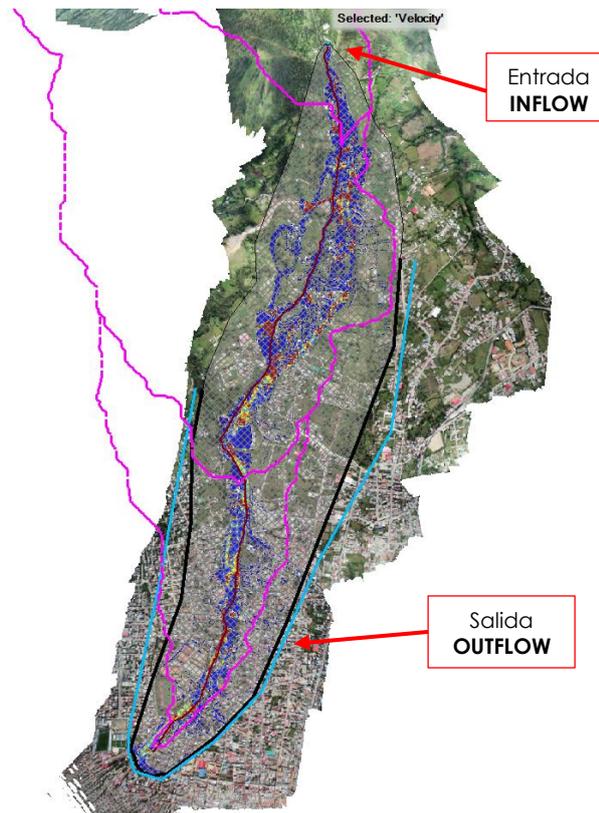


Figura 91 — Condiciones de perímetro del modelo para la simulación numérica

En el caso de velocidad por flujo de detritos se da con mayor importancia en el cuello de botella debido a su aumento en el caudal, ubicado en la zona del estadio de Maucacalle, esto afecta de forma importante a las viviendas y estructuras cercanas.

Solución numérica (número de Courant)

La forma de las ecuaciones de diferenciales de continuidad y momentum aplicadas en el software HEC-RAS son desarrolladas mediante un esquema central de diferencias finitas (CASTILLO 2006).

Para que el modelo no tenga errores en la iteración para la solución del cálculo del flujo de detritos, fue necesario aplicar el número de Courant, donde el intervalo de tiempo Δt fue introducido en el software, dará soluciones lógicas y estables.

$$\Delta t = C \times \frac{\Delta x}{v + c} \quad \text{Ecuación (52)}$$

Donde:

Δt : Intervalo o paso de tiempo

C: Número de Courant ($0.3 < C < 1.0$)

Δx : Ancho del tamaño de la celda de la malla

v : Velocidad promedio de la sección transversal calculada

c : Celeridad de la onda calculada

El valor establecido para el modelo es de 1 segundo, con un tiempo de diseño de tormenta de 24h, entrada de datos del hidrograma de salida a cada 30 segundos.

Tirante (d)

Uno de los resultados principales del modelamiento en HEC-RAS es el tirante del flujo medido en metros, para lo cual se tiene para los diferentes periodos de retorno $Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$, existe un amortiguamiento en los resultados de tirante producto de su topografía y manzanas, que, al actuar con el flujo, estas amortiguan la velocidad del flujo (Figura 92).

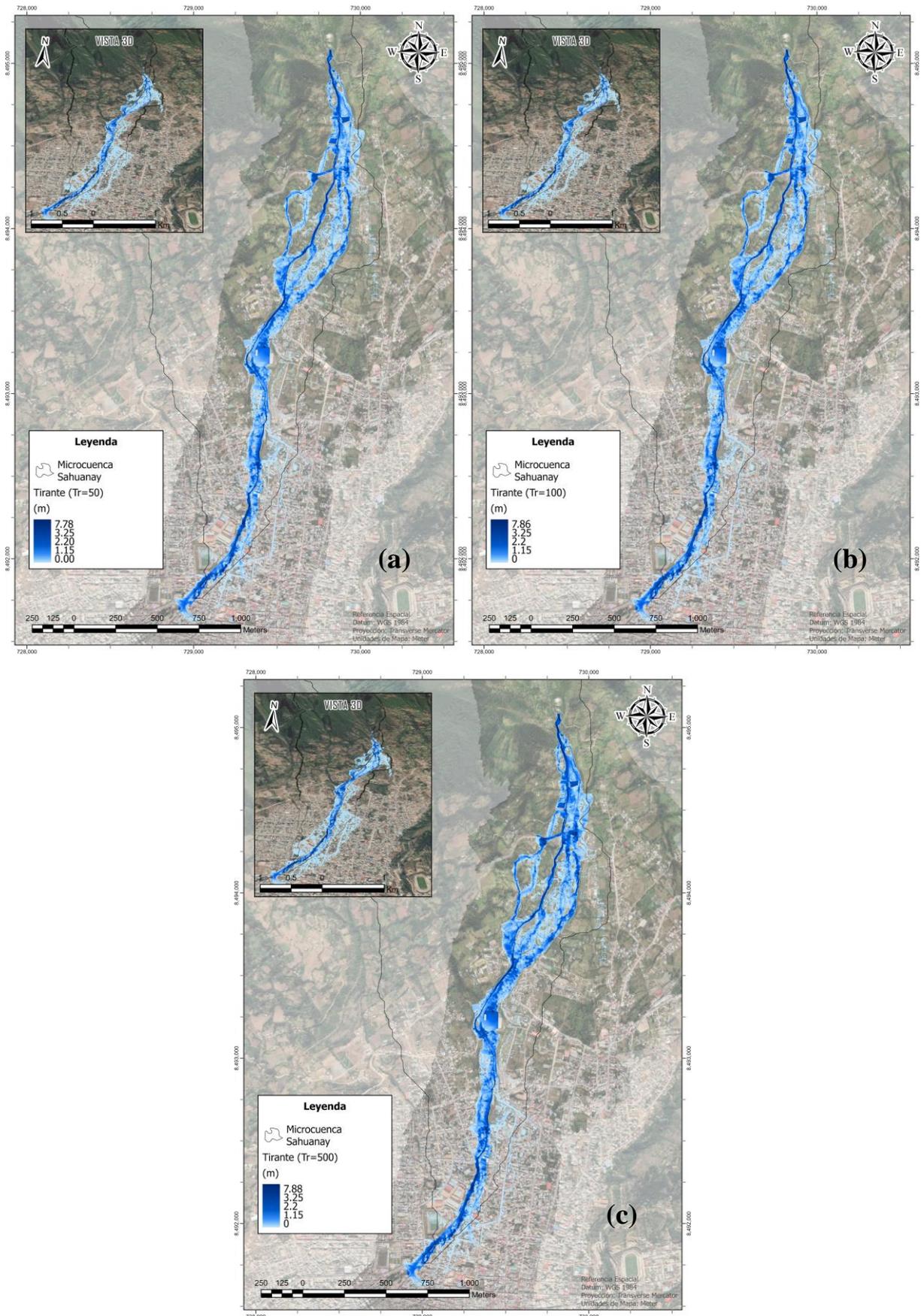


Figura 92 — Tirantes máximos de flujo (m) (Sahuanay)

Nota: Periodos de retorno Tr=50 (a), Tr=100 (b) y Tr=500 (c)

Velocidad (v)

La velocidad del flujo para los $Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$ en metros por segundo de la simulación numérica en HEC-RAS, son los siguientes (Figura 93).

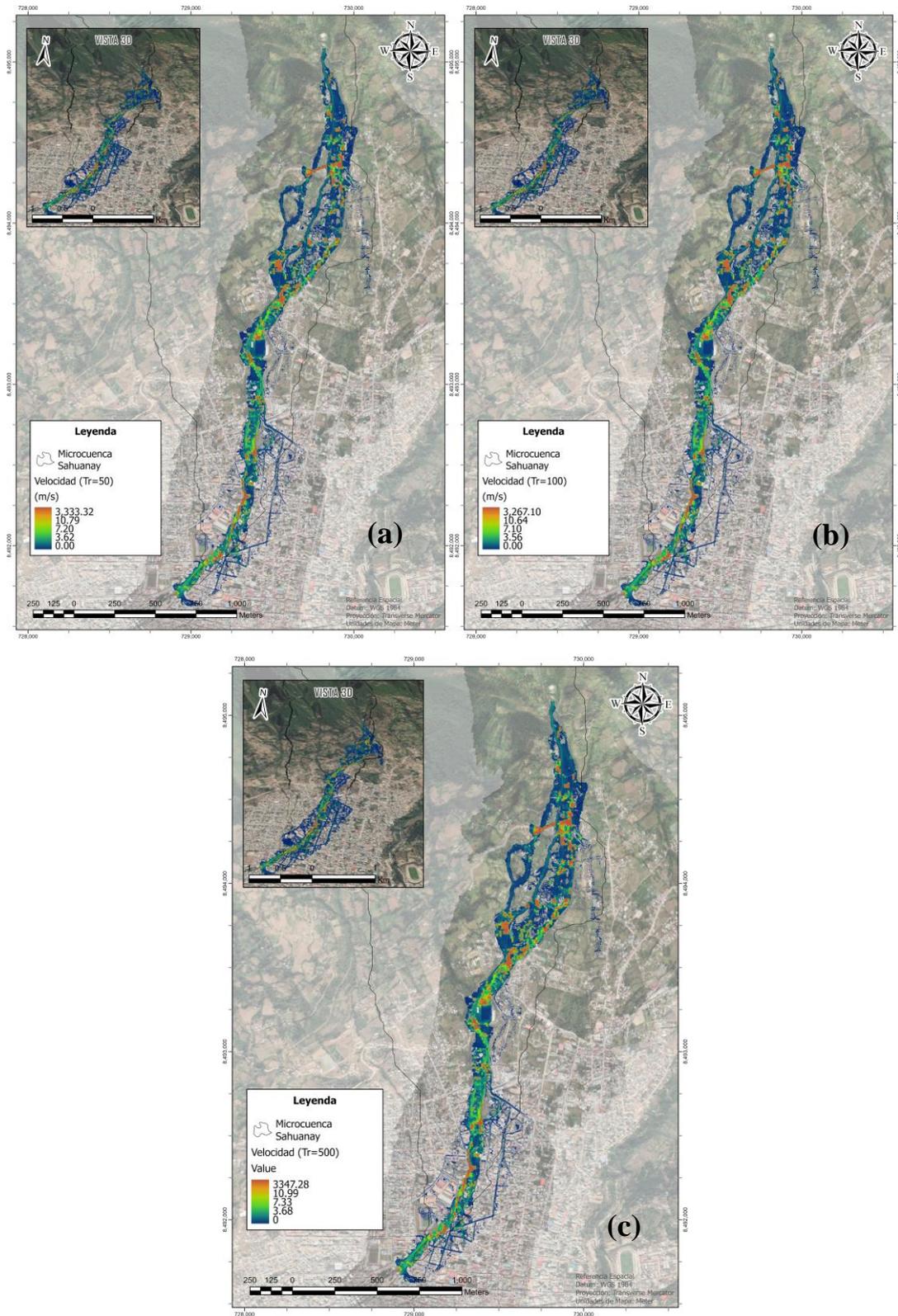


Figura 93 — Velocidades máximas de flujo (m/s) (Sahuanay)

Nota: Periodos de retorno $Tr=50$ (a), $Tr=100$ (b) y $Tr=500$ (c)

Presión de Impacto (p)

Esta variable fue inducida de la interoperabilidad del tirante y velocidad del flujo de detritos la cual introduce producto del modelamiento (ZANCHETTA et al. 2004), haciendo uso de la calculadora ráster de HEC-RAS. Esta expresión contiene sobrepresión dinámica y presión hidrostática.

$$P_t = 0.5\rho_{df}gh + \rho_{df}v^2 \quad \text{Ecuación (53)}$$

Donde:

P_t : Presión de impacto del flujo de detritos (KPa);

ρ_{df} : Densidad promedio del flujo (Kg/m^3);

g : Gravedad ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$);

h : Altura del flujo o tirante (m).

A partir de ello se obtuvo los mapas de presión de impacto (KPa) para los tiempos de retorno $Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$ (Figura 94). Se hace debe hacer mención que la topografía para el modelamiento numérico del flujo de detritos no contempla las viviendas, es decir un MDS, por ello que se utilizó un MDT para evitar que el flujo sea disipado o amortiguado por las viviendas, ya que estas en un caso real pueden colapsar o no, dependiendo de sus factores estructurales, actualmente no existe modelo que incorpore la interacción estructural de viviendas (colapso) y flujos para extensas áreas, tal como es el área de estudio.

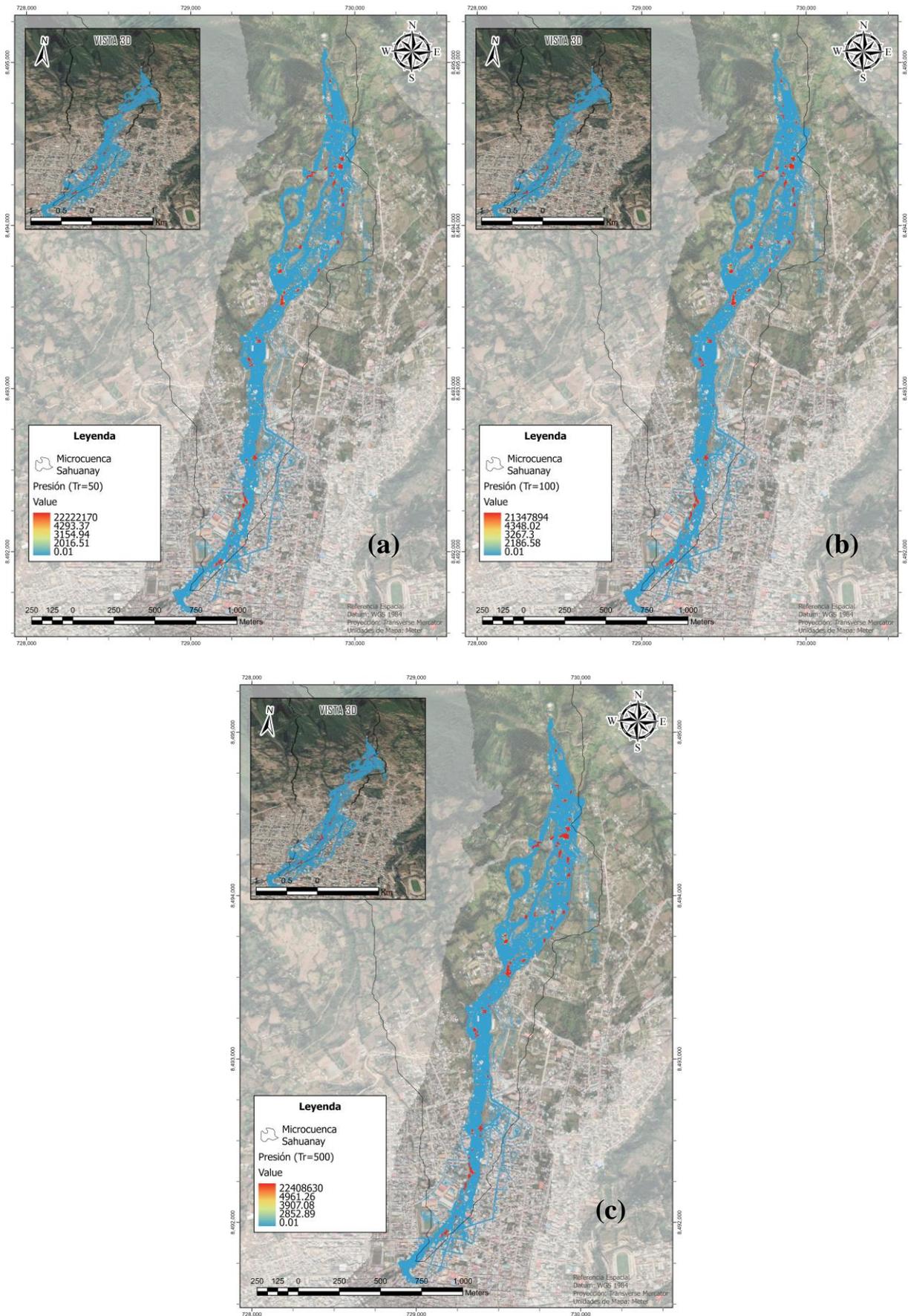


Figura 94 — Presiones máximas de impacto (KPa) (Sahuanay)

Nota: Periodos de retorno Tr=50 (a), Tr=100 (b) y Tr=500 (c)

5.1.2.4 Análisis del Peligro

Los resultados obtenidos mediante la modelación numérica en HEC – RAS, a través de los distintos periodos de retorno 50, 100 y 500, obteniéndose resultados de tirante y velocidad del flujo. Donde el lugar de inicio de la simulación fue en las coordenadas 72.88°O y 13.60°S (al sur de la estación de guardabosques del SERNANP), debido que aquí confluye el deslizamiento y el caudal liquido de agua. Se utilizó la clasificación de peligro (hazard) de Liu, clasificándolo en 4 niveles (Tabla 71) principales (muy alta, alta, media, baja) debido al concepto con fines de reasentamiento (Ley peruana N°29869 “Ley de reasentamiento poblacional para zonas de muy alto riesgo no mitigable”).

Tabla 71 — Niveles de peligro por flujo de detritos

Intensidad del flujo de detritos	Parámetros de h (tirante) y vh a considerar
Muy Alto	$h > 3.0$ o $vh > 12.0$
Alto	$1.5 < h \leq 3.0$ o $3.0 < vh \leq 12.0$
Medio	$0.5 < h \leq 1.5$ y $1.0 < vh \leq 3.0$
Bajo	$h < 0.5$ y $vh < 1.0$

Extraído de: Adaptado (Liu et al. 2021)

Mapa de peligro por flujo de detritos

Se obtuvieron los resultados de peligro para los distintos periodos de retorno, se usaron los 4 niveles de peligros propuestos por Liu. Es necesario acotar que el área de estudio es la solamente la microcuenca Sahuanay (Figura 95).

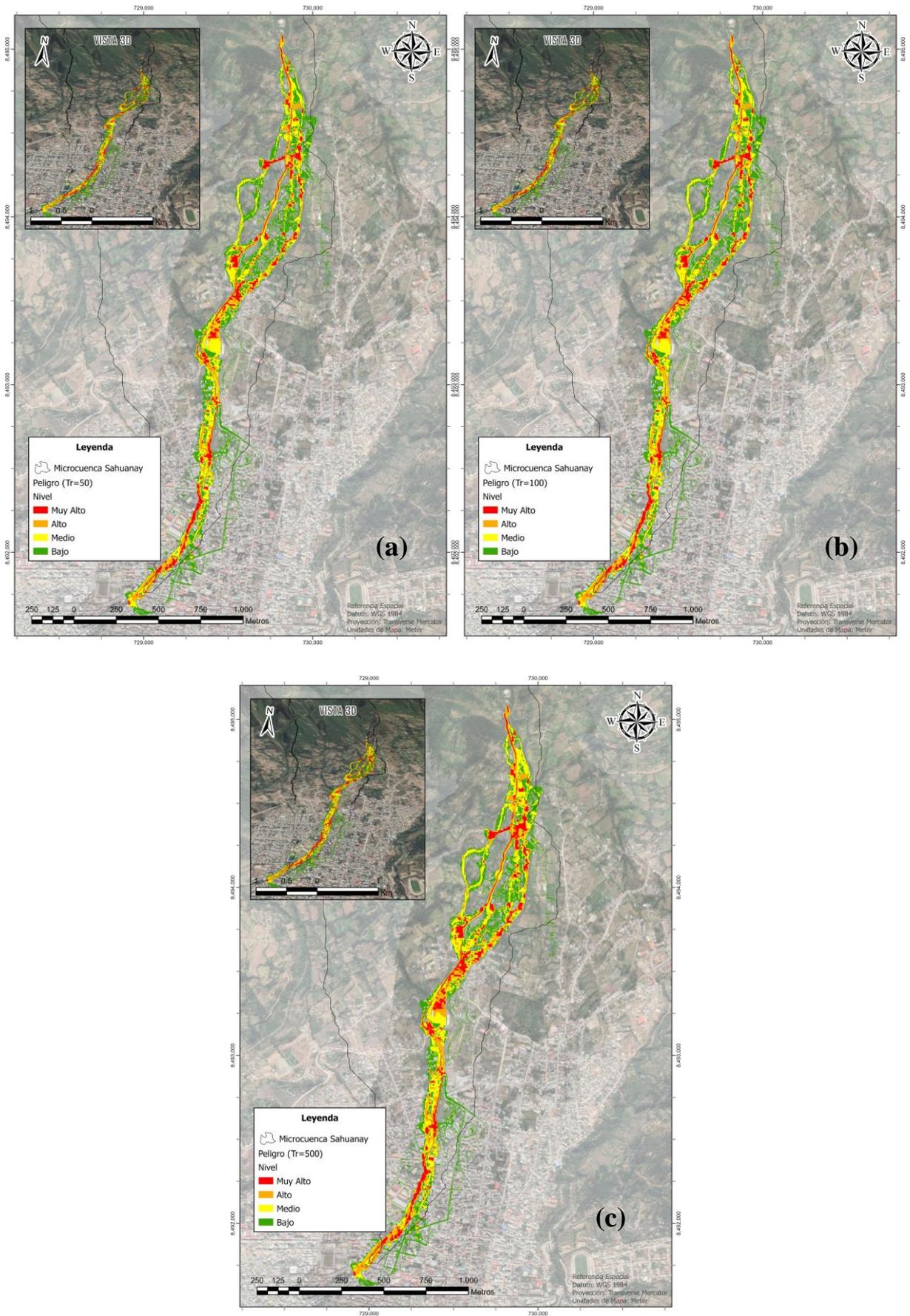


Figura 95 — Mapa de peligro por flujo de detritos (Sahuanay)

Nota: Periodos de retorno Tr=50 (a), Tr=100 (b) y Tr=500 (c)

Se obtuvieron resultados con pocas diferencias, ya que el pico de descarga del Tr=50 es de 45.3 m/s³, mientras que el Tr=100 es de 50.7 m/s³, con una diferencia del 11.92%, mientras que Tr=500 de 67.7 m/s³, esto es debido a que las lagunas del Santuario Nacional del Ampay, la topografía y áreas construidas (manzanas) amortiguan el caudal y esto se manifiesta en los hidrogramas de salida de la hidrología.

5.1.2.4.1 Exposición al peligro

La exposición de viviendas (total de 1,360 viviendas empadronadas) respecto al peligro (Tabla 72 y Figura 96) está dado por lo siguiente:

Tabla 72 — Exposición al peligro de viviendas según el tipo de estructura

Nivel de exposición al peligro	Tr=50		Tr=100		Tr=500	
	NO-RC	RC	NO-RC	RC	NO-RC	RC
Muy Alto	69	126	78	139	83	157
Alto	55	120	48	118	59	123
Medio	55	96	58	96	52	91
Bajo	146	277	158	279	147	261
Nulo	208	208	191	195	192	195
Total	533	827	533	827	533	827

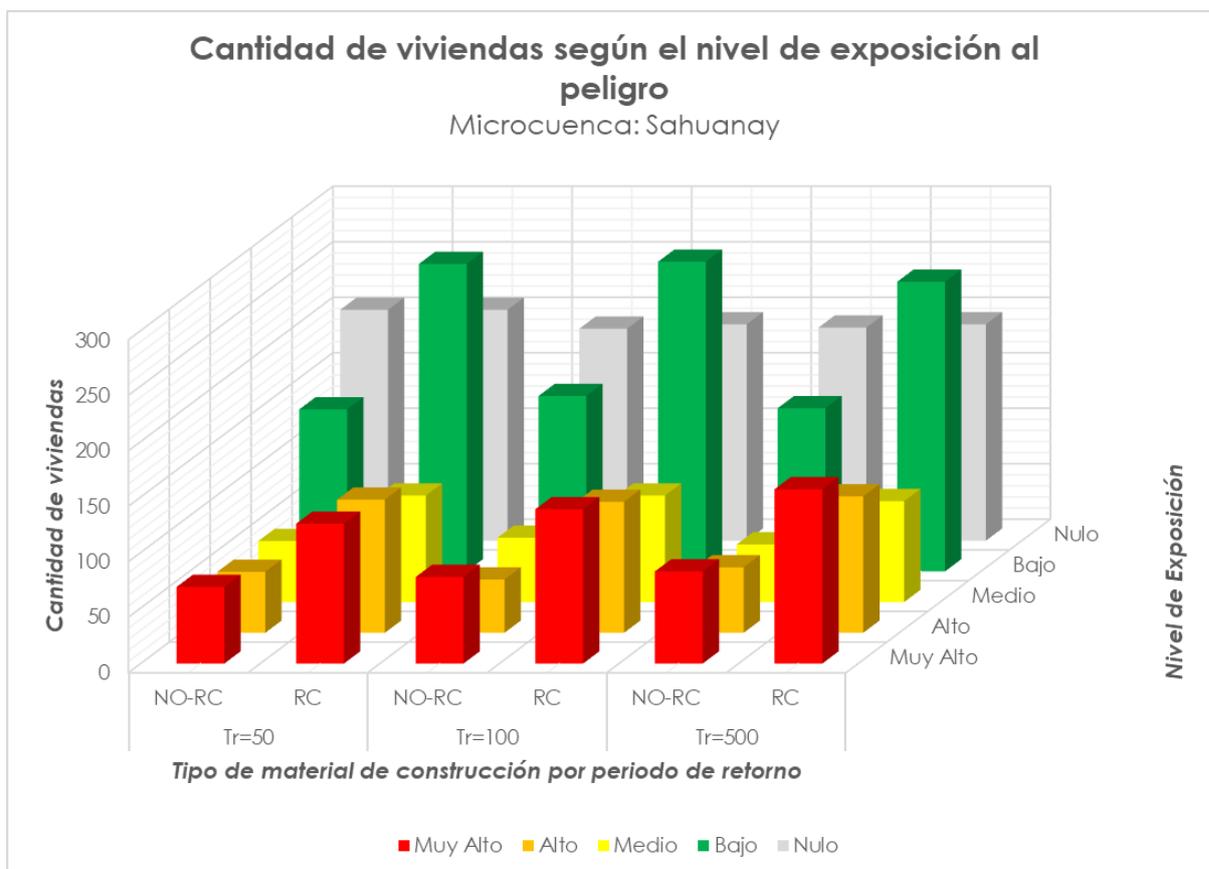


Figura 96 — Exposición al peligro de viviendas según el tipo de estructura

La exposición de habitantes (total de 3,401 habitantes empadronados) respecto al peligro (Tabla 73 y Figura 97) está dado por lo siguiente:

Tabla 73 — Exposición al peligro de habitantes según el tipo de estructura

Nivel de exposición al peligro	Tr=50		Tr=100		Tr=500	
	NO-RC	RC	NO-RC	RC	NO-RC	RC
Muy Alto	117	371	129	421	141	475
Alto	82	394	71	370	76	371
Medio	95	205	106	198	108	190
Bajo	230	864	240	880	221	833
Nulo	308	735	286	700	286	700
Total	832	2,569	832	2,569	832	2,569

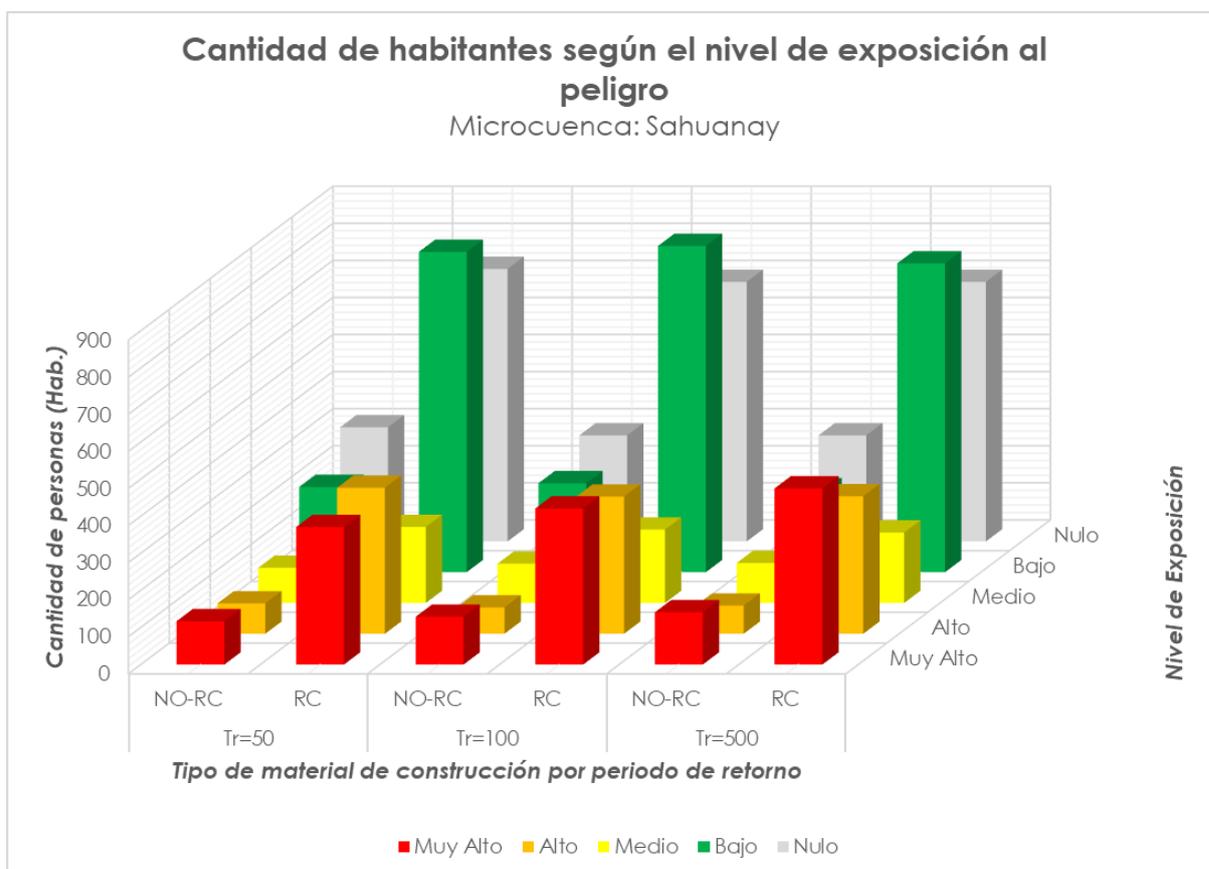


Figura 97 — Exposición al peligro de habitantes según el tipo de estructura

5.1.2.5 Análisis de la Vulnerabilidad

5.1.2.5.1 Vulnerabilidad física

La vulnerabilidad física fue contemplado exclusivamente a viviendas que serán afectados por el flujo de detritos (modelamiento), para la cual se utilizó el modelo de vulnerabilidad física para viviendas de concreto reforzado y sin concreto reforzado (KANG y KIM 2016), la cual utiliza una función exponencial para la determinación del índice de vulnerabilidad en función a las variables de velocidad (v), tirante (d) y presión (p). El modelo de vulnerabilidad abarca dos tipos de viviendas (Figura 98), de tipo concreto reforzado (RC) y sin concreto reforzado

(No-RC), según la clasificación del FEMA (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY 2020). Las tipologías de viviendas son similares que en la microcuenca Sahuanay, las de concreto reforzado, se pueden asociar a viviendas de concreto armado o comúnmente denominado de material noble, mientras que las de concreto no reforzado, a las viviendas de mampostería como el adobe o piedra, como también las de madera.



Figura 98 — Tipos de construcción, RC (izquierda), No-RC (derecha)

Las curvas de vulnerabilidad serán aplicadas en función de las velocidades, tirante y presión del flujo de detritos, aplicado en los distintos tiempos de retorno (50, 100 y 500), en las curvas de vulnerabilidad se han categorizado en 2 grupos, para RC y No-RC (Figura 99, Figura 100 y Figura 101).

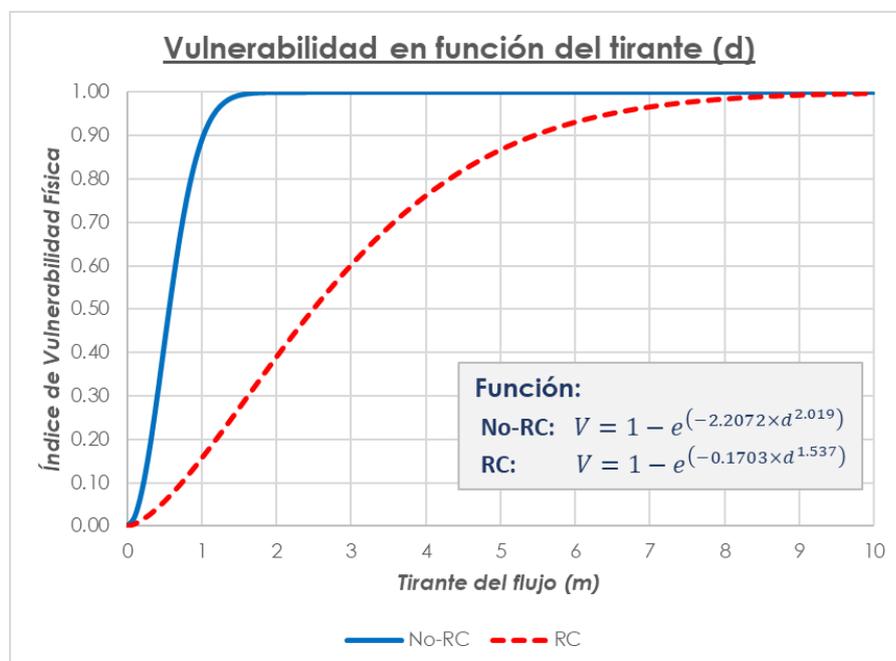


Figura 99 — Vulnerabilidad física de viviendas por tirante de flujo (d)

Extraído de: The physical vulnerability (Kang y Kim 2016)

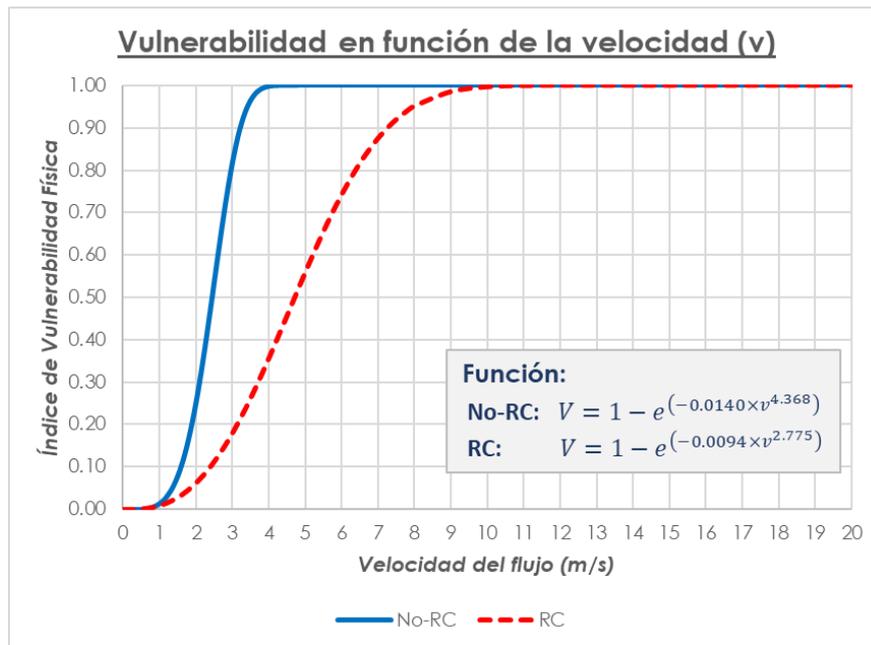


Figura 100 — Vulnerabilidad física de viviendas por velocidad de flujo (v)

Extraído de: The physical vulnerability (Kang y Kim 2016)

Dado la vulnerabilidad física en función de tirante (d) y velocidad (v), estas son variables independientes producto del modelamiento hidráulico en Hec-Ras, por ello se optó de utilizar la variable presión de impacto (p), debido que utiliza los parámetros de velocidad y tirante, además que la resistencia del tipo de material de construcción de las viviendas es más apreciable en términos de presión de impacto (Figura 101), a su vez puede desglosarse en fuerza de impacto.

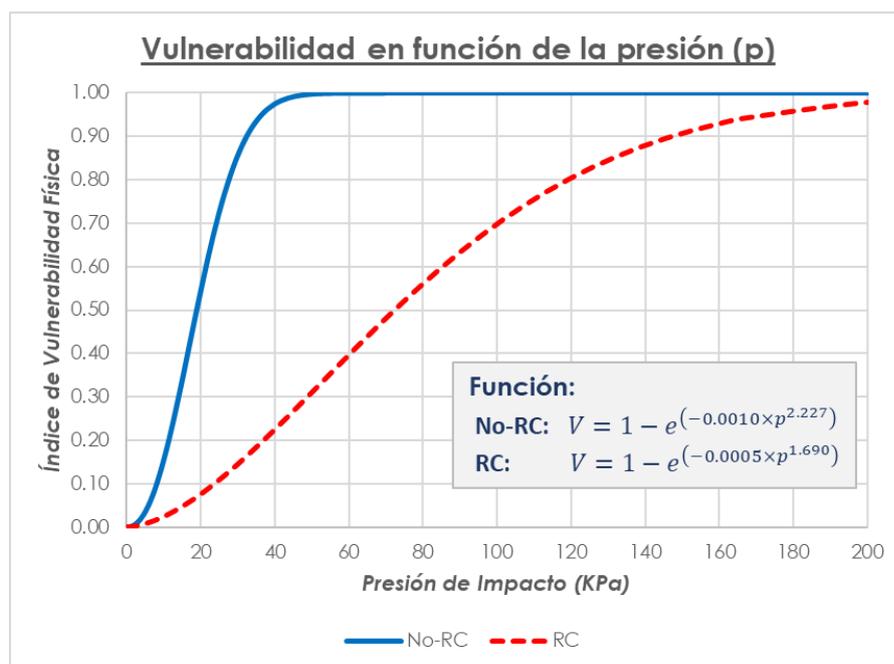


Figura 101 — Vulnerabilidad física de viviendas por presión de impacto (p)

Extraído de: The physical vulnerability (Kang y Kim 2016)

Se muestra que la curva de vulnerabilidad de RC es mucho más resistente o menos vulnerable al impacto del flujo de detritos que las de tipo No-RC, observándose una curva S más elongada (RC) que la otra (No-RC). La vulnerabilidad se estima como el tipo de daño estructural de acuerdo a los siguientes rangos (Tabla 74).

Tabla 74 — Vulnerabilidad de las viviendas en función de la presión de impacto

Tipo de daño	Descripción del daño	Vulnerabilidad
Completo	Parcial o totalmente destruido, evacuación necesaria, reconstrucción completa	0.8 – 1.0
Extensivo	Parcialmente destruida, algunas partes de exterior y muros interiores, evacuación necesaria, reparación de partes destruidas	0.6 – 0.8
Moderado	Rajaduras en muros, estabilidad inafectada, reparación no urgente, inundación de habitaciones internas	0.3 – 0.6
Leve	Leve daño estructural, estabilidad no afectada	0.1 – 0.3

Extraído de: The physical vulnerability (Kang y Kim 2016)

Se aplicó la curva de vulnerabilidad a las viviendas, obteniéndose valores de acuerdo al daño de la estructura, para los tres periodos de retorno ($Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$), se obtuvo según el empadronamiento y catastro realizado (Tabla 75).

Tabla 75 — Cantidad de viviendas según el nivel de vulnerabilidad

Tipo de daño	Tr=50		Tr=100		Tr=500	
	NO-RC	RC	NO-RC	RC	NO-RC	RC
Completo	93	160	94	172	101	185
Extensivo	3	29	7	23	4	30
Moderado	15	42	16	49	22	49
Leve	33	56	37	49	38	64
Nulo	389	540	379	534	368	499
Total	533	827	533	827	533	827

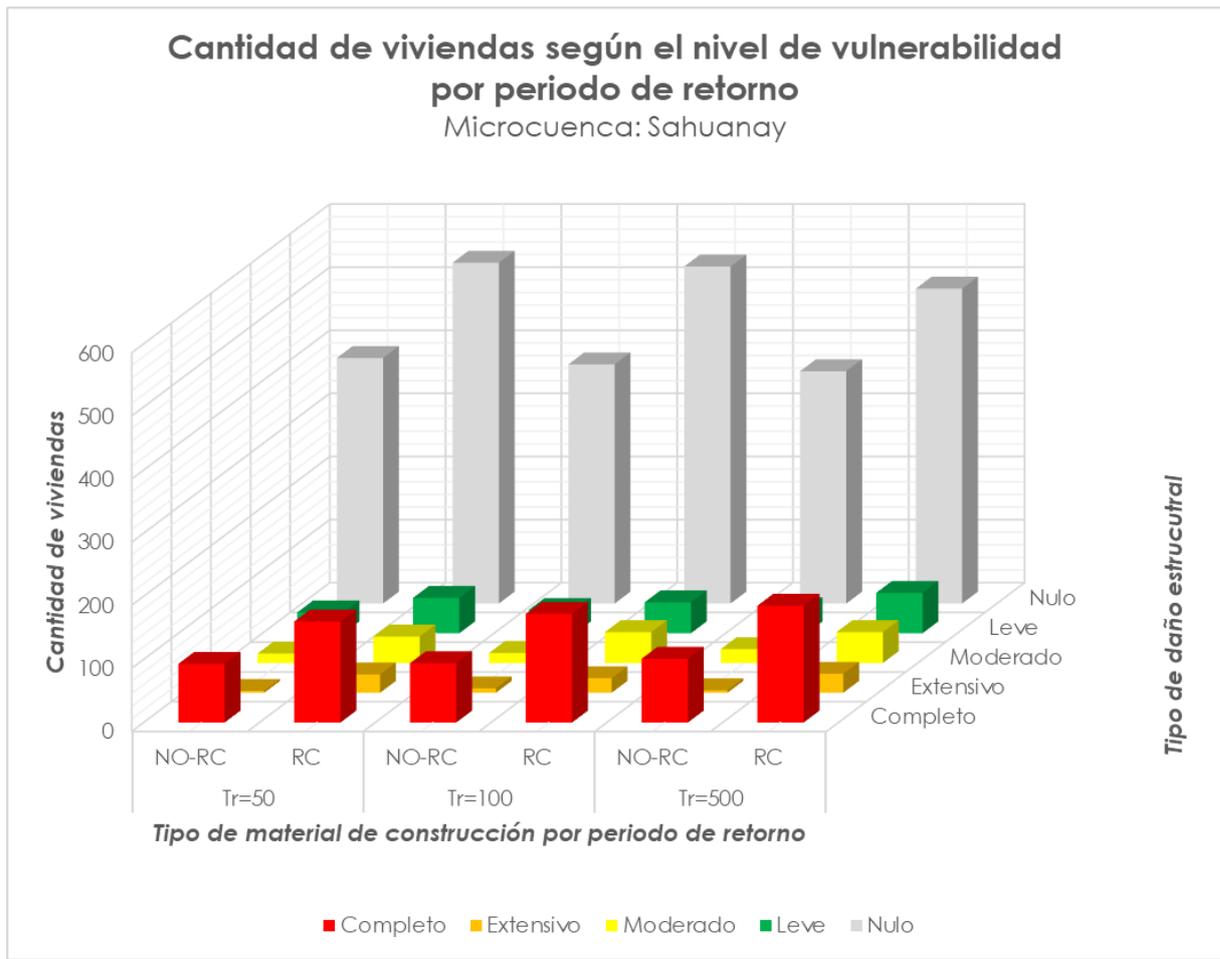


Figura 102 — Cantidad de viviendas según el nivel de vulnerabilidad

Mapa de vulnerabilidad por flujo de detritos

Se elaboro los mapas de vulnerabilidad para los tres periodos de retorno (Tr=50, Tr=100 y Tr=500), para la microcuenca Sahuanay por flujo de detritos (Figura 103).

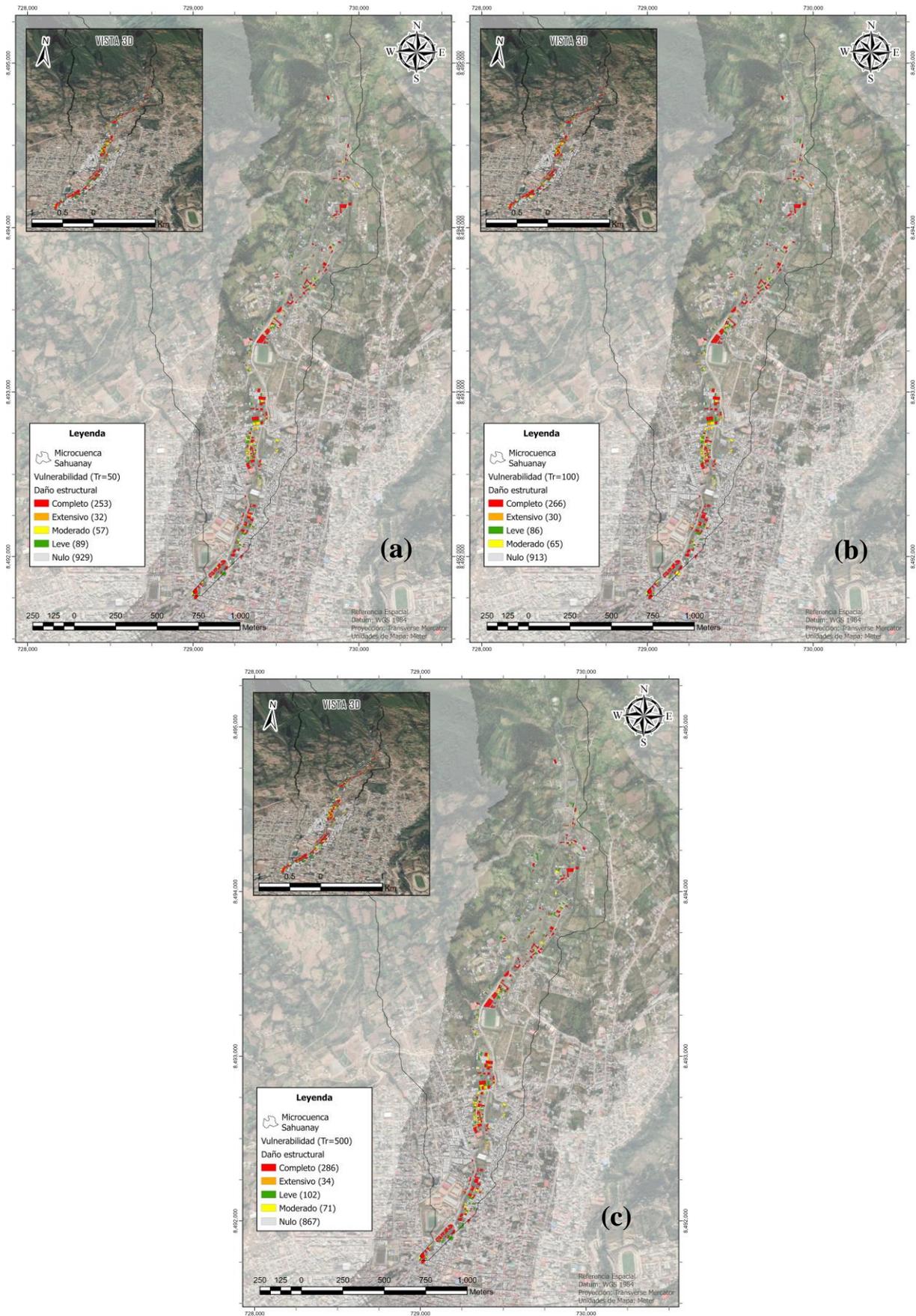


Figura 103 — Mapa de vulnerabilidad física por flujo de detritos (Sahuanay)

Nota: Periodos de retorno $Tr=50$ (a), $Tr=100$ (b) y $Tr=500$ (c)

5.1.2.5.2 Catastro urbano

El catastro urbano se elaboró a partir de la fotogrametría, cercanos a la huella de inundación del $Tr=500$ (máximo) del pre modelamiento, considerándose para la microcuenca Sahuanay, la delimitación de viviendas fue realizada con el software ArcGIS PRO, en su extensión de parcelas.

Empadronamiento

Esto fue realizado por el INAIGEM a través de su voluntariado, donde el autor de la investigación fue miembro, se realizaron encuestas virtuales a través de la plataforma Survey123 de ESRI, siendo los parámetros más importantes para determinar la vulnerabilidad y riesgo: tipo de construcción, número de pisos y población en la vivienda.

Delimitación

Se delimitaron las áreas de construcción de las viviendas, para saber las dimensiones de su construcción y tipo (Figura 104), obteniéndose la vulnerabilidad (curva de vulnerabilidad) y riesgo (costo de la construcción).



Figura 104 — Catastro urbano y la mancha de inundación

Del empadronamiento y delimitación se obtuvo lo siguiente a nivel de cada vivienda o área construida dentro de la microcuenca Sahuanay y dentro de la huella de inundación (Tabla 76 y Tabla 77).

Tabla 76 — Cantidad de viviendas por tipo material de construcción

Tipo de material construcción predominante	Cantidad de viviendas
Adobe	465
Concreto armado	827
Madera	68
Total	1,360

Tabla 77 — Cantidad de viviendas por número de pisos

Nº de pisos	Cantidad de viviendas
1	721
2	389
3	162
4	73
5	13
6	2
Total	1,360

5.1.2.5.3 Costo unitario de viviendas

Se estimó el costo de viviendas por medio de la Resolución Ministerial N° 309-2022-VIVIENDA (MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO 2023), aplicándose los precios unitarios por metro cuadrado del área de la vivienda construida (Tabla 78), para lo cual se utilizó el catastro y número de pisos del empadronamiento realizado con INAIGEM.

Tabla 78 — Cuadro de valores unitarios oficiales de edificación para la Sierra

Valores por partidas en soles por metro cuadrado de área techada			
	Estructuras		Acabados
	Muros y columnas 1	Techos 2	Puertas y ventanas 3
A	Estructuras laminares curvadas de concreto armado que incluyen en una sola armadura la cimentación y el techo, para este caso no se considera los valores de la columna N°2	Losa o aligerado de concreto armado con luces mayores a 6m y sobrecarga mayor a 300 Kg/m ²	Aluminio pesado con perfiles especiales madera fina ornamental (caoba, cedro o pino selecto) vidrio insulated (1)
	898.59	467.23	354.66
B	Columnas, vigas y/o placas de concreto armado y/o metálicas	Aligerados o losas de concreto armado inclinadas	Aluminio o madera fina (caoba o similar) de diseño especial, vidrio tratado polarizado (2) y curvado, laminado o templado
	534.59	321.22	313.84
C	Placas de concreto E=10 a 15 cm albañilería armada, ladrillo o similar con columnas y vigas de amarre de concreto armado	Aligerado o losas de concreto armado horizontales	Aluminio o madera fina (caoba o similar) vidrio tratado polarizado (2) laminado o templado
	387.87	224.78	228.98
D	Ladrillo, sillar o similar sin elementos de concreto armado, drywall o similar incluye techo (5)	Calamina metálica fibrocemento sobre vigería metálica	Ventanas de aluminio, puertas de madera selecta, vidrio tratado transparente (3)
	358.26	152.16	134.31
E	Adobe, tapial o quincha	Madera con material impermeabilizante	Ventanas de fierro, puertas de madera selecta (caoba o similar) vidrio simple transparente (4)
	230.09	57.16	83.93
F	Madera (estoraque, pumaquiuro, huayruro, machinga, catahua amarilla copaiba, diablo fuerte, tornillo o similares), drywall o similar (sin techo)	Calamina metálica fibrocemento o teja sobre vigería de madera corriente	Ventanas de fierro o aluminio industrial, puertas de fierro, puertas contraplacadas de madera (cedro o similar), puertas de material MDF o HDF, vidrio simple transparente (4)
	175.38	55.82	79.34
G	Pircado con mezcla de barro	Sin techo	Madera corriente con marcos en puertas y ventanas de PVC o madera corriente
	103.33	0.00	46.74
H	-	-	Madera rústica
	-	-	23.37
I	-	-	Sin puertas ni ventanas
	-	-	0.00

En edificios aumentar el valor por m² en 5 % a partir del 5° piso

El valor unitario por m² para una edificación determinada, se obtiene sumando los valores seleccionados de cada una de las 3 columnas del cuadro de acuerdo a sus características predominantes.

La demarcación territorial consignada es de uso exclusivo para la aplicación del presente cuadro, abarca las localidades ubicadas en la faja longitudinal del territorio limitada: al norte por la frontera con el Ecuador, al sur por la frontera con Chile y Bolivia, al oeste por la curva de nivel de 2000 m.s.n.m. que la separa de la costa este, por una curva de nivel que la separa de la selva, que partiendo de la frontera con el Ecuador, continúa hasta su confluencia con el río Nova, afluente del San Alejandro, en donde asciende hasta la cota 2000 m.s.n.m. y continúa por esta hacia el sur hasta su confluencia con el río Sanabeni, afluente del Ene, de este punto baja hasta la cota 1500 m.s.n.m. y continúa hasta la frontera con Bolivia.

(1) referido al doble vidriado hermético, con propiedades de aislamiento térmico y acústico.

(2) referido al vidrio que recibe tratamiento para incrementar su resistencia mecánica y propiedades de aislamiento acústico y térmico, son coloreados en su masa permitiendo la visibilidad entre 14% y 83%.

(3) referido al vidrio que recibe tratamiento para incrementar su resistencia mecánica y propiedades de aislamiento acústico y térmico, permiten la visibilidad entre 75% y 92%.

(4) referido al vidrio primario sin tratamiento, permiten la transmisión de la visibilidad entre 75% y 92%

(5) para este caso no se considera la columna N° 2

Se aplicó combinaciones para la estimación del costo según el tipo de material de construcción, el número de pisos, área construida y escaleras, se aplicó en función de la RM N°309-2022-VIVIENDA, obteniéndose costos totales solamente para los elementos estructurales para las viviendas afectadas en la microcuenca Sahuanay (Tabla 79).

Tabla 79 — Estimación de los costos totales de la vivienda construida

Tipo de material construcción predominante	Combinaciones para estimación del costo total de la vivienda construida
Adobe	$(E1 + F2 + F3) \times A_{const} \times N_{pisos} + C_{escalera}$
Concreto armado	$(C1 + C2 + E3) \times A_{const} \times N_{pisos} + C_{escalera}$
Madera	$(F1 + F2 + G3) \times A_{const} \times N_{pisos} + C_{escalera}$
A_{const} : Área construida de la vivienda (m ²) N_{pisos} : Cantidad de pisos de la vivienda $C_{escalera}$: Costo de la escalera (5,325.25/m ³ para concreto armado y 4,265.14/m ³ para adobe)	

5.1.2.6 Análisis del Riesgo

5.1.2.6.1 Riesgo social

Se determinó como la probabilidad de fallecer de las personas (colapso vivienda).

5.1.2.6.2 Riesgo económico

El riesgo se estimó como el costo de reparación o reconstrucción de la vivienda después de ser dañada por el flujo de detritos en sus tres escenarios (Tr=50, Tr=100 y Tr=500), además esto se plasmó como el tipo de intervención que tendrá la vivienda, solamente se han realizado en el área de estudio de la microcuenca Sahuanay y se ha depurado colegios, parques, tanques de agua, reservorios, carreteras, entre otros.

A partir del costo total de viviendas (nuevos soles) y de acuerdo al nivel de vulnerabilidad producto del peligro por flujo de detritos, se obtuvo el costo de reparación o reconstrucción de cada vivienda (Tabla 80 y Figura 105).

Tabla 80 — Cantidad de viviendas del riesgo según el costo

Gasto en nuevos soles (S/)	Tr=50		Tr=100		Tr=500	
	NO-RC	RC	NO-RC	RC	NO-RC	RC
0 - 1,000	341	365	332	351	320	331
1,000 - 5,000	72	105	77	110	80	111
5,000 - 10,000	21	43	24	41	25	40
10,000 - 100,000	69	167	70	173	76	183
100,000 - 500,000	30	120	30	123	32	129
> 500,000	0	27	0	29	0	33
Total	533	827	533	827	533	827

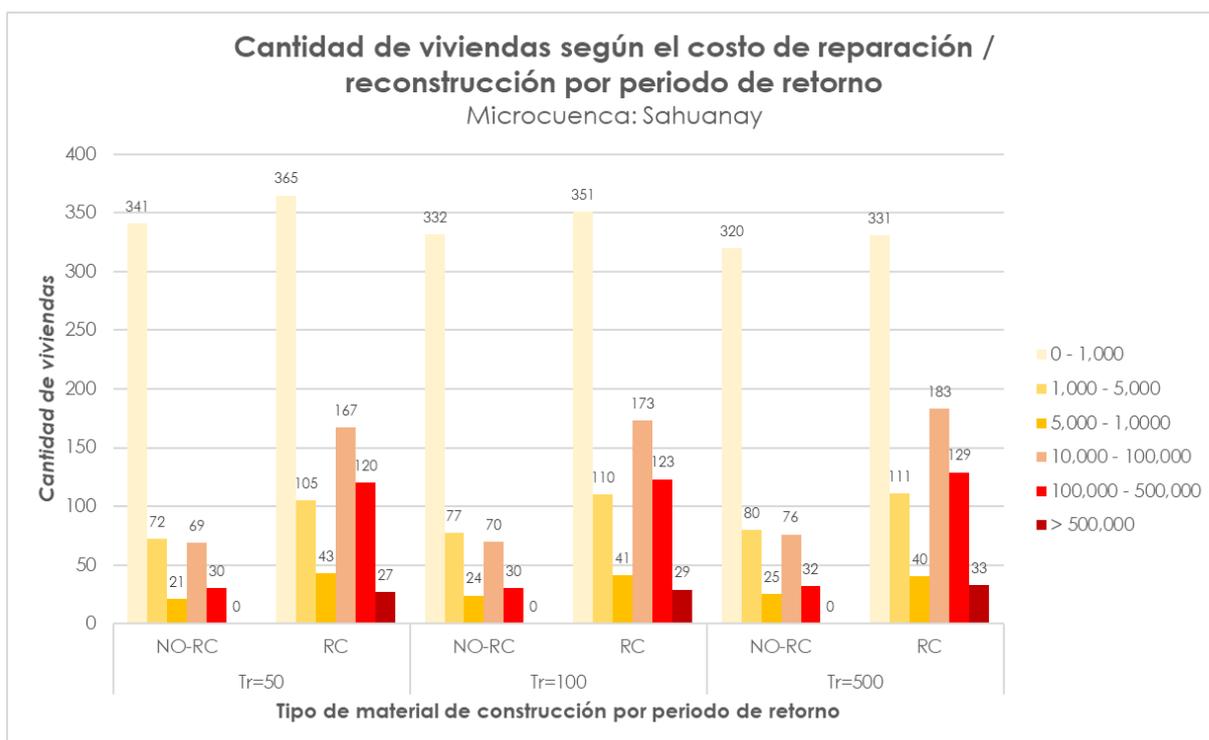


Figura 105 — Cantidad de viviendas del riesgo según el costo

Tipo de intervención

El tipo de intervención acorde al daño completo (0.8 a 1.0) de índice de vulnerabilidad física, serán reconstruidas, debido al daño completo, siendo más factible realizar la reconstrucción que reparaciones con índices mayores a 0.8 de vulnerabilidad física (Tabla 81 y Figura 106).

Tabla 81 — Cantidad de viviendas según el tipo de intervención

Tipo de intervención	Tr=50		Tr=100		Tr=500	
	NO-RC	RC	NO-RC	RC	NO-RC	RC
Ninguno	389	540	379	534	368	499
Reconstrucción	93	160	94	172	101	185
Reparación	51	127	60	121	64	143
Total	533	827	533	827	533	827

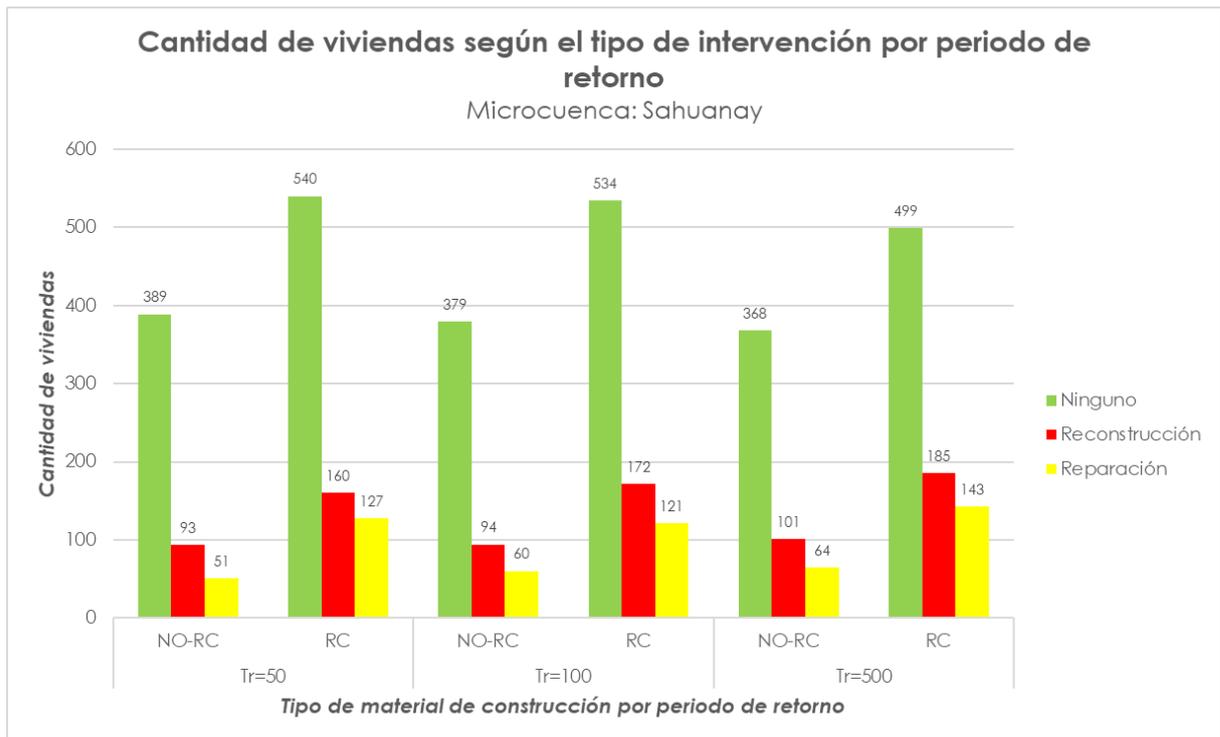


Figura 106 — Cantidad de viviendas según el tipo de intervención

Mapa de riesgo por flujo de detritos

Se elaboro los mapas de riesgo para los tres periodos de retorno (Tr=50, Tr=100 y Tr=500), para la microcuenca Sahuanay por flujo de detritos, para valores de reconstrucción o reparación, se establecieron 10 rangos de valores por una distribución geométrica (Figura 107) y del tipo de intervención de las viviendas (Figura 108). El tipo de intervención “ninguno” implica un costo de S/ 0.00.

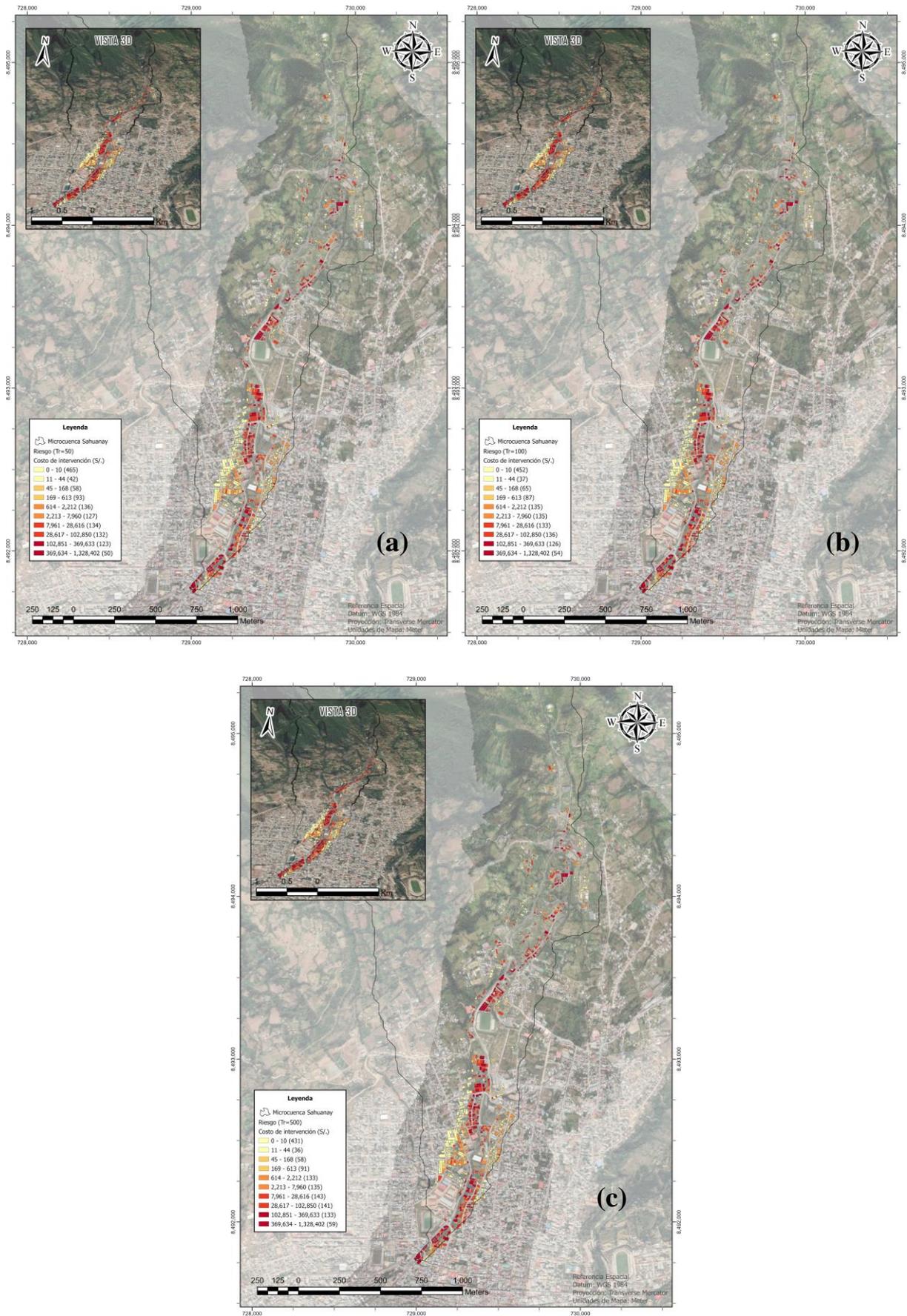


Figura 107 — Mapa de riesgo del costo de intervención (Sahuanay)

Nota: Periodos de retorno Tr=50 (a), Tr=100 (b) y Tr=500 (c)

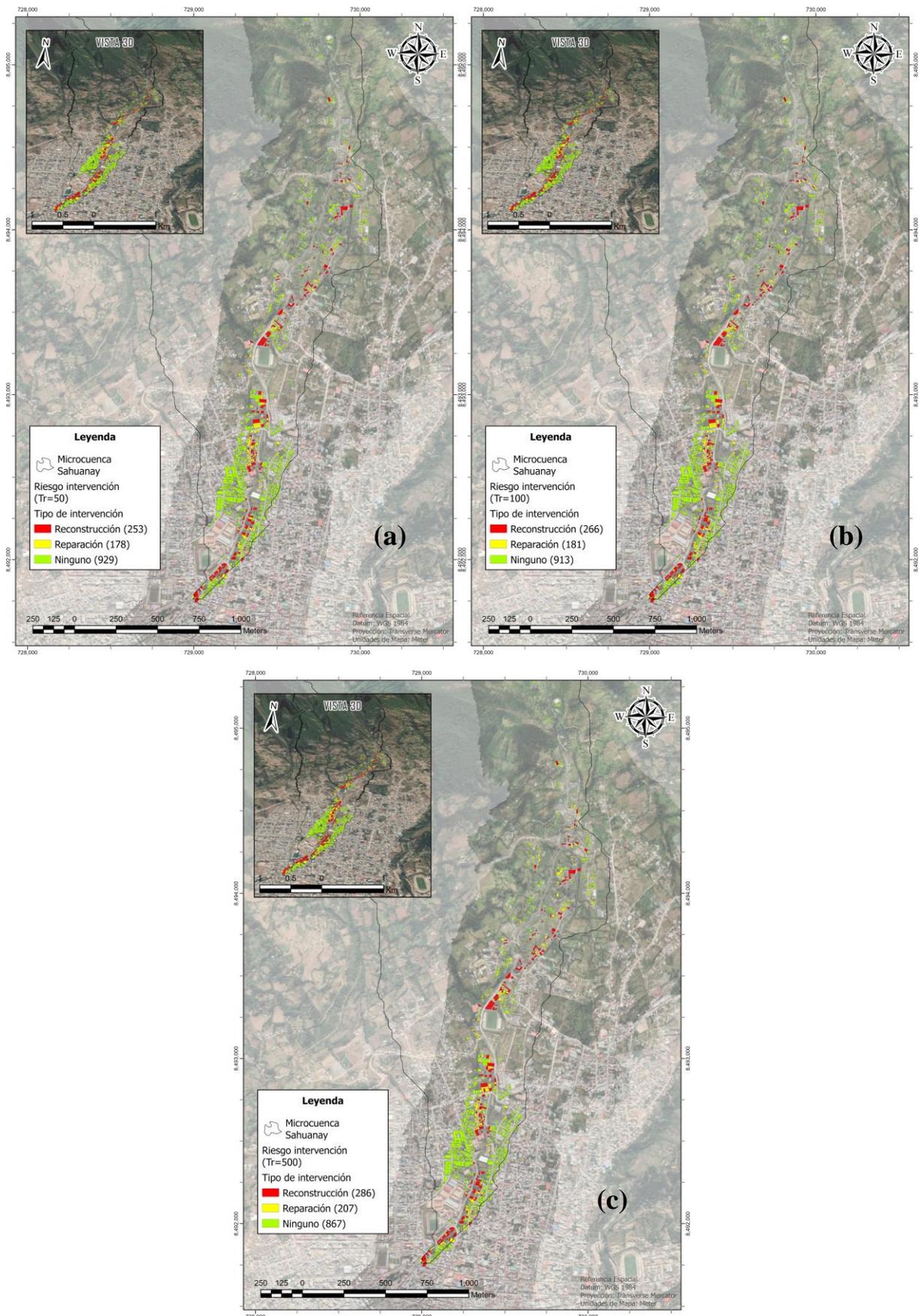


Figura 108 — Mapa de riesgo del tipo de intervención (Sahuanay)

Nota: Periodos de retorno Tr=50 (a), Tr=100 (b) y Tr=500 (c)

Se determinó el costo total (nuevos soles) que provocaría el flujo de detritos en sus tres periodos de retorno Tr=50, Tr=100 y Tr=500, para el tipo de estructura (NO-RC y RC) en la microcuenca Sahuanay (Tabla 82).

Tabla 82 — Costo de la intervención total por tipo de estructura

Tipo de estructura	Tr=50	Tr=100	Tr=500
NO-RC	S/ 8,491,823.42	S/ 8,537,550.92	S/ 8,977,638.98
RC	S/ 56,569,392.24	S/ 59,578,745.43	S/ 64,298,164.94
Total	S/ 65,061,215.65	S/ 68,116,296.35	S/ 73,275,803.91

Esto se ha desgregado acorde al tipo de material de construcción del costo total de las viviendas o edificaciones en los tres escenarios (Tabla 83 y Figura 106). Se estimó un total de S/ 65,061,215.7 para Tr=50, S/ 68,116,296.4 para Tr=100 y S/ 73,275,803.9 para Tr=500.

Tabla 83 — Costo de la intervención total por tipo de material de construcción

Tipo de material	Tr=50	Tr=100	Tr=500
Adobe	S/ 8,138,251.8	S/ 8,193,399.4	S/ 8,602,213.1
Concreto armado	S/ 56,569,392.2	S/ 59,578,745.4	S/ 64,298,164.9
Madera	S/ 353,571.7	S/ 344,151.5	S/ 375,425.8
Total	S/ 65,061,215.7	S/ 68,116,296.4	S/ 73,275,803.9

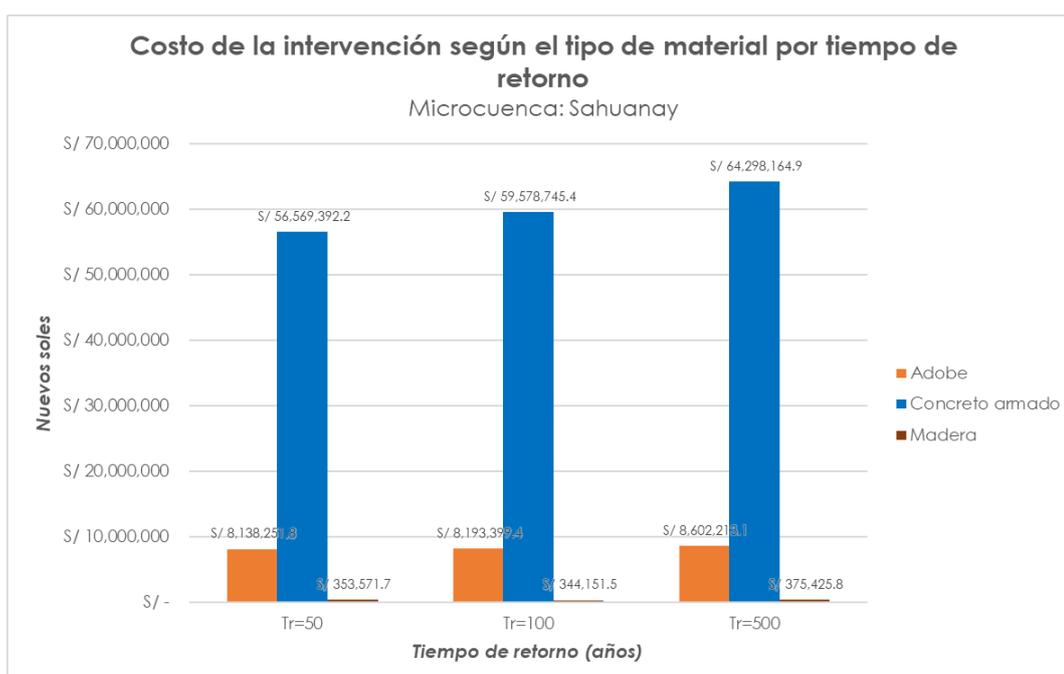


Figura 109 — Costo de la intervención total por tipo de material de construcción

5.1.2.6.3 Curva de riesgo

Finalmente, el costo de intervención total estimado, también denominado como “pérdida económica” producto del flujo de detritos en los tres escenarios (Tr=50, Tr=100 y Tr=500) para la microcuenca Sahuanay, por ello se elaboró una curva de riesgo donde se visualiza la pérdida económica (L) y la probabilidad anual de excedencia (P), donde este último es la inversa del periodo de retorno.

Para elaborar la curva de riesgo se utilizaron los valores totales de la Tabla 79, para los tres escenarios, se ajustaron a una curva de tendencia tipo exponencial con un coeficiente de determinación R^2 de 99.03%, mostrando una curva de tipo inversamente proporcional. Siendo una herramienta para calcular el riesgo económico para diversos periodos de retorno en la microcuenca Sahuanay de acuerdo a los escenarios y condiciones explicadas en la presente investigación (Figura 110).

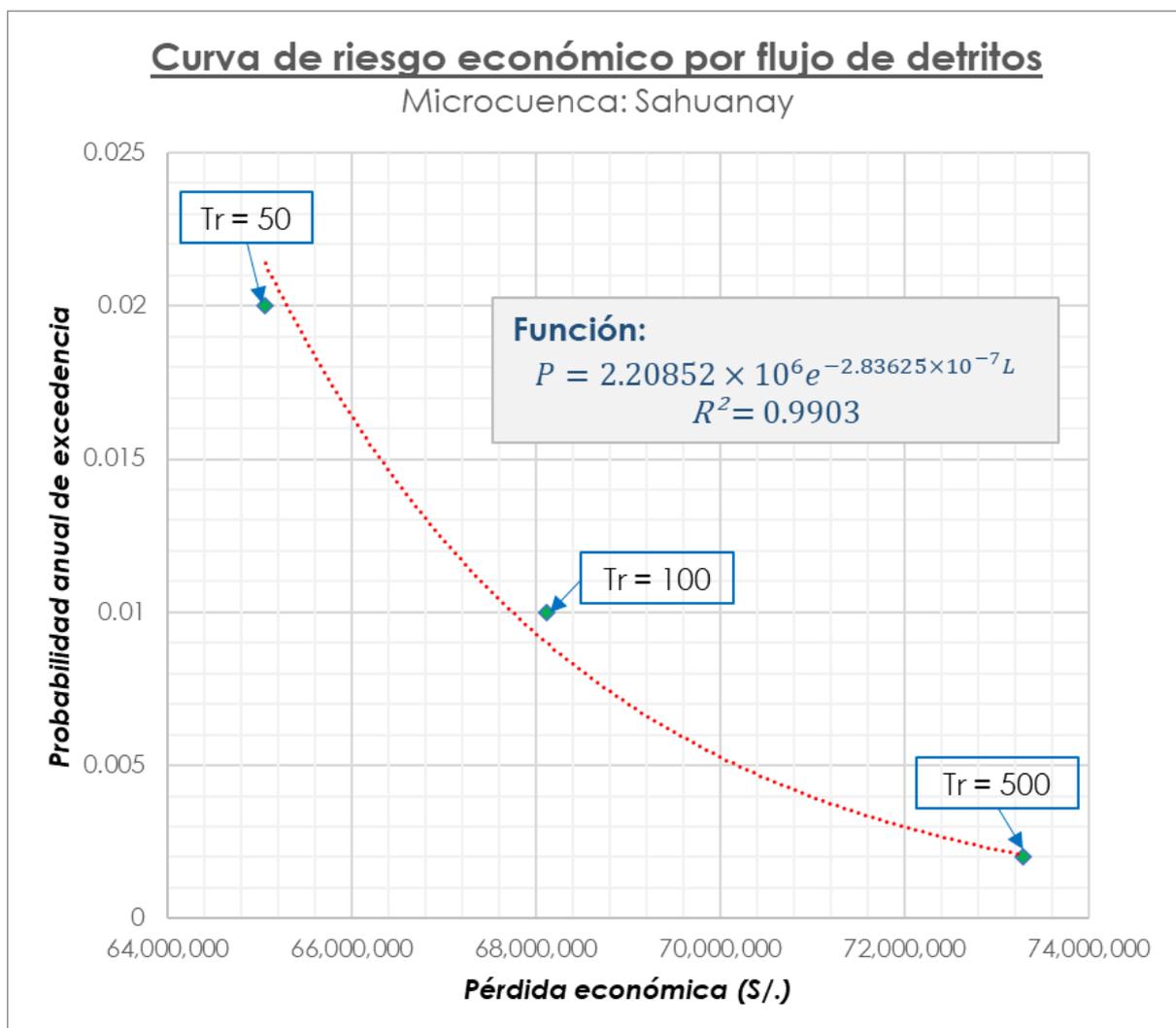


Figura 110 — Curva de riesgo económico por flujo de detritos (Sahuanay)

5.1.3 Fase: Valoración del Riesgo (Risk Evaluation)

A partir de los resultados de Análisis de Riesgo, la Valoración del Riesgo se dará por el criterio FN (número de fatalidades y probabilidad de ese número por año) en términos de probabilidad del flujo de detritos y posibles muertes. Las posibles muertes estarán determinadas por las personas que residen en viviendas con tipología de daño completo (vulnerabilidad) para los tres escenarios Tr=50, Tr=100 y Tr=500 (Tabla 84).

Tabla 84 — Estimación del número de fallecidos (riesgo individual)

Tipo de daño	Tr=50		Tr=100		Tr=500	
	NO-RC	RC	NO-RC	RC	NO-RC	RC
Completo	165	543	165	576	179	605
Total	708		741		784	

En el Perú no se cuenta con una herramienta de valoración del riesgo individual y social por cualquier tipo de fenómeno natural o de origen humano (criterio FN), para lo cual se ha aplicado un diagrama desarrollado por (ERM 1998) (Figura 111).

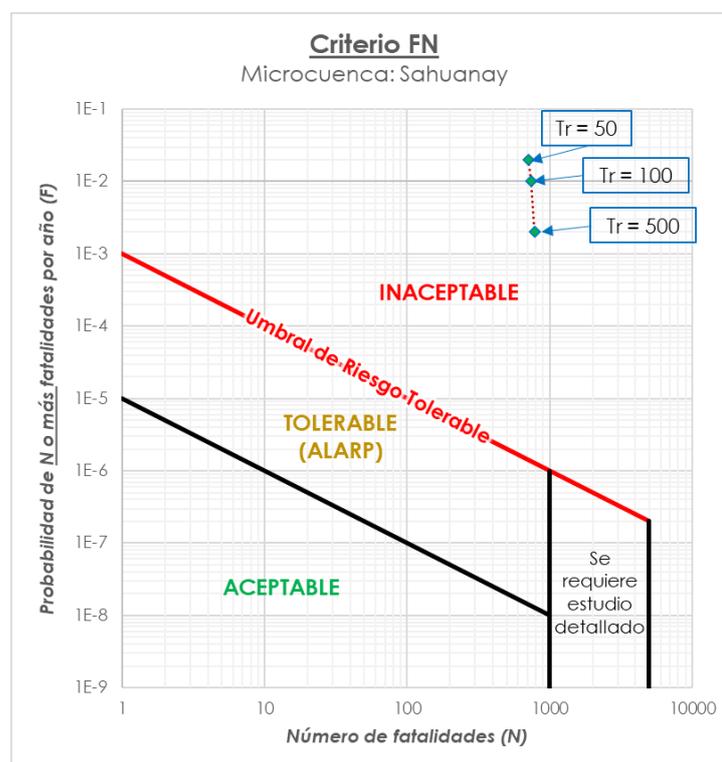


Figura 111 — Diagrama FN por periodos de retorno (Sahuanay)

Se concluye que para 50, 100 y 500 se encuentran dentro de “inaceptable”, implica que se debe realizar medidas estructurales y no estructurales, determinado en la evaluación del riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales intensas en la microcuenca

Sahuanay. Es decir, reducir o mitigar el riesgo por debajo del umbral de riesgo tolerable sin tener en cuenta el costo.

5.2 Contrastación de hipótesis

Las hipótesis descriptivas (enfoque cuantitativo), intentan predecir un dato o valor en una o más variables que se van a medir u observar (HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ y BAPTISTA 2014).

Así mismo, la elección de los procedimientos estadísticos o pruebas (MARTENS, 2005), según la investigación presentada, corresponde a preguntas de investigación de tipo descriptiva, por ser datos nominadles, ordinales y por intervalos o razón. El procedimiento o prueba correspondiente es la media, mediana, moda, desviación estándar, varianza y rango (estadística descriptiva).

Hipótesis general

“Riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales afecta a la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023”

Se someterá las variables de riesgo cuantitativo y flujo de detritos por la prueba de normalidad haciendo uso del software IBM SPSS Statistics (Tabla 85), debido que la muestra $n = 1,360$ viviendas ($n \geq 30$), se aplica la prueba de Kolmogorov – Smirnov. De manera suficiente es analizar el escenario mínimo de impacto o afectación, corresponde al periodo de retorno de 50 años en la microcuenca Sahuanay. Con un nivel de significancia al 95%, es decir $\alpha = 0.05$.

Las hipótesis a contrastar son:

H₀: Los datos analizados siguen una distribución normal (paramétrica).

H₁: Los datos analizados no siguen una distribución normal (no paramétrica).

Tabla 85 — Prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Presión Tr50	,454	1360	,000	,090	1360	,000
Pérdida Tr50	,353	1360	,000	,432	1360	,000
a. Corrección de significación de Lilliefors						

- *Decisión y conclusión:* Si $p < 0.05$, ya que $p = 0.00$, Entonces se rechaza H₀, es decir que, los datos analizados no siguen una distribución normal (no paramétrica).

Hipótesis Específicas

a. Hipótesis específica 1

“Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es identificado en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023”.

La contrastación de estadística de las hipótesis específicas se emplea la distribución de Rho de Spearman para distribución no paramétrica, para variables continuas y categóricas (nominales u ordinales).

La identificación del riesgo está establecida como el tipo de flujo probable que afecta a las 1,360 viviendas en la microcuenca Sahuanay, siendo establecido como flujo de detritos por los índices de Melton (4 formas).

H₀: El riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales no es identificado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.

H₁: El riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es identificado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.

Tabla 86 — Análisis Rho de Spearman en la identificación del riesgo

		Presión de impacto Tr50	Afectación por flujo de detritos Tr50	
Rho de Spearman	Presión de impacto Tr50	Coefficiente de correlación	,801**	
		Sig. (bilateral)	,000	
	n		1360	
	Afectación por flujo de detritos Tr50	Coefficiente de correlación	,801**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		n		1360
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				

- Determinación del coeficiente de correlación Rho de Spearman:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad , \quad \text{donde } -1 \leq \rho \leq 1$$

$$\rho = 0.801$$

- Prueba de hipótesis:

$H_0: \rho = 0$ (No existe correlación lineal)

$H_1: \rho \neq 0$ (Existe correlación lineal)

Estadístico de prueba:

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1-\rho^2}{n-2}}}$$

$$t = 49.306$$

Sigue una distribución t-student con $n-2$ grados de libertad (gl).

$$gl = 1358$$

- Determinación de la región crítica:

Se rechaza la hipótesis nula ($H_0: \rho = 0$) si $|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$

Esto es:

Si $|t| > \text{Valor crítico } t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$, rechazar H_0 .

Si $|t| \leq \text{Valor crítico } t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$, no rechazar H_0 .

Donde $\alpha = 0.05$, $\frac{\alpha}{2} = 0.025$, $n - 2 = 1358$, según la tabla de distribución t, con 1358 grados de libertad se determina que $t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} = 1.962$, por lo tanto, la región de aceptación estará comprendida en el rango R.A. = $\langle -1.962, 1.962 \rangle$.

- Decisión y conclusión:

Como $|t| = 49.306 \notin R.A. = \langle -1.962, 1.962 \rangle$, se rechaza la hipótesis nula H_0 . Es decir, el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023 es identificado en las viviendas.

b. Hipótesis específica 2

“Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales analizado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023”.

El análisis del riesgo está establecido como el tipo de flujo probable que afecta a las 1,360 viviendas en la microcuenca Sahuanay, donde se deduce que las pérdidas económicas son por afectación del flujo de detritos.

H₀: El riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales no es analizado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac.

H₁: El riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es analizado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac.

Tabla 87 — Análisis Rho de Spearman en el análisis del riesgo

		Presión de impacto Tr50	Pérdida Tr50	
Rho de Spearman	Presión de impacto Tr50	Coefficiente de correlación	1,000	,949**
		Sig. (bilateral)	.	,000
		n	1360	1360
	Pérdida Tr50	Coefficiente de correlación	,949**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	.
		n	1360	1360
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				

- Determinación del coeficiente de correlación Rho de Spearman:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad , \quad \text{donde } -1 \leq \rho \leq 1$$

$$\rho = 0.949$$

- Prueba de hipótesis:

H₀: $\rho = 0$ (No existe correlación lineal)

H₁: $\rho \neq 0$ (Existe correlación lineal)

Estadístico de prueba:

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1 - \rho^2}{n - 2}}}$$

$$t = 110.924$$

Sigue una distribución t-student con $n-2$ grados de libertad (gl).

$$gl = 1358$$

- Determinación de la región crítica:

Se rechaza la hipótesis nula ($H_0: \rho = 0$) si $|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$

Esto es:

Si $|t| > \text{Valor crítico } t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$, rechazar H_0 .

Si $|t| \leq \text{Valor crítico } t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$, no rechazar H_0 .

Donde $\alpha = 0.05$, $\frac{\alpha}{2} = 0.025$, $n - 2 = 1358$, según la tabla de distribución t, con 1358 grados de libertad se determina que $t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} = 1.962$, por lo tanto, la región de aceptación estará comprendida en el rango R.A. = $\langle -1.962, 1.962 \rangle$.

- Decisión y conclusión:

Como $|t| = 110.924 \notin R.A. = \langle -1.962, 1.962 \rangle$, se rechaza la hipótesis nula H_0 . Es decir, el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023 es analizado en las viviendas.

c. Hipótesis específica 3

“Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es valorado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023”.

La valoración del riesgo está establecida como el tipo de flujo probable que afecta a las 1,360 viviendas en la microcuenca Sahuanay, donde se deduce que las víctimas mortales (fallecidos) por colapso de viviendas (daño completo) durante la afectación por flujo de detritos.

H_0 : El riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales no es valorado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.

H_1 : El riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es valorado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac.

Tabla 88 — Análisis Rho de Spearman en la valoración del riesgo

		Presión Tr50	Fallecidos Tr50
Rho de Spearman	Presión Tr50	Coefficiente de correlación	1,000
		Sig. (bilateral)	.
		n	1360
	Fallecidos Tr50	Coefficiente de correlación	,545**
		Sig. (bilateral)	,000
		n	1360

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

- Determinación del coeficiente de correlación Rho de Spearman:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad , \quad \text{donde } -1 \leq \rho \leq 1$$

$$\rho = 0.545$$

- Prueba de hipótesis:

H₀: $\rho = 0$ (No existe correlación lineal)

H₁: $\rho \neq 0$ (Existe correlación lineal)

Estadístico de prueba:

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{\frac{1 - \rho^2}{n - 2}}}$$

$$t = 23.954$$

Sigue una distribución t-student con n-2 grados de libertad (gl).

$$gl = 1358$$

- Determinación de la región crítica:

Se rechaza la hipótesis nula (H₀: $\rho = 0$) si $|t| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$

Esto es:

Si $|t| > \text{Valor crítico } t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$, rechazar H₀.

Si $|t| \leq \text{Valor crítico } t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$, no rechazar H₀.

Donde $\alpha = 0.05$, $\frac{\alpha}{2} = 0.025$, $n - 2 = 1358$, según la tabla de distribución t, con 1358 grados de libertad se determina que $t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} = 1.962$, por lo tanto, la región de aceptación estará comprendida en el rango R.A. = $\langle -1.962, 1.962 \rangle$.

- Decisión y conclusión:

Como $|t| = 23.954 \notin R.A. = \langle -1.962, 1.962 \rangle$, se rechaza la hipótesis nula H_0 . Es decir, el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023 es valorado en las viviendas.

Concluidas las contrastaciones de hipótesis específicas, se concluye que el riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales afecta a la microcuenca Sahuanay en las 1360 viviendas, contrastado en la identificación, análisis y valoración del riesgo, con un nivel de significancia del 5%.

5.3 Discusión

La discusión de los hallazgos obtenidos en el capítulo de resultados, en comparación con los antecedentes y las fuentes teóricas descritas, encontrando puntos de concordancia y/o contraposición, otorgando a este presente estudio la validez interna y externa. La prioridad es el objetivo de esta investigación fue “determinar la afectación del riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023”.

Con relación al objetivo general, los resultados demuestran que al determinar la afectación del flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, se han desarrollado 3 fases o etapas comprendidas en la Evaluación del Riesgo (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2018), identificación del riesgo, análisis del riesgo y valoración del riesgo. Éstas dieron la afectación del fenómeno natural (flujo de detritos) describiendo cada aspecto, siendo aplicable para cualquier tipo de cuenca o área de estudio. Esto no se han observado en las investigaciones, antecedentes nacionales y locales, mientras que las internacionales se han visualizado completamente la determinación del riesgo, pero no se tocó el tema de valoración del riesgo.

Para determinar la afectación del riesgo cuantitativo por flujo de detritos, partió principalmente de la caracterización y tipología de los movimientos en masa (VARNES 1978; CRUDEN y VARNES 1996), siendo esta la más usada y aceptada en la bibliografía mundial, adaptable al contexto peruano. En la tipología de movimientos en masa se encontró los flujos de detritos o escombros (VANDINE 1984; TAKAHASHI 2014; MULDER y ALEXANDER 2001;

IVERSON 2005), donde se desarrollaron los aspectos de topografía, geología (Villacorta et al. 2019), geomorfología (Melton 1965), hidrología (CHOW, MAIDMENT y MAYS 1994), geotecnia (DAS 2013; MICHEL ET AL. 2020; LAMBE y WHITMAN 2012; ABRAMSON ET AL. 2012) e hidráulica (O'BRIEN ET AL. 1993; FAN ET AL. 2021; PENG y ZHANG 2012).

Los hallazgos de estos aspectos se dieron de forma consecutiva, donde se observó que la intensidad del flujo de detritos que afectó a los elementos expuestos de la microcuenca Sahuanay, entre ellas viviendas y personas, acorde a la curva de vulnerabilidad física (KHAN et al. 2022) en función de la presión de impacto del flujo de detritos, se observó que para el contexto del área de estudio no es aplicable debido a que fue desarrollado por un estudio forense del desastre con parámetros constructivos distintos a la peruana, sobreestimando y subestimando la afectación a las viviendas y personas. Los niveles de peligro por (LIU et al. 2021) resultaron ser más representativos, debido a que está relacionada al daño que puede causar a personas en un espacio determinado, esta clasificación puede ser adaptada de similar manera a otros fenómenos basándose en su probabilidad de afectación o impacto. En los antecedentes nacionales y locales, la evaluación del riesgo es limitada respecto a sus resultados, esto es mostrada por (VAN WESTEN, KUMAR HAZARIKA y NASHRRULLAH 2020) en las ventajas y desventajas de cada método.

De acuerdo a (VAN WESTEN, KUMAR HAZARIKA y NASHRRULLAH 2020) detalla que el riesgo cuantitativo requiere una cantidad rica de datos para su desarrollo, pero se obtiene un análisis profundo y a detalle, la cual fue constatada en los resultados, cabe mencionar que algunos estudios especiales (hidrogeología, geofísica, teledetección y fotogrametría) requieren de especialistas a cargo de cada estudio, implicando así mayor costo y tiempo para el desarrollo.

Además, al identificar el riesgo por flujo de detritos se estableció el tipo de flujo de detritos y su mecanismo de ocurrencia descritos por (TAKAHASHI 2014) la cual determina distintos eventos para el desarrollo del flujo de detritos, para la microcuenca Sahuanay. Para la susceptibilidad se observó que se generan muchas áreas de nivel muy alto para la ocurrencia del deslizamiento, implicó seleccionar según los antecedentes y criterios donde será el área que active la ocurrencia del flujo de detrito, pudiendo generar otro escenario si no fuera el cerro Chuyllurpata.

Los resultados del análisis del riesgo, mostraron una sensibilidad del cálculo, debido a que los cambios de cada especialidad afectan considerablemente al cálculo siguiente, lo cual implicó generar resultados acordes a diferentes autores, con la finalidad de reducir la incertidumbre, tal

es el caso de la rotura de presa por deslizamiento de tierra (PENG y ZHANG 2012; ZHONG et al. 2018), mientras que los otros autores dieron cálculos sobrestimados.

También se evidenció que la valoración del riesgo por flujo de detritos en la microcuenca Sahuanay, fue resultado del fallecimiento de personas por colapso de viviendas, la cual puede ser un buen indicador para el análisis, pero no necesariamente. Esta podría ser añadida con otros conceptos como sistemas de alerta temprana, resiliencia y preparación, capacitación de rutas seguras y otras, la cual no se han considerado para el cálculo, debido a su complejidad de estimación e incertidumbre, implicando una reducción en la estimación de fatalidades. Se determinó si requiere acciones de medidas de mitigación del riesgo (estructurales y no estructurales), por medio del criterio FN (ERM 1998). Tal criterio no necesariamente es aplicable al contexto peruano, debido que fue desarrollada en Hong Kong, ya que está en función de parámetros sociales, políticos, económicos y otros, generando así sobrestimación o subestimación del valor real de dichas acciones.

Finalmente, los resultados mostraron que si se pueden aplicar conceptos, indicadores y análisis internacionales a un área de estudio (microcuenca Sahuanay) pero a su vez se aplicó criterios y experiencias del investigador, con la finalidad de depurar y seleccionar el método, aun así, generaría discrepancias en los resultados con otros tipos de consideraciones, pero en menor grado a diferencia de lo establecido por los métodos cualitativos o semicuantitativos que presentan un mayor espectro de resultados de la evaluación del riesgo por flujo de detritos.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Considerando del objetivo general y específicos del presente trabajo de tesis, riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, se procede a dar las siguientes conclusiones:

PRIMERO: Se ha determinado la afectación por medio de la evaluación del riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, a través de las fases: identificación del riesgo, análisis del riesgo y valoración del riesgo. Se estimó la susceptibilidad, peligro, vulnerabilidad y el riesgo, estableciéndose en tres escenarios de avenidas máximas $Tr=50$, $Tr=100$ y $Tr=500$ años (Tabla 53) para determinar la afectación. En la susceptibilidad se determinó los cuatro niveles (Figura 50). El peligro, se estableció en los tres escenarios observándose los cuatro niveles (Tabla 71), producto del modelamiento del flujo de detritos en HEC-RAS (velocidad, tirante y presión de impacto) y exposición. La vulnerabilidad física, se desarrolló a través de un modelo de vulnerabilidad experimental, aplicándose los valores obtenidos del modelamiento (Tabla 74), para cuatro niveles (Tabla 75) en las viviendas del área de estudio. Para el riesgo económico, se determinó producto del catastro (Tabla 79) y la vulnerabilidad física, para así obtener en los tres escenarios las pérdidas económicas en viviendas para la microcuenca Sahuanay. Mientras que, el riesgo social, en función de las personas con probabilidad de fallecer (Tabla 84). Por ello, se puede aseverar que el riesgo por flujo de detritos afecta a la microcuenca Sahuanay, donde se catalogó la tipología de flujo (detritos), los daños ocasionados y su capacidad ante el probable desastre.

SEGUNDO: Se ha identificado el riesgo por flujos de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, se inició caracterizando el lugar y el fenómeno (Figura 47), por medio del índice de Melton y su topografía, se obtuvo un total de 6 indicadores para flujos de detritos y 2 como flujo mixto (hiperconcentrado), dando por mayoría una caracterización de detrito. Posteriormente se analizó la susceptibilidad por flujo de detritos a través de los factores causales: precipitación media anual, geomorfología, geología, índice de

humedad topográfica, distancia hacia carreteras, aspecto, curva del terreno en perfil, pendiente del terreno, altitud del terreno, cobertura vegetal o suelo (Figura 50). Siendo desarrolladas por la Inteligencia artificial por redes neuronales artificiales (RNA) en lenguaje Python, el modelo fue entrenado y validado en cuencas de nivel 7 (codificación Pfafstetter), aplicando emergencias de la misma tipología sucedidas el 2003 al 2023 (SINPAD – INDECI), dando las características topográficas (Figura 54). Por ello, se puede aseverar que se ha identificado el riesgo por flujo de detritos y sus puntos más susceptibles a desencadenar un desastre.

TERCERO: Se ha analizado el riesgo por flujos de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, a partir de la fase de identificación del riesgo, se desarrollaron los parámetros de ingreso para el modelamiento del flujo de detritos (hidráulico) de la microcuenca Sahuanay desencadenados por precipitaciones pluviales, fueron el modelamiento hidrológico (Tabla 53) obtuvo valores de caudal pico 18.2, 23.3 y 39.6 m³/s, para Tr=50, Tr=100 y Tr=500 años, respectivamente; geotécnico (Tabla 55) con un volumen de presa de deslizamiento de tierra de 345,017.00 m³, altura de presa de 13.0 m, ancho 213.0 m, largo 83.75 m y área de presa 41,296.38 m²; modelamiento hidráulico-presa (Tabla 69 y Tabla 70) con caudales pico de 59.64, 60.80 y 60.73 m³/s. Los parámetros de ingreso se aplicaron el modelo de flujo No – Newtoniano de HEC-RAS, obteniéndose valores distintos en de velocidad, tirante y presión de impacto para cada escenario (Figura 94), siendo parte del análisis de peligro y su respectiva exposición. El análisis de vulnerabilidad (Tabla 74); el costo de la vivienda en los tres escenarios, para finalmente obtener el riesgo económico y social (Tabla 83 y Tabla 84). Por ello, se puede aseverar que se ha analizado el riesgo por flujo de detritos.

CUARTO: Se ha valorado el riesgo por flujos de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, a partir de los resultados de la fase de análisis de riesgo, la cual se estimaron las pérdidas probables (personas fallecidas) de los tres escenarios (Tabla 84) y su probabilidad de excedencia anual (Figura 111), según el criterio FN (fatalidad – probabilidad). 708 (26.29%), 741 (27.86%) y 784 (29.96%) personas con probabilidad de fallecer por colapso de la vivienda para 50, 100 y 500 años, respectivamente. Se obtuvo dentro de los rangos de riesgo aceptable o riesgo tolerable, valoración “inaceptable”, que, indica que es necesario aplicar medidas estructurales y no estructurales para reducir o mitigar el riesgo por flujo de detritos en la microcuenca Sahuanay, dando así el fin de la evaluación del riesgo. Por ello, se puede aseverar que se ha valorado el riesgo por flujo de detritos.

6.2 Recomendaciones

Considerando del objetivo general y específicos del presente trabajo de tesis, riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, se procede a dar las siguientes recomendaciones:

PRIMERO: Se recomienda a los investigadores, incorporar modelos bifásicos (sólidos y líquidos) y/o tridimensionales en el mapeo de la afectación del riesgo por flujo de detritos, con la finalidad de mejorar la precisión y detalle de los resultados (intensidad y magnitud), así mismo de aplicar modelos y/o índices de contextualización peruana o local; además se recomienda aumentar más escenarios (periodo de retorno). A CENEPRED e INDECI, la evaluación de esta investigación para su implementación y/o mejoramiento de los lineamientos nacionales existentes en la gestión del riesgo de desastres, como extrapolar a otros fenómenos bajo la misma estructura (ISO 31000:2018). Al colegio de ingenieros, fortalecer la investigación de acuerdo a los diversos capítulos que conforman el CIP, mejorando el desarrollo y precisión de cada especialidad de la presente investigación.

SEGUNDO: A las entidades técnico científicas, de aplicar el índice de Melton e incorporar nuevos índices para mejorar la precisión en la identificación del riesgo por flujo de detritos, con la finalidad de reducir la incertidumbre de identificación. La posibilidad de buscar nuevos índices de deserción respecto al tipo de flujo o de ocurrencia, como el uso del modelamiento numérico computacional, así estas puedan ser incorporados en la formulación de proyectos con competencias geológicas, hidrológicas y similares. Debido a la complejidad de pronóstico del tipo de fenómeno, los índices de Melton contienen una expresión básica de su morfología de la cuenca, por ello la necesidad de mejorar. Actualmente, dichos índices no han sido experimentados y probados en cuencas peruanas, dicho estudio podría mejorar la precisión y validez.

TERCERO: A los evaluadores de riesgo, intensificar los criterios cuantitativos en la evaluación del riesgo de desastres, ya que les permitirá enriquecer y precisar los resultados del análisis de riesgo. A los investigadores, fortalecer las estimaciones por medio de las innovaciones tecnológicas que permitan obtener más resultados y detalle en la observación de cuencas hidrográficas, mejorando el análisis del riesgo. A los profesionales especialistas, fortalecer mediante la experiencia el análisis y determinación de cada especialidad (hidrología, geotecnia, hidráulica y otros) permitiendo un enfoque integral de la presente fase. A los ingenieros estructurales, desarrollar y diseñar curvas de vulnerabilidad física de las viviendas, implicando casos reales del contexto nacional.

CUARTO: A los investigadores, realizar y diseñar un criterio FN propio para el Perú, así mismo el riesgo individual y social de las personas; de esta manera la implicancia del desarrollo de esta herramienta con las entidades del estado. A la municipalidad provincial de Abancay, realizar medidas de mitigación (estructurales y no estructurales) para reducir el riesgo por flujos de detritos en la microcuenca Sahuanay; como también una inspección estructural de la zona el Olivo, donde los centros comerciales, tiendas, viviendas y pistas, se encuentran asentadas (columnas y zapatas) por encima del cauce del río Sahuanay, poniendo en riesgo la vida de sus habitantes. Se recomienda además aplicar en las evaluaciones de riesgo los criterios FN para determinar si es necesario las medidas de mitigación o reducción del riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMSON, L.W., LEE, T.S., SHARMA, S. y BOYCE, G.M., 2012. *Slope stability and stabilization methods*. Second edition. San Francisco, California: Wiley-Interscience. ISBN 0-471-38493-3.

ACERO, J.S., 2019. *Predicción de flujos de detritos detonados por lluvias extremas mediante exportación de modelos estocásticos: aplicación en la cuenca de la Quebrada Grande (Labranzagrande-Boyacá, Colombia)*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

ARANCIBIA, A., 1998. *Criterios para el manejo de quebradas y su aplicación en el diseño de obras civiles*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

ARIAS, D. y CANGALAYA, L., 2023. *Manual del tesista. Principios metodológicos para escribir una tesis*. 1. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. ISBN 978-612-4396-49-6.

ARONICA, G.T., BIONDI, G., BRIGANDÌ, G., CASCONI, E., LANZA, S. y RANDAZZO, G., 2012. Assessment and mapping of debris-flow risk in a small catchment in eastern Sicily through integrated numerical simulations and GIS. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 49, ISSN 14747065. DOI 10.1016/j.pce.2012.04.002.

AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA XI - PAMPAS APURÍMAC, 2017. Delimitación de la faja marginal de las quebradas afluentes al río Mariño, en el ámbito del distrito de Abancay. [en línea]. Abancay: [consulta: 30 abril 2017]. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3821>.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2012. Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú. [en línea]. Lima: [consulta: 28 noviembre 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/597>.

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA, 2016. *Resolución Jefatural N° 332-2016-ANA «Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales»*. 28 diciembre 2016. Perú: ANA. 332-2016.

AYBAR, C., LAVADO, W., HUERTA, A., FERNÁNDEZ, C., VEGA, F., SABINO, E. y FELIPE-OBANDO, O., 2017. Uso del producto grillado «PISCO» de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. . Lima:

BAEZA, C. y COROMINAS, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 26, no. 12, ISSN 01979337. DOI 10.1002/esp.263.

BAGNOLD, R.A., 1954. Experiments on a gravity-free dispersion of large solid spheres in a Newtonian fluid under shear. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, vol. 225, no. 1160, ISSN 0080-4630. DOI 10.1098/rspa.1954.0186.

BARTLES, M., BRAUER, T., HO, D., FLEMING, M., KARLOVITS, G., PAK, J., VAN, N. y WILLIS, J., 2021. Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual. [en línea]. S.l.: [consulta: 1 diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest>.

BERTRAND, M., LIÉBAULT, F. y PIÉGAY, H., 2013. Debris-flow susceptibility of upland catchments. *Natural Hazards*, vol. 67, no. 2, ISSN 0921030X. DOI 10.1007/s11069-013-0575-4.

BRENNA, A., MARCHI, L., BORGA, M., GHINASSI, M., ZARAMELLA, M. y SURIAN, N., 2021. Sediment–water flows in mountain catchments: Insights into transport mechanisms as responses to high-magnitude hydrological events. *Journal of Hydrology*, vol. 602, ISSN 00221694. DOI 10.1016/j.jhydrol.2021.126716.

BRUNNER, G.W., 2020. *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual*. diciembre 2020. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. 6.0.

CABINET OFFICE, 2022. Disaster Management in Japan. . Japan:

CASTILLO, L., 2006. *Aplicación de un modelo numérico de flujo de escombros y lodo en una quebrada en el Perú*. Título profesional. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

CCAMA, J., 2018. *Factores condicionantes y desencadenantes en la determinación del peligro de flujo de detritos aplicando el modelo FLO-2D, quebrada Llocllamayo Km-295+350, IIRSA Sur Tramo -IV*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.

CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, P. y R. del R. de D., 2014. Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales. [en línea]. Lima: [consulta: 29 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf.

CERQUERA, L., 2022. Determinación de la amenaza por flujo de detritos en la cuenca de la quebrada Estaquecá. . Bogotá, Colombia:

CHEN, H., RUAN, H., CHEN, J., LI, X. y YU, Y., 2022. *Review of investigations on hazard chains triggered by river-blocking debris flows and dam-break floods*. 10 mayo 2022. S.I.: Frontiers Media S.A.

CHEN, Y., QIN, S., QIAO, S., DOU, Q., CHE, W., SU, G., YAO, J. y NNANWUBA, U.E., 2020. Spatial predictions of debris flow susceptibility mapping using convolutional neural networks in Jilin province, China. *Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 8, ISSN 20734441. DOI 10.3390/W12082079.

CHOW, V. Te, MAIDMENT, D.R. y MAYS, L.W., 1994. *Hidrología Aplicada*. Santafé de Bogotá: McGRAW-HILL. ISBN 0-07-010810-2.

CHURCH, M. y JAKOB, M., 2020. What Is a Debris Flood? *Water Resources Research*, vol. 56, no. 8, ISSN 19447973. DOI 10.1029/2020WR027144.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DEL PERÚ, 2011. *Ley N°29664: Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)*. 19 febrero 2011. Perú: Poder Legislativo. 29664.

COSTA, J.E., 1985. Floods from dam failures. . Denver, Colorado:

COSTA, J.E. y SCHUSTER, R.L., 1987. The formation and failure of natural dams. . Vancouver, Washington:

COSTA, J.E. y SCHUSTER, R.L., 1991. Documented historical landslide dams from around the World. . Vancouver, Washington:

COUSSOT, P. y MEUNIER, M., 1995. Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science Reviews*. France:

CRUDEN, D.M. y VARNES, D.J., 1996. Landslides types and processes. . Washington DC, USA:

DAS, B.M., 2013. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. 4 Edición. México: Cengage Learning. ISBN 978-607-519-373-1.

DE LA CRUZ, M., 2021. *Estimación de riesgos por flujos de detritos en la quebrada San Jerónimo Luanahuana - Cañete*. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal.

DEMIR, V. y KESKIN, A.Ü., 2020. Obtaining the manning roughness with terrestrial-remote sensing technique and flood modeling using FLO-2D: A case study Samsun from Turkey. *Geofizika*, vol. 37, no. 2, ISSN 03523659. DOI 10.15233/gfz.2020.37.9.

DUQUE, G., 2020. *Manual de Geología para Ingenieros* [en línea]. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. [consulta: 29 noviembre 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3145>.

EIDSVIG, U.M.K., PAPATHOMA-KÖHLE, M., DU, J., GLADE, T. y VANGELSTEN, B. V., 2014. Quantification of model uncertainty in debris flow vulnerability assessment. *Engineering Geology*, vol. 181, ISSN 00137952. DOI 10.1016/j.enggeo.2014.08.006.

ERM, 1998. Landslides and Boulder falls from natural terrain: Interim risk guidelines GEO REPORT No. 75. . Hong Kong:

EVALUACIÓN DE RIESGOS NATURALES – AMÉRICA LATINA, 2009. *Informe Técnico: Vulnerabilidad de edificaciones e infraestructura - CAPRA* [en línea]. 2009. S.l.: s.n. Disponible en: www.ern-la.com.

EVANS, S.G., 1986. The maximum discharge of outburst floods caused by the breaching of man-made and natural dams. [en línea]. Ottawa, Canada: Disponible en: www.nrcresearchpress.com.

FAN, X., DUFRESNE, A., SIVA SUBRAMANIAN, S., STROM, A., HERMANNNS, R., TACCONI STEFANELLI, C., HEWITT, K., YUNUS, A.P., DUNNING, S., CAPRA, L., GEERTSEMA, M., MILLER, B., CASAGLI, N., JANSEN, J.D. y XU, Q., 2020. *The formation and impact of landslide dams – State of the art*. 1 abril 2020. S.l.: Elsevier B.V.

FAN, X., DUFRESNE, A., WHITELEY, J., YUNUS, A.P., SUBRAMANIAN, S.S., OKEKE, C.A.U., PÁNEK, T., HERMANNNS, R.L., MING, P., STROM, A., HAVENITH, H.B., DUNNING, S., WANG, G. y TACCONI STEFANELLI, C., 2021. *Recent technological and methodological advances for the investigation of landslide dams*. 1 julio 2021. S.l.: Elsevier B.V.

FAN, X., HUANG, R., VAN WESTEN, C.J., XU, Q., HAVENITH, H.B. y JETTEN, V., 2014. A conceptual event-tree model for coseismic landslide dam Hazard assessment. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment: Volume 3: Targeted Landslides*. S.l.: Springer International Publishing, pp. 605-608. ISBN 9783319049960.

FAN, X., ROSSITER, D.G., VAN WESTEN, C.J., XU, Q. y GÖRÜM, T., 2014. Empirical prediction of coseismic landslide dam formation. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 39, no. 14, ISSN 10969837. DOI 10.1002/esp.3585.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, 2020. Hazus-MH 2.1 Technical Manual. [en línea]. Washington, D.C.: Disponible en: www.msc.fema.gov.

FELDMAN, A., 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. marzo 2000. Davis, CA: s.n.

GARCÍA, M.J., 2008. *Metodologías para la evaluación de peligrosidad a los deslizamientos inducidos por terremotos* [en línea]. Alcalá: s.n. [consulta: 30 noviembre 2021]. Disponible en:

https://www.academia.edu/19575529/Metodolog%C3%ADas_para_la_Evaluaci%C3%B3n_de_Peligrosidad_a_los_Deslizamientos_inducidos_por_Terremotos.

GIBSON, S. y SÁNCHEZ, A., 2020. *HEC-RAS Mud and Debris Flow Manual* [en línea]. septiembre 2020. Davis, CA: US Army Corps of Engineers. [consulta: 1 diciembre 2021]. 6.0. Disponible en: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS_6.0_Mud_and_Debris_Manuals.pdf.

GRAF, W.H., 1984. *Hydraulics of sediment transport*. Colorado, U.S.A.: Water Resources Publications. ISBN 0-918334-56-X.

HAUSER, A., 2000. Remociones de masa en Chile. [en línea]. Santiago: [consulta: 29 noviembre 2021]. 59. Disponible en: https://portalgeo.sernageomin.cl/Informes_PDF/RAR-002.pdf.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P., 2014. *Metodología de la Investigación*. 6. México: MCGRAW-HILL.

HEWITT, K., 2002. Postglacial landform and sediment associations in a landslide-fragmented river system: the Transhimalayan Indus streams, Central Asia. . Waterloo, Ontario:

HIGHLAND, L.M. y BOBROWSKY, P., 2008. Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes. En: M. KIDD (ed.) [en línea]. Denver: Denver Publishing Service Center. [consulta: 29 noviembre 2021]. Disponible en: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2665/doc2665-contenido.pdf>.

HOLMES, J.L., 2018. *An Assessment of Experimental Debris-Flow Scaling Relationships* [en línea]. Thesis for Msc. Durham, UK: Durham University. Disponible en: <http://etheses.dur.ac.uk/12472/>.

HÜRLIMANN, M., RICKENMANN, D., MEDINA, V. y BATEMAN, A., 2008. Evaluation of approaches to calculate debris-flow parameters for hazard assessment. *Engineering Geology*, vol. 102, no. 3-4, ISSN 00137952. DOI 10.1016/j.enggeo.2008.03.012.

IBM, 2023. *SPSS Statistics* [en línea]. 4 agosto 2023. S.l.: IBM. [consulta: 25 abril 2024]. 27. Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/saas?topic=tests-one-sample-kolmogorov-smirnov-test>.

INDECI, 2007. Mapa de peligros de la ciudad de Abancay. . Abancay:

INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL, 2020. Información Estadística de Emergencias y Daños, periodo 2003 al 2019. [en línea]. Lima: [consulta: 26 noviembre 2021]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1689973/CAPITULO%20III.%20Estad%20C3%20ADstica%20Series%202003-2019.pdf>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2018. *Gestión del riesgo - Directrices*. 2018. Suiza: Norma Internacional. 2018-02.

IVERSON, R.M., 2005. Debris-flow mechanics. *Debris Flow Hazard and Related Phenomena*. Berlin: Springer Praxis Books, pp. 105-131. ISBN 978-3-540-27129-1.

JAKOB, M., STEIN, D. y ULM, M., 2012. Vulnerability of buildings to debris flow impact. *Natural Hazards*, vol. 60, no. 2, ISSN 0921030X. DOI 10.1007/s11069-011-0007-2.

JOŠT, S., MATJAŽ, M., SODNIK, J., PETJE, U. y MIKOŠ, M., 2009. Terrain topography and debris-flow modelling. [en línea]. Slovenia: Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/26628255>.

JU, L.Y., ZHANG, L.M. y XIAO, T., 2023. Power laws for accurate determination of landslide volume based on high-resolution LiDAR data. *Engineering Geology*, vol. 312, ISSN 00137952. DOI 10.1016/j.enggeo.2022.106935.

JULIEN, P.Y., 2010. *Erosion and Sedimentation*. 2. United Kingdom: Cambridge University Press. ISBN 978-0-511-71294-4.

KANG, H. y KIM, Y., 2016. The physical vulnerability of different types of building structure to debris flow events. *Natural Hazards*, vol. 80, no. 3, ISSN 15730840. DOI 10.1007/s11069-015-2032-z.

KHAN, M.A., MUSTAFFA, Z., HARAHAP, I.S.H., IBRAHIM, M.B. y AL-ATROUSH, M.E., 2022. *Assessment of Physical Vulnerability and Uncertainties for Debris Flow Hazard: A Review concerning Climate Change*. 1 diciembre 2022. S.l.: MDPI.

KIRSCHBAUM, D.B., HUFFMAN, G.J., ADLER, R.F., BRAUN, S., GARRETT, K., JONES, E., MCNALLY, A., SKOFRONICK-JACKSON, G., STOCKER, E., WU, H. y ZAITCHIK, B.F., 2017. NASA'S remotely sensed precipitation: A reservoir for applications users. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 98, no. 6, ISSN 00030007. DOI 10.1175/BAMS-D-15-00296.1.

KLUGER, M.O., 2017. *Failure mechanisms and mobilization processes of coastal landslides in sensitive soils*. Doctoral thesis. Bremen, Germany: Universität Bremen.

KORUP, O., 2002. Recent research on landslide dams - a literature review with special attention to New Zealand. *Progress in Physical Geography*, vol. 26, no. 2, ISSN 03091333. DOI 10.1191/0309133302pp333ra.

LAMBE, T.W. y WHITMAN, R. V., 2012. *Mecánica de suelos*. México: Limusa. ISBN 978-968-18-1894-4.

LEE, M.R., CHO, J.M. y YOON, H.S., 2020. Quantitative risk analysis of debris flow disasters in urban area using geographic information system. *Sensors and Materials*, vol. 32, no. 12, ISSN 09144935. DOI 10.18494/SAM.2020.3134.

LIU, B., HU, X., MA, G., HE, K., WU, M. y LIU, D., 2021. Back calculation and hazard prediction of a debris flow in Wenchuan meizoseismal area, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 80, no. 4, ISSN 14359537. DOI 10.1007/s10064-021-02127-3.

LUKOSE KURIAKOSE, S., VAN WESTEN, C., LAKHERA, R.C., VAN BEEK, L.P.H., SANKAR, G., ALKEMA, D., VAN ASCH, T.W.J. y JAYADEV, S.K., 2006. Effect of vegetation on debris flow initiation: Conceptualization and parameterization of a dynamic model for debris flow initiation in Tikovil river basin, Kerala, India, Using PCRASTER. *2nd International Symposium on Geo-information for Disaster Management* [en línea]. India, 2006. pp. 1-6. Disponible en: www.pcraster.nl.

MALDONADO, A., 2021. *Identificación de zonas de riesgo por deslizamientos de laderas debido a la saturación de suelos en la microcuenca Mariño, Abancay*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.

MARCHI, L., PASUTO, A. y TECCA, P.R., 1993. Flow processes on alluvial fans in the eastern Italian Alps. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, vol. 37, no. 4, ISSN 03728854. DOI 10.1127/zfg/37/1993/447.

MELTON, M.A., 1965. The Geomorphic and Paleoclimatic Significance of Alluvial Deposits in Southern Arizona. *The Journal of Geology*, vol. 73, no. 1,

MICHEL, J., DARIO, C., MARC-HENRI, D., THIERRY, O., IVANNA MARINA, P. y BEJAMIN, R., 2020. A review of methods used to estimate initial landslide failure surface depths and volumes. *Engineering Geology*, vol. 267, ISSN 00137952. DOI 10.1016/j.enggeo.2020.105478.

MILLÁN, C.E., 2018. Modelación del flujo de detritos para el análisis del riesgo en la quebrada los Cóndores, provincia de Lima, Perú. . Lima:

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2008. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. [en línea]. S.l.: [consulta: 1 diciembre 2021]. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/970.pdf.

MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2023. *Aprueban los Valores Unitarios Oficiales de Edificación para las localidades de Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao, la Costa, la Sierra y la Selva, vigentes para el Ejercicio Fiscal 2023* [en línea]. 28 octubre 2023. Perú: Resolución Ministerial. RM N° 309-2022-VIVIENDA. Disponible en: www.gob.pe/vivienda.

MOUSSAVI, S., 2019. *A Two-phase SPH depth integrated model for debris flow propagation considering pore-water pressure evolution* [en línea]. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. [consulta: 11 abril 2019]. Disponible en: <https://oa.upm.es/57431/>.

MULDER, T. y ALEXANDER, J., 2001. The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *International Association of Sedimentologists*, vol. 48, no. 2,

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 Estero San Alfonso, Región Metropolitana. . Santiago de Chile:

O'BRIEN, J.S., JULIEN, P.Y. y ASCE, M., 1988. Laboratory analysis of mudflow properties. . S.I.:

O'BRIEN, J.S., JULIEN, P.Y., FULLERTON, W.T. y ASCE, M., 1993. Two - Dimensional Water Flood and Mudflow Simulation. [en línea]. S.I.: Disponible en: <http://www.ascelib>.

ONU-SPIDER, 2023. Gestión del Riesgo de Desastres. .

ORDOÑEZ, J., 2019. Movimiento en Masa por lluvias intensas en el Perú. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Lima:

ORDOÑEZ, J. y RUIZ, A., 2019. Propuesta de un modelo numérico y alternativas para el control del flujo de detritos quebrada el Tingo - Pataz - Perú. . Lima:

ORGANISMO SUPERVISOR DE LAS CONTRATACIONES DEL ESTADO, 2017. *Gestión de Riesgos en la Planificación de la Ejecución de Obras* [en línea]. 2017. Lima: Ministerio de Economía y Finanzas. 012-2017. Disponible en: https://portal.osce.gob.pe/osce/sites/default/files/Documentos/legislacion/Legislacion%20y%20Documentos%20Elaborados%20por%20el%20OSCE/DIRECTIVAS_2017-DL1341/Modificacion_Directiva_012-2017-OSCE-CD_Gestion_de_Riesgos_Obras.pdf.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, 2009. *Guía de prácticas hidrológicas - Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas*. 6. Ginebra, Suiza: OMM. vol. II. ISBN 978-92-63-30168-0.

ORRIS, G.J. y WILLIAMS, J.W., 1984. Landslide length-width ratios as an aid in landslide identification and verification. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, vol. XXI, no. 3,

PARK, H.J. y LEE, J.H., 2022. *A Review of Quantitative Landslide Susceptibility Analysis Methods Using Physically Based Modelling*. 1 marzo 2022. S.I.: Korean Society of Engineering Geology.

PENG, M. y ZHANG, L.M., 2012. Breaching parameters of landslide dams. *Landslides*, vol. 9, no. 1, ISSN 16125118. DOI 10.1007/s10346-011-0271-y.

PHIRI, D., SIMWANDA, M., SALEKIN, S., NYIRENDA, V.R., MURAYAMA, Y. y RANAGALAGE, M., 2020. *Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review*. 1 julio 2020. S.I.: MDPI AG.

PRADHAN, B., LEE, S. y BUCHROITHNER, M.F., 2010. A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 34, no. 3, ISSN 01989715. DOI 10.1016/j.compenvurbsys.2009.12.004.

PROYECTO MULTINACIONAL ANDINO: GEOCIENCIAS PARA LAS COMUNIDADES ANDINAS, 2007. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. [en línea]. Comunidad Andina de Naciones: [consulta: 5 mayo 2024]. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2830>.

QARINUR, M., 2015. Landslide runout distance prediction based on mechanism and cause of soil or rock mass movement. *Journal of the Civil Engineering Forum*. Medan, Indonesia:

REICHENBACH, P., ROSSI, M., MALAMUD, B.D., MIHIR, M. y GUZZETTI, F., 2018. A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, vol. 180, ISSN 00128252. DOI 10.1016/j.earscirev.2018.03.001.

SALAZAR, E., 2018. Geología aplicada al ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay - Apurímac. . Cusco:

SCHUSTER, R.L., LOGAN, R.L. y PRINGLE, P.T., 1992. Prehistoric rock avalanches in the Olympic Mountains, Washington. . S.I.:

SEPÚLVEDA, A. y PATIÑO, J., 2016. *Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia* [en línea]. Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/18828>.

SEPÚLVEDA, A., PATIÑO, J. y RODRÍGUEZ, C.E., 2016. Metodología para evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia: caso Útica, Cundinamarca, Colombia. *Obras y proyectos*, no. 20, ISSN 0718-2813. DOI 10.4067/s0718-28132016000200003.

SEPÚLVEDA, S.A., 1998. *Metodología para evaluar el peligro por flujo de detritos en ambientes montañosos* [en línea]. Chile: Universidad de Chile. [consulta: 7 diciembre 2021]. Disponible en: https://portalgeo.sernageomin.cl/Informes_PDF/RMET-147.pdf.

SINGH, V.P., 1996. *Dam breach modeling technology*. Baton Rouge, U.S.A.: Springer-Science+Business Media, B.Y. vol. 17. ISBN 978-94-015-8747-1.

SOETERS, R. y VAN WESTEN, C., 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. . S.I.: s.n., pp. 129-173.

SUAREZ, J., 2012. *Deslizamientos - Análisis Geotécnico* [en línea]. Colombia: Erosion.com.co. [consulta: 11 septiembre 2023]. vol. 1. Disponible en: <https://www.erosion.com.co/tag/libros/>.

TAKAHASHI, T., 2014. *Debris Flow - Mechanics, Prediction and Countermeasures*. 2. London: s.n. ISBN 978-0-203-57674-8.

TARBUCK, E.J. y LUTGENS, F.K., 2005. *Ciencias de la Tierra - Una Introducción a la geología física*. 8. Madrid: Prentice Hall / Pearson. ISBN 978-84-832-2690-2.

THE UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION y CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS, 2015. Human Cost of Weather related Disasters. [en línea]. Switzerland: [consulta: 27 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.unisdr.org/2015/docs/climatechange/COP21_WeatherDisastersReport_2015_FINAL.pdf.

THEULE, J.I., 2012. *Geomorphic study of sediment dynamics in active debris-flow catchments (French Alps)* [en línea]. Doctoral. France: Université de Grenoble. [consulta: 5 mayo 2024]. Disponible en: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00864986>.

UNISDR, 2009. *Terminología sobre la Reducción del Riesgo de Desastres*. 2009. Ginebra, Suiza: Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR).

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION, 2023. Sendai Framework Terminology on Disaster Risk Reduction. [en línea]. [consulta: 12 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.undrr.org/terminology>.

VAN WESTEN, C., KUMAR HAZARIKA, M. y NASHRRULLAH, S., 2020. *ICT for Disaster Risk Management* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/344172871>.

VAN WESTEN, C., VAN ASCH, T.W.J. y SOETERS, R., 2006. Landslide hazard and risk zonation - Why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, vol. 65, no. 2, ISSN 14359529. DOI 10.1007/s10064-005-0023-0.

VANDINE, D.F., 1984. Debris flows and debris torrents in the Southern Canadian Cordillera. *Geological Engineering Services* [en línea]. Victoria, B.C., Canada: Disponible en: www.nrcresearchpress.com.

VARNES, D., 1978. Slope Movement Types and Processes. *U.S. Geological Survey*,

VILCHEZ, M., 2013. Casos históricos de movimientos en masa que causaron grandes daños en Perú. *Instituto Geológico Minero y Metalúrgico* [en línea], Disponible en: <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2590#files>.

VILLACORTA, S., PEÑA, F., JAIMES, F., SOSA, N., CONDORI, E., PARI, W., LUZA, C. y RODRIGUEZ, C., 2019. Evaluación Integral de la Cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac) para la prevención de desastres de origen geológico y geo-hidrológico. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. [en línea]. Lima: [consulta: 21 noviembre 2021]. C, 71. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2409#files>.

WALDER, J.S. y O’CONNOR, J.E., 1997. Methods for predicting peak discharge of floods caused by failure of natural and constructed earthen dams. *Water Resources Research*, vol. 33, no. 10, ISSN 00431397. DOI 10.1029/97WR01616.

WENDELER, C., 2016. Debris-Flow Protection Systems for Mountain Torrents - Basic Principles for Planning and Calculation of Flexible Barriers. [en línea], [consulta: 29 noviembre 2021]. ISSN 2296-3456. Disponible en: https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A9100/datastream/PDF/Wendeler-2016-Debris-flow_protection_systems_for_mountain-%28published_version%29.pdf.

WILFORD, D.J., SAKALS, M.E., INNES, J.L., SIDLE, R.C. y BERGERUD, W.A., 2004. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides*, vol. 1, no. 1, ISSN 16125118. DOI 10.1007/s10346-003-0002-0.

WSL INSTITUTE FOR SNOW AND AVALANCHE RESEARCH SLF, 2022. RAMMS: AVALANCHE User Manual v1.8.0. . Zurich, :

ZANCHETTA, G., SULPIZIO, R., PARESCHI, M.T., LEONI, F.M. y SANTACROCE, R., 2004. Characteristics of May 5-6, 1998 volcanoclastic debris flows in the Sarno area (Campania, southern Italy): Relationships to structural damage and hazard zonation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 133, no. 1-4, ISSN 03770273. DOI 10.1016/S0377-0273(03)00409-8.

ZHONG, Q., CHEN, S., WANG, L. y SHAN, Y., 2020. Back analysis of breaching process of Baige landslide dam. *Landslides*, vol. 17, no. 7, ISSN 16125118. DOI 10.1007/s10346-020-01398-3.

ZHONG, Q.M., CHEN, S.S., MEI, S.A. y CAO, W., 2018. Numerical simulation of landslide dam breaching due to overtopping. *Landslides*, vol. 15, no. 6, ISSN 16125118. DOI 10.1007/s10346-017-0935-3.

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Matriz de consistencia	215
Anexo B. General, hidrología, hidráulica, geotecnia y riesgos	217
Anexo C. Validación de instrumentos	261
Anexo D. Juicio de expertos	272
Anexo E. Fotografías, certificados y solicitudes	274
Anexo F. Declaratoria de originalidad del autor	282

Anexo A. Matriz de consistencia

Riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023

Tabla 89 — Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>General: ¿Cuál es la afectación del riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023?</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Cuál es la Valoración del Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023? ▪ ¿Cuál es el análisis del riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de 	<p>General: Determinar la afectación del riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Valorar el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023. ▪ Analizar el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023. 	<p>General: Riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales afecta a la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.</p> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es valorado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023. ▪ Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es analizado en las viviendas de la microcuenca 	<p>Riesgo cuantitativo <i>Dimensiones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificación del riesgo ▪ Análisis del riesgo ▪ Valoración del riesgo <p>Flujo de detritos <i>Dimensiones:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Precipitación pluvial ▪ Taxonomía del fenómeno (detrito) ▪ Mecanismo de iniciación del fenómeno (detrito) ▪ Intensidad del fenómeno (detrito) 	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Tipo de investigación: Experimental, transversal, descriptivo</p> <p>Nivel: Descriptivo aplicativo</p> <p>Método de la investigación: Inductivo – deductivo</p> <p>Diseño de la investigación: Diseño cuasi – experimental</p> <p>Población: 1 unidad hidrográfica</p> <p>Muestra: No probabilístico intensional o por criterio, 1 unidad hidrográfica (microcuenca Sahuanay)</p>

<p>Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023?</p> <p>▪ ¿Cuál es la identificación del Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023?</p>	<p>▪ Identificar el riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.</p>	<p>Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.</p> <p>▪ Riesgo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales es identificado en las viviendas de la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023.</p>		<p>Técnicas e instrumentos técnicos:</p> <p>Laboratorio y modelamiento. Procesamiento de la información. Categorización de variables</p> <p>Cuestionario, observación, laboratorio y análisis</p> <p>Técnicas para el análisis de datos:</p> <p>Excel, R, ArcGIS PRO, HEC-HMS, HEC-RAS, Slide, Agisoft Metashape, RAMMS, Civil 3D</p>
--	--	--	--	---

Anexo B. General, hidrología, hidráulica, geotecnia y riesgos

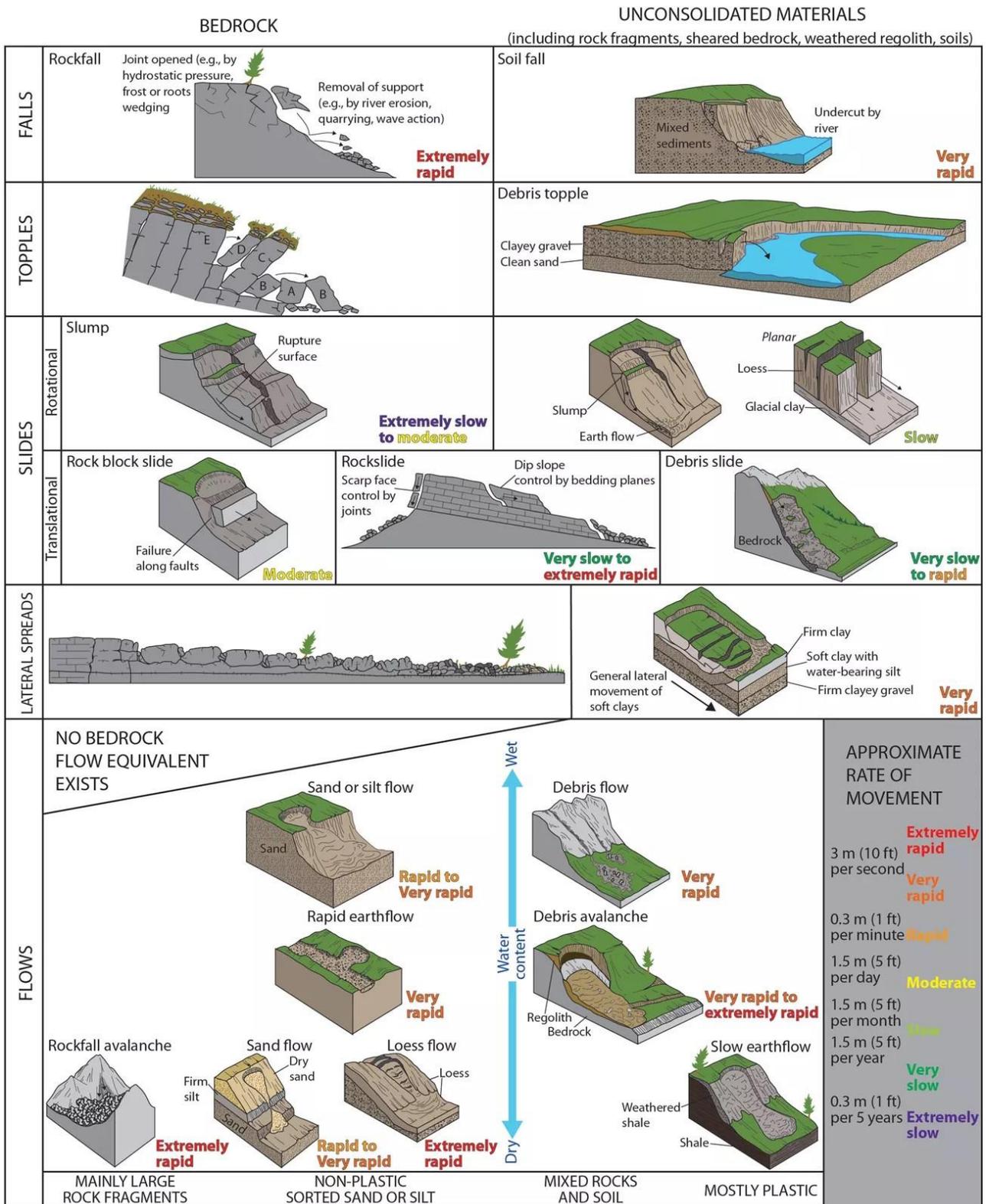


Figura 112 — Diagrama de procesos de movimientos en masa

Extraído de: Trista L. Thornberry-Ehrlich, Colorado State University (2019)

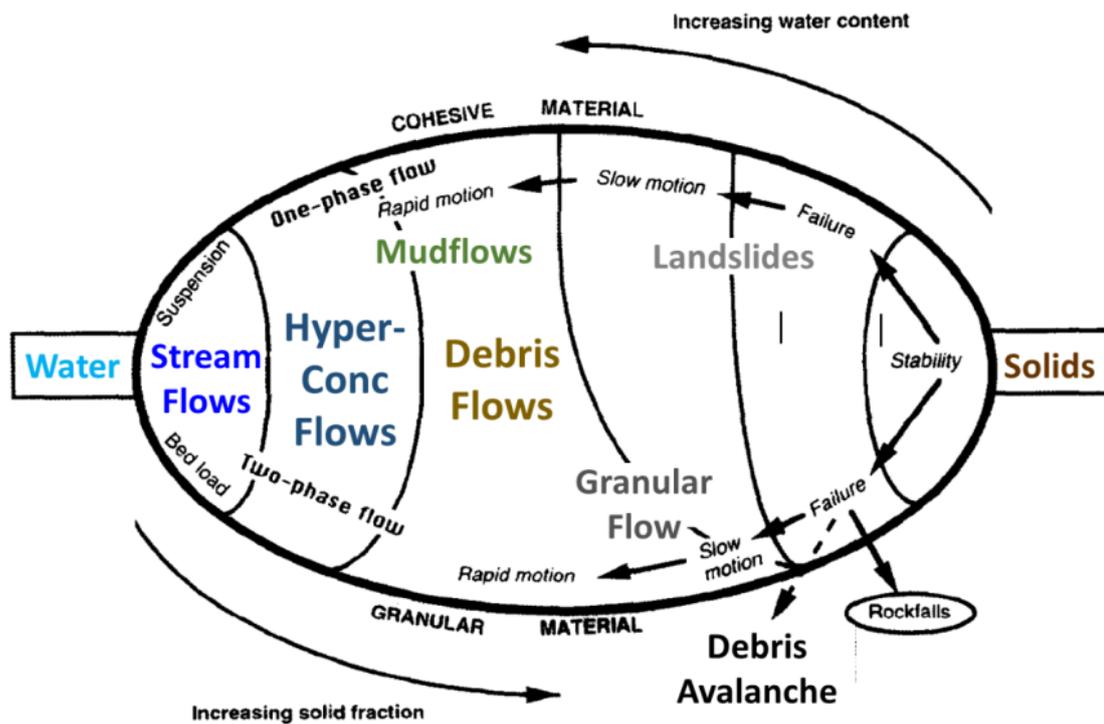


Figura 113 — Taxonomía de los flujos geológicos

Extraído de: Recognition, classification and mechanical description of debris flows (Coussot y Meunier 1995)

SOURCE	CONCENTRATION PERCENT BY VOLUME (S.G. = 2,65)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Beverage and Culbertson (1964)	High	Extreme	Hyperconcentrated				Mud Flow			
Costa (1984)	Water Flood		Hyperconcentrated			Debris Flow				
HRC from O'Brien & Julien (1984)	Water Flood		Mud Flood		Mud Flow	Landslide				
Takahashi (1981)			Debris or Grain Flow						Fall, Landslide, Creep, Sturzstrom, Pyroclastic Flow	
Chinese Investigators (Fan & Dou, 1980)	Sediment Laden		Hyperconcentrated Flow			Debris or Mud Flow				
Pierson & Costa (1984)	STREAMFLOW Normal Hyperconcentrated			SLURRY FLOW (Debris Torrent), Debris & Mud Flow, Solifluction				GRANULAR FLOW Sturzstrom, Debris Avalanche, Earthflow, Soil Creep		

Fast
↑
↓
Slow
VELOCITY

Figura 114 — Varias taxonomías de flujos geofísicos

Extraído de: Philips (1888) según Bradley y McCutcheon (1985)

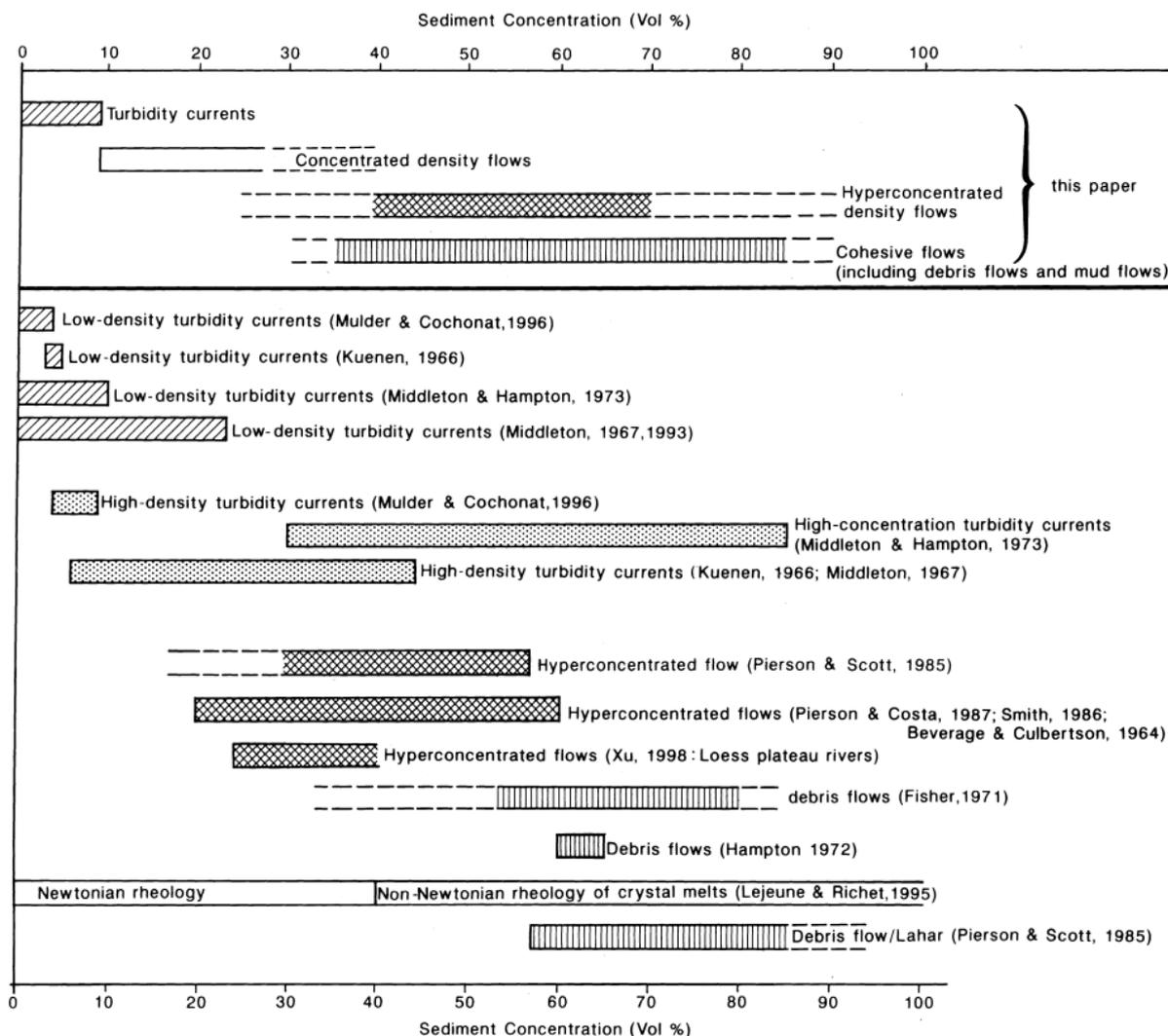


Figura 115 — Terminología y uso de la nomenclatura de tipos de flujo

Nota: Muchos de los límites publicados se expresan como porcentaje en peso, pero, como la densidad del agua y los sedimentos varían, el porcentaje en volumen tal vez sea más útil. En consecuencia, los porcentajes en peso publicados se han convertido asumiendo una densidad de agua de 1000 Kg/m³ y una densidad de sedimento equivalente al cuarzo. En muchos casos, no se puede definir una única concentración de sedimento como condición límite, porque el porcentaje de volumen umbral depende de otros factores como el contenido de arcilla. Los rangos de posibles condiciones para los límites están representados por líneas discontinuas.

Extraído de: The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits (Mulder y Alexander 2001).

Bingham:

$$\tau = \tau_y + \mu_m \left(\frac{3\bar{u}}{h} \right)$$

O'Brien Quadratic:

$$\tau = \tau_y + \mu_m \left(\frac{3\bar{u}}{h} \right) + \rho_m l_m^2 \left(\frac{3\bar{u}}{h} \right)^2 + 0.01 \rho_s \left(\left(\frac{0.615}{C_v} \right)^{1/3} - 1 \right)^{-2} d_s^2 \left(\frac{3\bar{u}}{h} \right)^2$$

Herschel-Bulkley:

$$\tau = \tau_y + K \left(\frac{3\bar{u}}{h} \right)^n$$

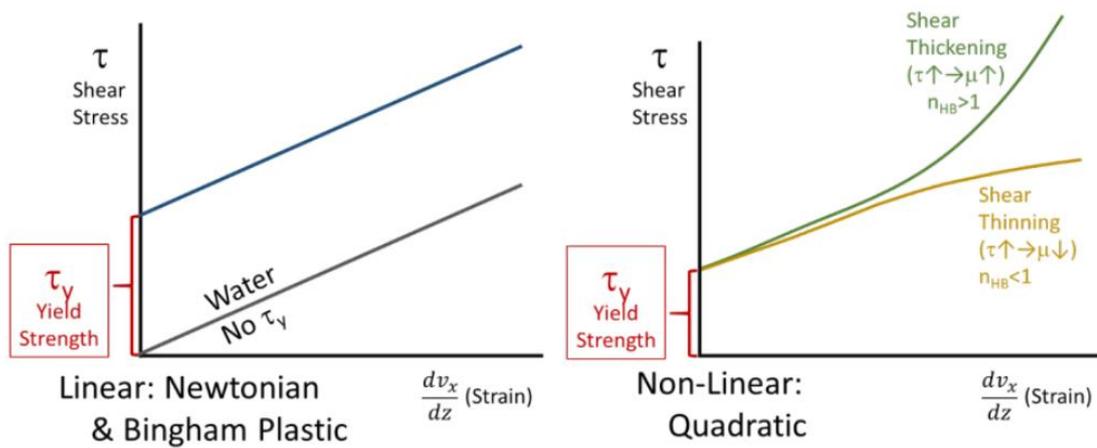


Figura 116 — Esfuerzo de cedencia

Extraído de: HEC – RAS Manual de usuario (2021)

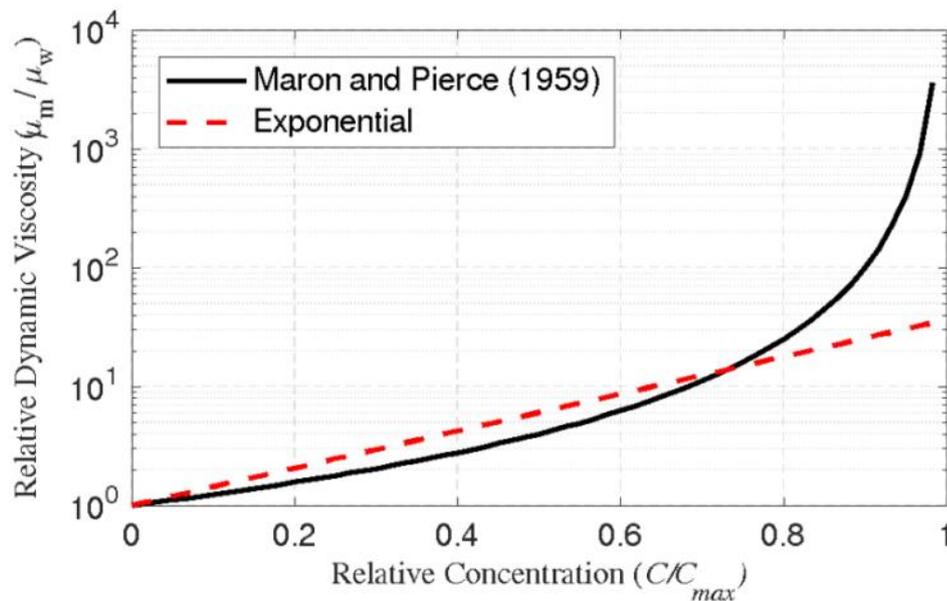


Figura 117 — Viscosidad dinámica

Extraído de: HEC – RAS Manual de usuario (2021)

Esfuerzo de cedencia – Exponencial (O’Brien)

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$$

Tabla 90 — Parámetros de tensión de fluencia

Material	Límite líquido C_v	α_2 (Pa)	β_2	Rango (Pa)
“Suelo típico”	65 – 80%	0.005	7.5	375 – 5,000
Caolinita	40 – 50%	0.05	9	200 – 1,600
Arcillas sensibles	35 – 60%	0.03	10	950 – 300K
Bentonita	5 – 20%	0.002	100	200 – 2E+17

Extraído de: HEC – RAS Manual de usuario (2021)

Viscosidad Dinámica – Exponencial (O’Brien)

$$\eta = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$$

Tabla 91 — Coeficientes para el multiplicador exponencial de viscosidad

Material	Límite líquido C_v	α_1 (Pa)	β_1	Rango (Pa)
“Suelo típico”	65 – 80%	0.001	18.4	160 – 2,500
Caolinita	40 – 50%		18.4	1.6 – 10
Arcillas sensibles	35 – 60%		11.5	0.1 – 1
Bentonita	5 – 20%		230.3	100 – 1E+17

Extraído de: HEC – RAS Manual de usuario (2021)

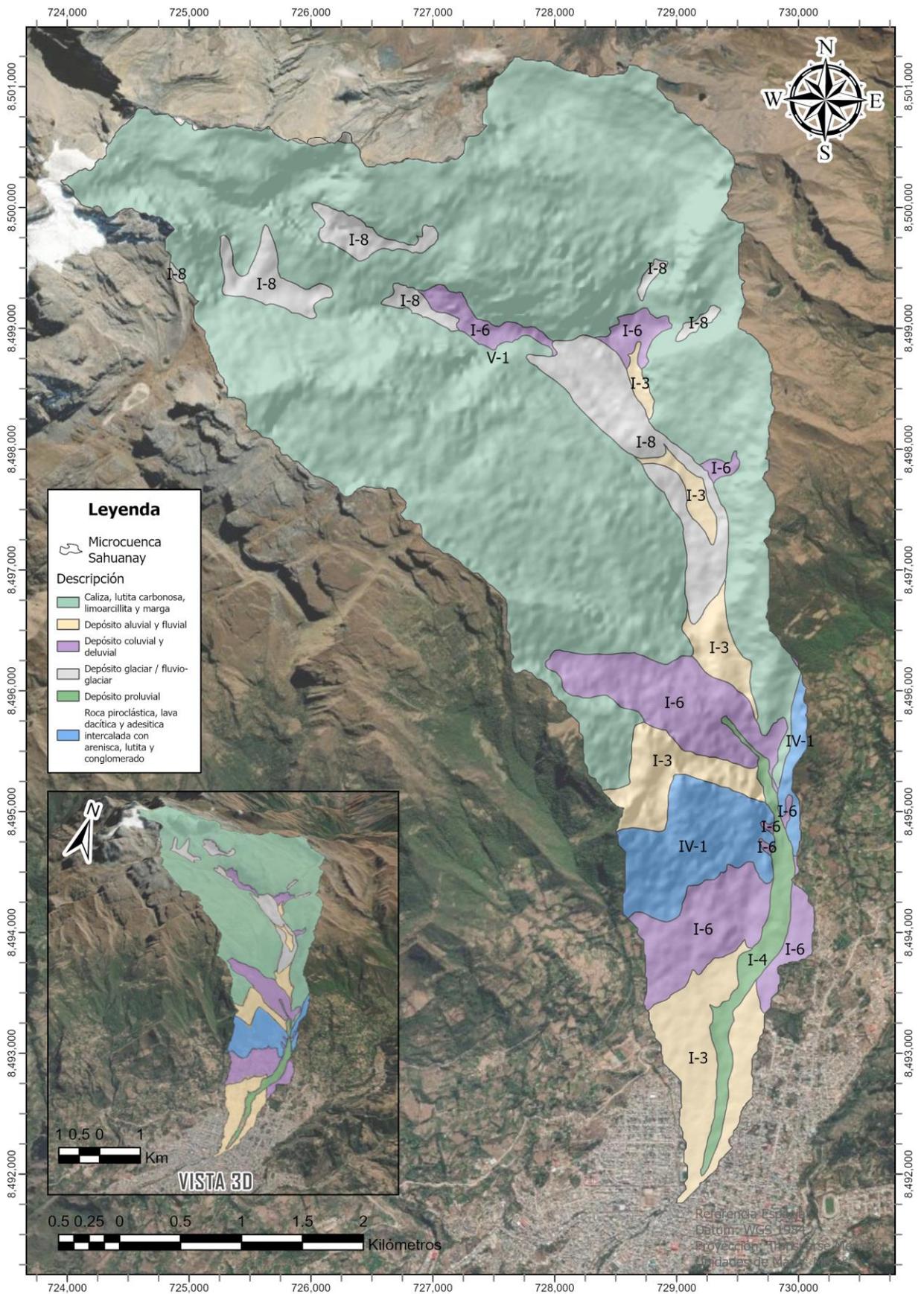


Figura 118 — Mapa litológico de la microcuenca Sahuanay

Extraído de: Informe del INGEMMET (Villacorta et al. 2019)

ENSAYO LABORATORIO DE SUELOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

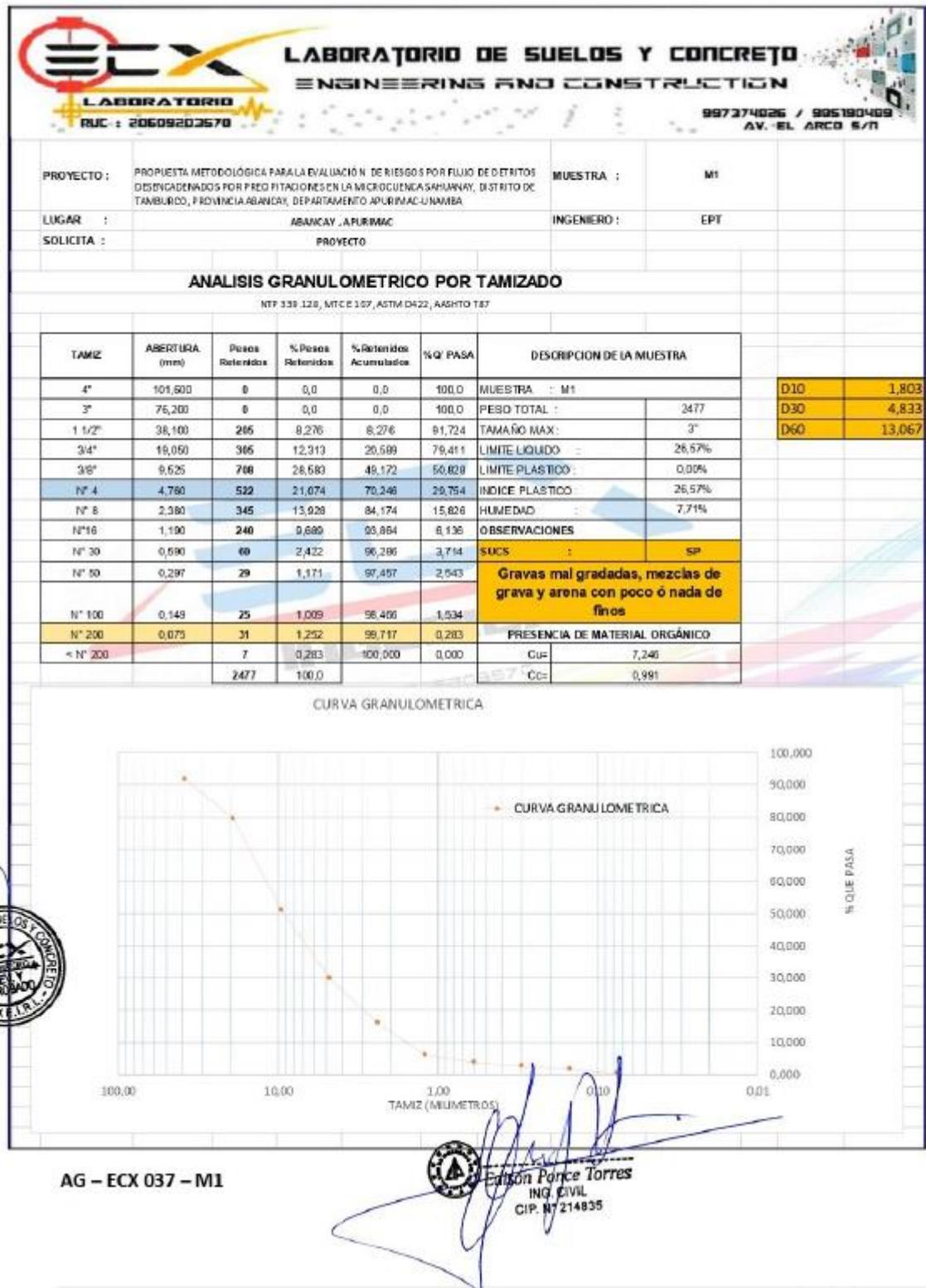


Figura 119 — Análisis granulométrico del cerro Chuyllurpata

Extraído de: Laboratorio de suelos y concreto ECX Ingenieros

LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

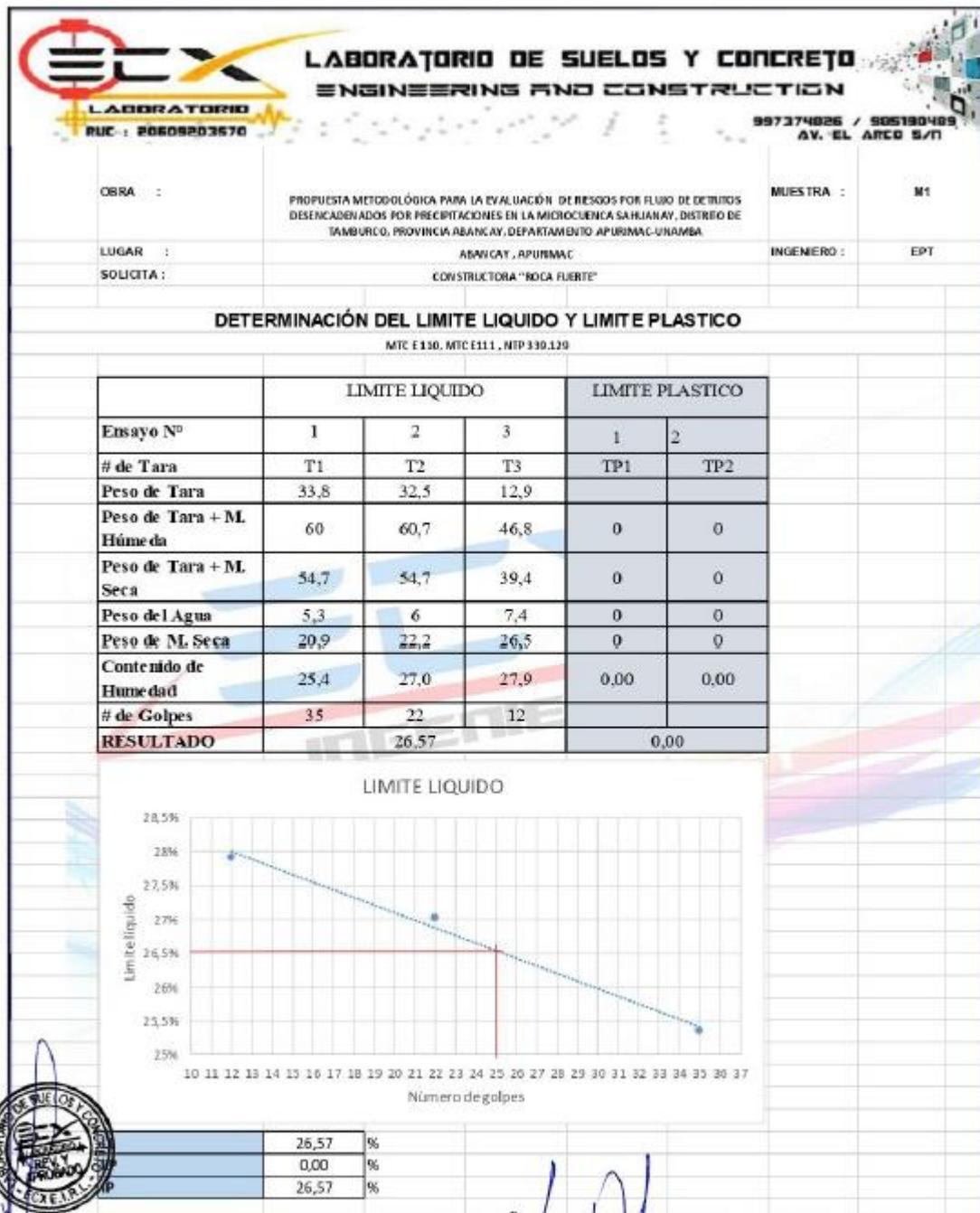


Figura 120 — Límite líquido y plástico

Extraído de: Laboratorio de suelos y concreto ECX Ingenieros

ESTUDIO: MAPA DE PELIGROS DE LA CIUDAD DE ABANCAY.
PROYECTO INDECI: PNUD PER/02/051 00014426 - CIUDADES SOSTENIBLES:

Proyecto: MAPA DE PELIGROS DE ABANCAY
 Ubicación: **ANTABAMBA**
 Fecha: Marzo del 2007
 Superficie: **AB-01**

Pto	ϕ	c	γ	Cr
235	13.1	1.26	1.59	
236	29.2	0.33	1.75	
238	36.4		1.75	

Pico Res.
 $\phi = 13.1$ 0 (°)
 c = 3.30 1.68 Tn/m²
 $\gamma_N = 1.75$ Tn/m³
 $\gamma_{SAT} = 2.08$ Tn/m³

ESTABILIDAD DE TALUDES

Cálculo normal (falla general - Humedad Nat.)

Nº	b	h	Yi	Yf	α	L	W	N	T	.	S
1	23	7	3018	2989	51.6	37.0	282	175.1	220.8	.	162.9
2	27	18	2989	2968	37.9	34.2	851	671.3	522.2	.	269.1
3	24	20	2968	2947	41.2	31.9	840	632.2	553.1	.	252.3
4	26	14	2947	2925	40.2	34.1	637	486.3	411.5	.	225.6
5	32	6	2925	2900	38.0	40.6	336	264.8	206.9	.	195.6
Σ	132						2945		1914		1106

FS = 0.58

Cálculo normal (F. general - Humedad Natural Sismo)

a = 0.3 $\beta = 16.7^\circ$

Nº	b	h	Yi	Yf	α	L	W	Fh	Ws	Ns	Ts	.	S
1	23	7	3018	2989	51.6	37.0	282	85	294	104	262	.	146.4
2	27	18	2989	2968	37.9	34.2	851	255	888	493	693	.	227.6
3	24	20	2968	2947	41.2	31.9	840	252	877	447	711	.	209.2
4	26	14	2947	2925	40.2	34.1	637	191	665	348	534	.	193.3
5	32	6	2925	2900	38.0	40.6	336	101	351	194	274	.	179.2
Σ							2945				2474	0.39	956

a	FS
0	0.58
0.1	0.50
0.2	0.44
0.3	0.39

Cálculo normal (falla general - Flujo)

$\mu = 4$ m

Nº	b	h	Yi	Yf	α	L	W	N	N'	T	.	S
1	23	7	3018	2989	51.6	37.0	335	208.1	60	262.4	.	136
2	27	18	2989	2968	37.9	34.2	1011	797.9	661	620.6	.	267
3	24	20	2968	2947	41.2	31.9	998	751.4	624	657.5	.	250
4	26	14	2947	2925	40.2	34.1	757	578	442	489.1	.	215
5	32	6	2925	2900	38.0	40.6	399	314.7	152	245.9	.	169
Σ	hx= 20						3501			2275	0.46	1038

h	FS
agua	
0.00	0.53
1.00	0.51
2.00	0.49
4.00	0.46

Cálculo considerando grieta de tracción y falla progresiva

Grieta de tracción.

$N\phi = \tan^2(45 + \phi/2)$ 1.59
 $ht = 2c(N\phi)^{1/2}/\gamma$ 4.75 m
 $hn = h - ht =$ 0.0 m
 $Lr =$ 14
 $S1 = c \cdot hn =$ 0 Tn
 $S1r = cr \cdot Lr =$ 23.6 Tn

Nº	T	S	FS	Mat.	Sr	T+	Ta
Gr.	0	0					
1	160	71	0.4	.	24	136	136.1
2	522	269	0.409	.	57.567	465	600.7
3	553	252	0.219	.	53.672	499	1100.2
4	411	226	0.149	.	57.321	354	1454.4
5	207	196	0.118	.	68.343	139	1592.9

(seg)	(m)
t	d
1	0.27
10	27.04
20	108.2
30	243.4

Fza remanente Fr = 1593 Tn

Aceleración del movimiento

a = Fr / $\Sigma W = 0.54$ m/seg²

Figura 121 — Corte directo de Antabamba Alta (Sahuanay)

Extraído de: Mapa de peligros de la ciudad de Abancay (INDECI 2007)

ANTECEDENTE HISTÓRICO 2012 (CALIBRACIÓN)



Sahuanay
Tirante: 1.5 – 2.0 m



Estadio Maucacalle
Tirante: 2.0 – 2.5 m



Colegio Miguel Grau
Tirante: 0.10 – 0.30 m





Figura 122 — Flujo de detritos ocurrido el año 2012

Extraído de: RPP y Caritas Abancay

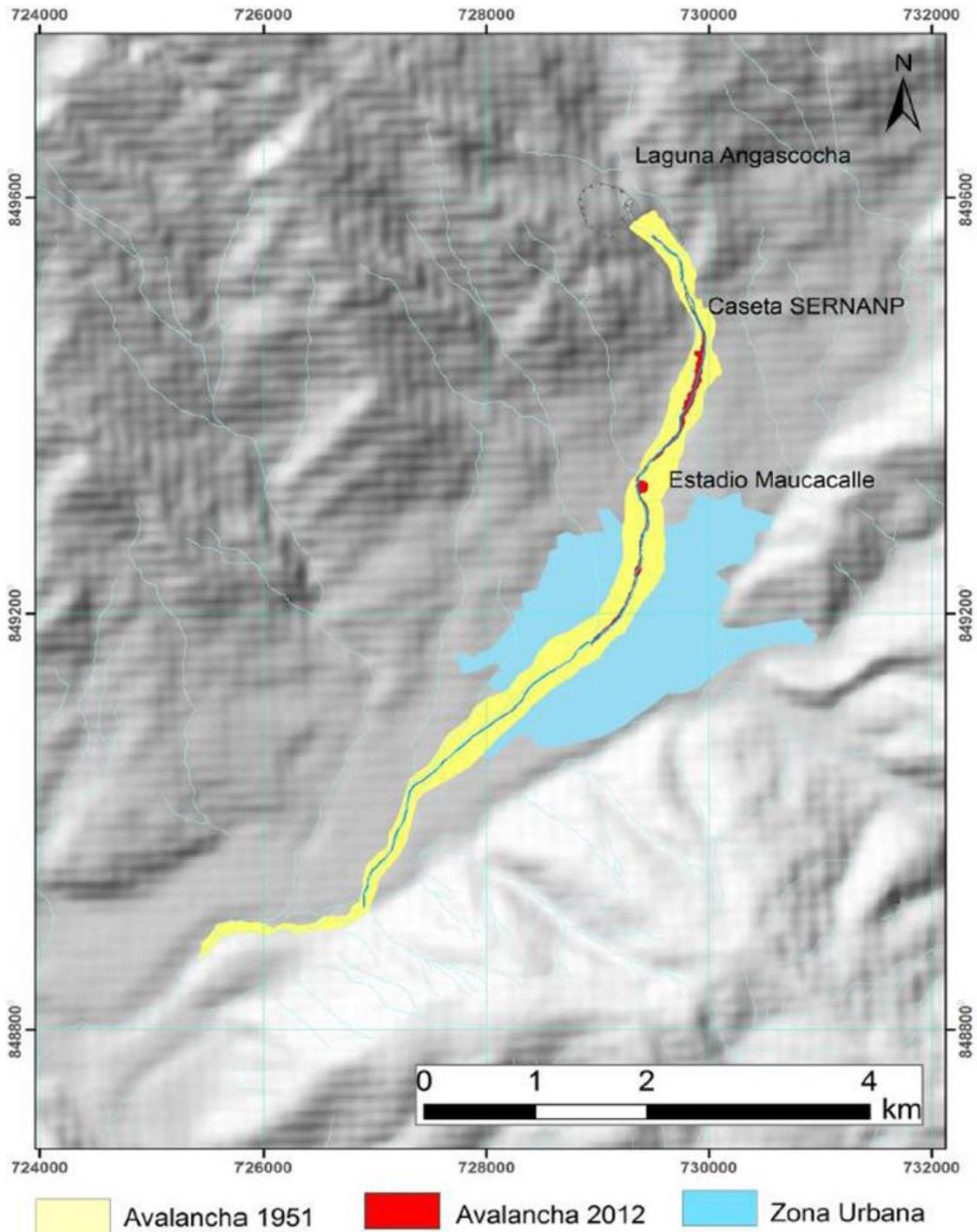


Figura 123 — Afectación por flujos de detritos en la ciudad de Abancay

Nota: Afectación por flujos de detritos en la ciudad de Abancay (celeste). En amarillo: evento similar al de 1951; en rojo: avalancha de detritos de marzo de 2012.

Extraído de: INGEMMET (Villacorta et al. 2019)

Tabla 92 — Precipitaciones medias anuales de las estaciones virtuales

Año	PP E - 1	PP E - 2	PP E - 3
1981	22.663142	36.733169	30.317818
1982	42.325967	37.298513	59.465608
1983	37.023156	38.617266	37.636461
1984	34.173668	46.262181	41.726185
1985	34.67497	30.462251	34.312715
1986	24.352756	21.520576	36.883678
1987	38.127762	34.987157	54.373288
1988	37.187981	61.902696	72.398625
1989	30.520363	28.455066	30.357698
1990	37.325847	30.969989	45.199431
1991	37.765378	30.619433	43.572414
1992	28.79182	30.277813	36.01423
1993	40.170331	37.057438	58.058953
1994	49.872009	59.793748	63.021773
1995	34.169131	33.963071	27.338317
1996	30.438448	32.605794	48.387561
1997	39.121172	39.463141	42.811195
1998	29.277905	24.198199	34.414286
1999	43.751071	43.081371	65.404957
2000	30.015472	30.065602	43.051502
2001	24.173572	29.783583	44.669032
2002	29.011529	38.519032	46.294136
2003	34.98354	35.671222	34.462103
2004	31.082328	27.038368	41.928637
2005	33.928911	43.385919	45.262077
2006	28.845047	28.923892	43.112998
2007	36.816764	48.733936	76.659265
2008	35.111251	30.366952	39.734972
2009	34.11439	31.073509	53.31878
2010	35.964848	40.726524	69.202124
2011	31.645425	26.998212	30.577036
2012	29.824342	34.280325	39.537909
2013	25.909508	33.122578	66.417605
2014	26.857967	22.956073	26.689678
2015	20.871621	25.919241	49.788263
2016	33.994913	36.018858	74.343805

Tabla 93 — Hietogramas de precipitación de diseño para Tr=50 años

Hietograma de Precipitación de Diseño						
Estación: E - 1						
K = 332.1776		Ecuación:				
T = 50	$I_{max} = \frac{332.1776 \times 50^{(0.0672)}}{D^{(0.75)}}$					
m = 0.0672						
n = 0.7500						
* D = Duración (min)						
Método del Bloque Alterno						
Duración	Intensidad	Profundidad Acumulada	Profundidad Incremental	Tiempo	Precipitación Total	Precipitación Acumulada
min	mm/h	mm	mm	min	mm	mm
60	20.04	20.04	20.04	0 - 60	0.47	0.47
120	11.92	23.84	3.79	60 - 120	0.50	0.97
180	8.79	26.38	2.54	120 - 180	0.54	1.51
240	7.09	28.35	1.97	180 - 240	0.59	2.10
300	5.99	29.97	1.63	240 - 300	0.64	2.74
360	5.23	31.37	1.40	300 - 360	0.71	3.45
420	4.66	32.60	1.23	360 - 420	0.80	4.25
480	4.21	33.71	1.11	420 - 480	0.93	5.18
540	3.86	34.72	1.01	480 - 540	1.11	6.29
600	3.56	35.64	0.93	540 - 600	1.40	7.68
660	3.32	36.50	0.86	600 - 660	1.97	9.65
720	3.11	37.31	0.80	660 - 720	3.79	13.44
780	2.93	38.06	0.75	720 - 780	20.04	33.49
840	2.77	38.77	0.71	780 - 840	2.54	36.03
900	2.63	39.45	0.67	840 - 900	1.63	37.66
960	2.51	40.09	0.64	900 - 960	1.23	38.89
1020	2.39	40.70	0.61	960 - 1020	1.01	39.90
1080	2.29	41.29	0.59	1020 - 1080	0.86	40.76
1140	2.20	41.85	0.56	1080 - 1140	0.75	41.51
1200	2.12	42.39	0.54	1140 - 1200	0.67	42.19
1260	2.04	42.91	0.52	1200 - 1260	0.61	42.80
1320	1.97	43.41	0.50	1260 - 1320	0.56	43.36
1380	1.91	43.90	0.49	1320 - 1380	0.52	43.88
1440	1.85	44.36	0.47	1380 - 1440	0.49	44.36

Hietograma de Precipitación de Diseño

Estación: E - 2

$K = 314.9763$
 $T = 50$
 $m = 0.1463$
 $n = 0.7500$

Ecuación:

$$I_{max} = \frac{314.9763 \times 50^{(0.1463)}}{D^{(0.75)}}$$

* D = Duración (min)

Método del Bloque Alterno

Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación Total mm	Precipitación Acumulada mm
60	25.89	25.89	25.89	0 - 60	0.61	0.61
120	15.40	30.79	4.90	60 - 120	0.65	1.25
180	11.36	34.08	3.29	120 - 180	0.70	1.95
240	9.15	36.62	2.54	180 - 240	0.76	2.71
300	7.74	38.72	2.10	240 - 300	0.83	3.54
360	6.75	40.53	1.81	300 - 360	0.92	4.46
420	6.02	42.12	1.59	360 - 420	1.04	5.49
480	5.44	43.55	1.43	420 - 480	1.20	6.69
540	4.98	44.85	1.30	480 - 540	1.43	8.12
600	4.60	46.05	1.20	540 - 600	1.81	9.93
660	4.29	47.16	1.11	600 - 660	2.54	12.47
720	4.02	48.19	1.04	660 - 720	4.90	17.37
780	3.78	49.17	0.97	720 - 780	25.89	43.26
840	3.58	50.09	0.92	780 - 840	3.29	46.55
900	3.40	50.96	0.87	840 - 900	2.10	48.65
960	3.24	51.79	0.83	900 - 960	1.59	50.24
1020	3.09	52.58	0.79	960 - 1020	1.30	51.54
1080	2.96	53.34	0.76	1020 - 1080	1.11	52.65
1140	2.85	54.06	0.73	1080 - 1140	0.97	53.63
1200	2.74	54.76	0.70	1140 - 1200	0.87	54.50
1260	2.64	55.43	0.67	1200 - 1260	0.79	55.29
1320	2.55	56.08	0.65	1260 - 1320	0.73	56.01
1380	2.47	56.71	0.63	1320 - 1380	0.67	56.69
1440	2.39	57.31	0.61	1380 - 1440	0.63	57.31

Hietograma de Precipitación de Diseño

Estación: E - 3

κ = 433.9302
 T = 50
 m = 0.1468
 n = 0.7500

Ecuación:

$$I_{max} = \frac{433.9302 \times 50^{(0.1468)}}{D^{(0.75)}}$$

* D = Duración (min)

Método del Bloque Alterno

Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación Total mm	Precipitación Acumulada mm
60	35.74	35.74	35.74	0 - 60	0.84	0.84
120	21.25	42.51	6.76	60 - 120	0.90	1.73
180	15.68	47.04	4.53	120 - 180	0.96	2.70
240	12.64	50.55	3.51	180 - 240	1.04	3.74
300	10.69	53.45	2.90	240 - 300	1.14	4.88
360	9.32	55.94	2.49	300 - 360	1.27	6.15
420	8.31	58.14	2.20	360 - 420	1.43	7.58
480	7.51	60.11	1.97	420 - 480	1.65	9.24
540	6.88	61.91	1.80	480 - 540	1.97	11.21
600	6.36	63.56	1.65	540 - 600	2.49	13.70
660	5.92	65.09	1.53	600 - 660	3.51	17.21
720	5.54	66.52	1.43	660 - 720	6.76	23.97
780	5.22	67.87	1.34	720 - 780	35.74	59.72
840	4.94	69.14	1.27	780 - 840	4.53	64.25
900	4.69	70.34	1.20	840 - 900	2.90	67.15
960	4.47	71.49	1.14	900 - 960	2.20	69.35
1020	4.27	72.58	1.09	960 - 1020	1.80	71.15
1080	4.09	73.62	1.04	1020 - 1080	1.53	72.68
1140	3.93	74.62	1.00	1080 - 1140	1.34	74.02
1200	3.78	75.59	0.96	1140 - 1200	1.20	75.23
1260	3.64	76.51	0.93	1200 - 1260	1.09	76.32
1320	3.52	77.41	0.90	1260 - 1320	1.00	77.32
1380	3.40	78.27	0.87	1320 - 1380	0.93	78.25
1440	3.30	79.11	0.84	1380 - 1440	0.87	79.11

Tabla 94 — Hietogramas de precipitación de diseño para Tr=100 años

Hietograma de Precipitación de Diseño						
Estación: E - 1						
K = 332.1776		Ecuación:				
T = 100	$I_{max} = \frac{332.1776 \times 100^{(0.0672)}}{D^{(0.75)}}$					
m = 0.0672						
n = 0.7500						
* D = Duración (min)						
Método del Bloque Alterno						
Duración	Intensidad	Profundidad Acumulada	Profundidad Incremental	Tiempo	Precipitación Total	Precipitación Acumulada
min	mm/h	mm	mm	min	mm	mm
60	21.00	21.00	21.00	0 - 60	0.49	0.49
120	12.49	24.97	3.97	60 - 120	0.53	1.02
180	9.21	27.64	2.66	120 - 180	0.57	1.58
240	7.42	29.70	2.06	180 - 240	0.61	2.20
300	6.28	31.40	1.70	240 - 300	0.67	2.87
360	5.48	32.87	1.46	300 - 360	0.75	3.62
420	4.88	34.16	1.29	360 - 420	0.84	4.46
480	4.41	35.32	1.16	420 - 480	0.97	5.43
540	4.04	36.37	1.06	480 - 540	1.16	6.59
600	3.73	37.34	0.97	540 - 600	1.46	8.05
660	3.48	38.24	0.90	600 - 660	2.06	10.11
720	3.26	39.09	0.84	660 - 720	3.97	14.09
780	3.07	39.88	0.79	720 - 780	21.00	35.09
840	2.90	40.62	0.75	780 - 840	2.66	37.75
900	2.76	41.33	0.71	840 - 900	1.70	39.45
960	2.63	42.00	0.67	900 - 960	1.29	40.75
1020	2.51	42.64	0.64	960 - 1020	1.06	41.80
1080	2.40	43.26	0.61	1020 - 1080	0.90	42.70
1140	2.31	43.84	0.59	1080 - 1140	0.79	43.49
1200	2.22	44.41	0.57	1140 - 1200	0.71	44.20
1260	2.14	44.95	0.55	1200 - 1260	0.64	44.84
1320	2.07	45.48	0.53	1260 - 1320	0.59	45.43
1380	2.00	45.99	0.51	1320 - 1380	0.55	45.97
1440	1.94	46.48	0.49	1380 - 1440	0.51	46.48

Hietograma de Precipitación de Diseño

Estación: E - 2

$K = 314.9763$
 $T = 100$
 $m = 0.1463$
 $n = 0.7500$

Ecuación:

$$I_{max} = \frac{314.9763 \times 100^{(0.1463)}}{D^{(0.75)}}$$

* D = Duración (min)

Método del Bloque Alterno

Duración min	Intensidad mm/h	Profundidad Acumulada mm	Profundidad Incremental mm	Tiempo min	Precipitación Total mm	Precipitación Acumulada mm
60	28.66	28.66	28.66	0 - 60	0.67	0.67
120	17.04	34.08	5.42	60 - 120	0.72	1.39
180	12.57	37.71	3.64	120 - 180	0.77	2.16
240	10.13	40.53	2.81	180 - 240	0.84	3.00
300	8.57	42.85	2.33	240 - 300	0.92	3.92
360	7.48	44.85	2.00	300 - 360	1.02	4.93
420	6.66	46.61	1.76	360 - 420	1.15	6.08
480	6.02	48.20	1.58	420 - 480	1.32	7.41
540	5.52	49.64	1.44	480 - 540	1.58	8.99
600	5.10	50.96	1.32	540 - 600	2.00	10.99
660	4.74	52.19	1.23	600 - 660	2.81	13.80
720	4.44	53.34	1.15	660 - 720	5.42	19.22
780	4.19	54.41	1.08	720 - 780	28.66	47.88
840	3.96	55.43	1.02	780 - 840	3.64	51.51
900	3.76	56.40	0.96	840 - 900	2.33	53.84
960	3.58	57.31	0.92	900 - 960	1.76	55.60
1020	3.42	58.19	0.88	960 - 1020	1.44	57.04
1080	3.28	59.03	0.84	1020 - 1080	1.23	58.27
1140	3.15	59.83	0.80	1080 - 1140	1.08	59.35
1200	3.03	60.60	0.77	1140 - 1200	0.96	60.31
1260	2.92	61.35	0.74	1200 - 1260	0.88	61.19
1320	2.82	62.06	0.72	1260 - 1320	0.80	61.99
1380	2.73	62.76	0.69	1320 - 1380	0.74	62.74
1440	2.64	63.43	0.67	1380 - 1440	0.69	63.43

Hietograma de Precipitación de Diseño

Estación: E - 3

κ = 433.9302
 T = 100
 m = 0.1468
 n = 0.7500

Ecuación:

$$I_{max} = \frac{433.9302 \times 100^{(0.1468)}}{D^{(0.75)}}$$

* D = Duración (min)

Método del Bloque Alterno

Duración	Intensidad	Profundidad Acumulada	Profundidad Incremental	Tiempo	Precipitación Total	Precipitación Acumulada
min	mm/h	mm	mm	min	mm	mm
60	39.57	39.57	39.57	0 - 60	0.93	0.93
120	23.53	47.06	7.49	60 - 120	0.99	1.92
180	17.36	52.08	5.02	120 - 180	1.07	2.98
240	13.99	55.96	3.88	180 - 240	1.16	4.14
300	11.83	59.17	3.21	240 - 300	1.27	5.41
360	10.32	61.93	2.76	300 - 360	1.41	6.81
420	9.19	64.36	2.43	360 - 420	1.58	8.40
480	8.32	66.55	2.18	420 - 480	1.83	10.23
540	7.62	68.54	1.99	480 - 540	2.18	12.41
600	7.04	70.37	1.83	540 - 600	2.76	15.17
660	6.55	72.06	1.70	600 - 660	3.88	19.05
720	6.14	73.65	1.58	660 - 720	7.49	26.54
780	5.78	75.14	1.49	720 - 780	39.57	66.11
840	5.47	76.54	1.41	780 - 840	5.02	71.13
900	5.19	77.88	1.33	840 - 900	3.21	74.34
960	4.95	79.14	1.27	900 - 960	2.43	76.78
1020	4.73	80.35	1.21	960 - 1020	1.99	78.77
1080	4.53	81.51	1.16	1020 - 1080	1.70	80.46
1140	4.35	82.62	1.11	1080 - 1140	1.49	81.95
1200	4.18	83.68	1.07	1140 - 1200	1.33	83.28
1260	4.03	84.71	1.03	1200 - 1260	1.21	84.49
1320	3.90	85.70	0.99	1260 - 1320	1.11	85.60
1380	3.77	86.66	0.96	1320 - 1380	1.03	86.63
1440	3.65	87.58	0.93	1380 - 1440	0.96	87.58

Tabla 95 — Hietogramas de precipitación de diseño para Tr=500 años

Hietograma de Precipitación de Diseño						
Estación: E - 1						
K =	332.1776	Ecuación:		$I_{max} = \frac{332.1776 \times 500^{(0.0672)}}{D^{(0.75)}}$		
T =	500					
m =	0.0672					
n =	0.7500					
Método del Bloque Alterno						
Duración	Intensidad	Profundidad Acumulada	Profundidad Incremental	Tiempo	Precipitación Total	Precipitación Acumulada
min	mm/h	mm	mm	min	mm	mm
60	23.40	23.40	23.40	0 - 60	0.55	0.55
120	13.91	27.83	4.43	60 - 120	0.59	1.13
180	10.27	30.80	2.97	120 - 180	0.63	1.76
240	8.27	33.09	2.30	180 - 240	0.68	2.45
300	7.00	34.99	1.90	240 - 300	0.75	3.20
360	6.10	36.62	1.63	300 - 360	0.83	4.03
420	5.44	38.06	1.44	360 - 420	0.94	4.97
480	4.92	39.35	1.29	420 - 480	1.08	6.05
540	4.50	40.53	1.18	480 - 540	1.29	7.34
600	4.16	41.61	1.08	540 - 600	1.63	8.97
660	3.87	42.62	1.00	600 - 660	2.30	11.27
720	3.63	43.55	0.94	660 - 720	4.43	15.70
780	3.42	44.43	0.88	720 - 780	23.40	39.10
840	3.23	45.26	0.83	780 - 840	2.97	42.06
900	3.07	46.05	0.79	840 - 900	1.90	43.96
960	2.93	46.80	0.75	900 - 960	1.44	45.40
1020	2.79	47.51	0.71	960 - 1020	1.18	46.58
1080	2.68	48.20	0.68	1020 - 1080	1.00	47.58
1140	2.57	48.85	0.66	1080 - 1140	0.88	48.46
1200	2.47	49.49	0.63	1140 - 1200	0.79	49.25
1260	2.39	50.09	0.61	1200 - 1260	0.71	49.96
1320	2.30	50.68	0.59	1260 - 1320	0.66	50.62
1380	2.23	51.24	0.57	1320 - 1380	0.61	51.23
1440	2.16	51.79	0.55	1380 - 1440	0.57	51.79

* D = Duración (min)

Hietograma de Precipitación de Diseño

Estación: E - 2

κ = 314.9763
 T = 500
 m = 0.1463
 n = 0.7500

Ecuación:

$$I_{max} = \frac{314.9763 \times 500^{(0.1463)}}{D^{(0.75)}}$$

* D = Duración (min)

Método del Bloque Alterno

Duración	Intensidad	Profundidad Acumulada	Profundidad Incremental	Tiempo	Precipitación Total	Precipitación Acumulada
min	mm/h	mm	mm	min	mm	mm
60	36.26	36.26	36.26	0 - 60	0.85	0.85
120	21.56	43.13	6.86	60 - 120	0.91	1.76
180	15.91	47.73	4.60	120 - 180	0.98	2.73
240	12.82	51.29	3.56	180 - 240	1.06	3.79
300	10.85	54.23	2.94	240 - 300	1.16	4.96
360	9.46	56.76	2.53	300 - 360	1.29	6.24
420	8.43	58.99	2.23	360 - 420	1.45	7.70
480	7.62	60.99	2.00	420 - 480	1.68	9.37
540	6.98	62.81	1.82	480 - 540	2.00	11.37
600	6.45	64.49	1.68	540 - 600	2.53	13.90
660	6.00	66.04	1.56	600 - 660	3.56	17.46
720	5.62	67.50	1.45	660 - 720	6.86	24.32
780	5.30	68.86	1.36	720 - 780	36.26	60.59
840	5.01	70.15	1.29	780 - 840	4.60	65.19
900	4.76	71.37	1.22	840 - 900	2.94	68.13
960	4.53	72.53	1.16	900 - 960	2.23	70.36
1020	4.33	73.64	1.11	960 - 1020	1.82	72.18
1080	4.15	74.70	1.06	1020 - 1080	1.56	73.74
1140	3.98	75.71	1.02	1080 - 1140	1.36	75.10
1200	3.83	76.69	0.98	1140 - 1200	1.22	76.32
1260	3.70	77.63	0.94	1200 - 1260	1.11	77.43
1320	3.57	78.54	0.91	1260 - 1320	1.02	78.45
1380	3.45	79.42	0.88	1320 - 1380	0.94	79.39
1440	3.34	80.27	0.85	1380 - 1440	0.88	80.27

Hietograma de Precipitación de Diseño

Estación: E - 3

K = 433.9302
 T = 500
 m = 0.1468
 n = 0.7500

Ecuación:

$$I_{max} = \frac{433.9302 \times 500^{(0.1468)}}{D^{(0.75)}}$$

* D = Duración (min)

Método del Bloque Alterno

Duración	Intensidad	Profundidad Acumulada	Profundidad Incremental	Tiempo	Precipitación Total	Precipitación Acumulada
min	mm/h	mm	mm	min	mm	mm
60	50.12	50.12	50.12	0 - 60	1.17	1.17
120	29.80	59.60	9.48	60 - 120	1.25	2.43
180	21.99	65.96	6.36	120 - 180	1.35	3.78
240	17.72	70.87	4.92	180 - 240	1.46	5.24
300	14.99	74.94	4.07	240 - 300	1.60	6.85
360	13.07	78.44	3.49	300 - 360	1.78	8.63
420	11.65	81.52	3.08	360 - 420	2.01	10.63
480	10.54	84.28	2.77	420 - 480	2.32	12.95
540	9.64	86.80	2.52	480 - 540	2.77	15.72
600	8.91	89.12	2.32	540 - 600	3.49	19.21
660	8.30	91.27	2.15	600 - 660	4.92	24.13
720	7.77	93.28	2.01	660 - 720	9.48	33.61
780	7.32	95.16	1.89	720 - 780	50.12	83.73
840	6.92	96.94	1.78	780 - 840	6.36	90.09
900	6.58	98.63	1.69	840 - 900	4.07	94.15
960	6.26	100.23	1.60	900 - 960	3.08	97.24
1020	5.99	101.76	1.53	960 - 1020	2.52	99.75
1080	5.73	103.23	1.46	1020 - 1080	2.15	101.90
1140	5.51	104.63	1.40	1080 - 1140	1.89	103.79
1200	5.30	105.98	1.35	1140 - 1200	1.69	105.48
1260	5.11	107.28	1.30	1200 - 1260	1.53	107.01
1320	4.93	108.54	1.25	1260 - 1320	1.40	108.41
1380	4.77	109.75	1.21	1320 - 1380	1.30	109.71
1440	4.62	110.92	1.17	1380 - 1440	1.21	110.92

```
RED NEURONAL SUSCEPTIBILIDAD
Archivo Editor Ver Inspeccionar Ayuda
+ Código + Texto
Modelo de Red Neuronal para Evaluación de Susceptibilidad

from keras.utils import plot_model
import tensorflow as tf
import pandas as pd
import numpy as np
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

#Cargar los datos
MEMUSA_df = pd.read_csv("TRAINING.csv")

#DESCRIPCION
sns.scatterplot(x="PMA", y="MEMUSA", data=MEMUSA_df)

#DESCRIPCION
f, ax = plt.subplots(figsize=(20, 20))
sns.heatmap(MEMUSA_df.corr(), annot=True)

#LISTA DE DATOS
selected_features = ["PMA", "GEOMORFOLOGIA", "GEOLOGIA", "TWI", "DISTANCIA", "ASPECTO", "CURVATURA", "PENEENTE", "ALTITUD", "USOSUELO"]

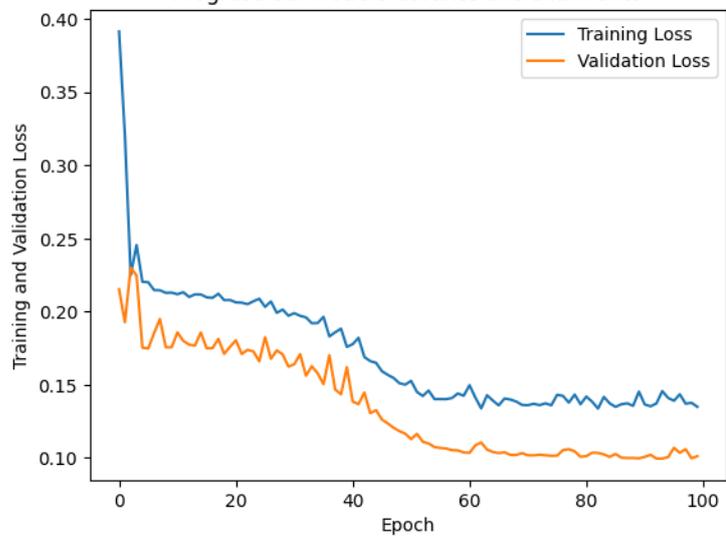
X = MEMUSA_df[selected_features]
y = MEMUSA_df["MEMUSA"]

from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
scaler = MinMaxScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)

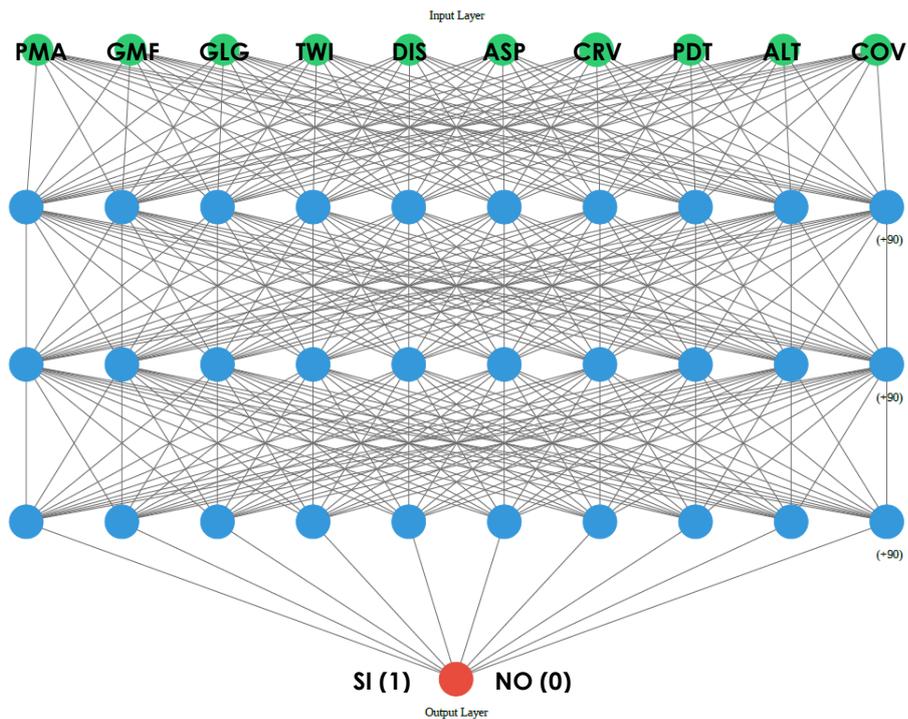
#Mostrar el output
y = y.values.reshape(-1,1)
y_scaled = scaler.fit_transform(y)

#DESCRIPCION
from sklearn.model_selection import train_test_split
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_scaled, y_scaled, test_size=0.25)
```

Progreso del Modelo durante entrenamiento



Iris Neural Network



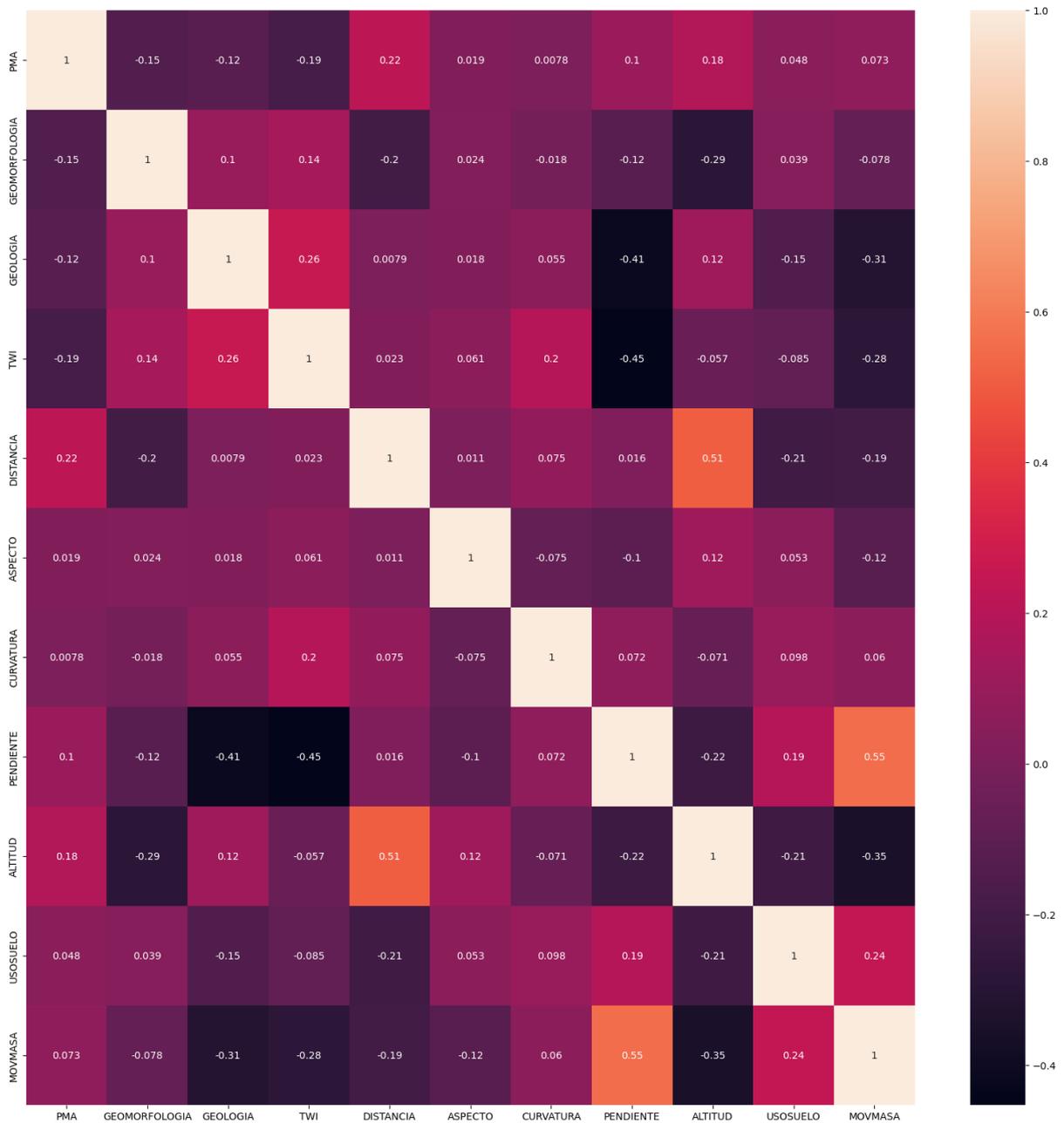


Figura 124 — Codificación de la RNA (Python) para el análisis de susceptibilidad

Nota: Se realizaron la importancia y correlación entre los valores de cada uno de los 10 factores que fueron usados en el modelo de la red neuronal artificial a través de la matriz de confusión, que permitió visualizar el desempeño del modelo. Fue necesario conocer el rendimiento optimo del modelo, para ello se graficó la pérdida del entrenamiento (training loss) y la pérdida de validación (validation loss), con la finalidad de obtener los periodos o iteraciones (epoch) necesarias para que el modelo aprenda correctamente, se visualiza que a partir de 80 iteraciones se tiene un modelo optimo, para el modelo se utilizó 100 iteraciones o epoch. 1 capa de entrada (input) de 10 parámetros, 3 capas ocultas de 100 neuronas por capa, estas neuronas usan función sigmoideal, finalmente 1 capa de salida (output) de 1 parámetro booleano, con 100 iteraciones (epoch).

AFECTACIÓN DE VIVIENDAS**Tabla 96 — Afectación de viviendas por flujo de detritos**

N°	Material	Tipo	Pisos	Población	Costo Tr50 (S./)	Costo Tr100 (S./)	Costo Tr500 (S./)	X UTM	Y UTM	m.s.n.m.
1	A	NO-RC	1	3	52,208.54	52,208.54	52,208.54	729763.5	8495048.3	2948.4
2	A	NO-RC	1	0	10,053.79	10,053.79	10,053.79	729756.5	8495059.1	2949.8
3	A	NO-RC	1	0	15,498.95	15,498.95	15,498.95	729746.3	8495058.0	2950.3
4	A	NO-RC	1	0	28,585.34	28,585.34	28,585.34	729774.5	8495044.7	2945.8
5	A	NO-RC	1	0	67,444.47	67,444.47	67,444.47	729674.4	8495277.8	3002.8
6	A	NO-RC	1	0	946.06	1,146.57	1,742.82	729935.7	8494436.5	2817.1
7	C	RC	1	3	-	-	-	729987.3	8494375.1	2812.7
8	C	RC	1	0	-	-	-	730027.3	8494360.1	2811.5
9	C	RC	1	4	-	-	-	729996.2	8494296.5	2802.2
10	C	RC	3	1	-	-	40.58	729982.9	8494302.7	2800.7
11	C	RC	1	0	-	-	-	729740.5	8494391.2	2808.3
12	M	NO-RC	1	0	168.67	219.94	352.56	729774.9	8494430.8	2814.9
13	A	NO-RC	1	6	3,713.73	4,411.45	5,697.24	729812.2	8494479.2	2823.0
14	C	RC	1	5	-	-	-	729642.5	8494244.4	2761.7
15	A	NO-RC	2	5	139,578.37	139,578.37	139,578.37	729919.2	8494418.1	2814.3
16	A	NO-RC	1	0	18,119.12	18,119.12	18,119.12	729918.6	8494411.5	2813.5
17	C	RC	1	4	-	-	-	729643.9	8494236.8	2760.9
18	A	NO-RC	1	2	965.63	1,137.34	1,520.83	729672.5	8494183.2	2762.0
19	A	NO-RC	1	3	-	7.94	64.27	729717.1	8494073.1	2739.4
20	A	NO-RC	1	0	206.52	281.51	441.28	729702.0	8494049.9	2734.7
21	C	RC	2	0	59,190.81	65,924.94	82,377.01	729706.2	8494206.2	2764.6
22	C	RC	1	4	19.17	22.01	160.51	729687.7	8494151.4	2758.2
23	C	RC	1	0	39,557.35	39,557.35	39,557.35	729681.4	8494153.8	2757.8
24	C	RC	1	5	2.75	3.21	5.18	729652.1	8494169.3	2759.1
25	M	NO-RC	1	0	-	-	0.93	729646.8	8494166.4	2758.6
26	C	RC	2	0	230,068.48	230,068.48	230,068.48	729882.4	8494343.1	2799.9
27	C	RC	3	4	338,495.43	338,495.43	338,495.43	729458.9	8493380.8	2622.7
28	A	NO-RC	2	2	193,294.72	193,294.72	193,294.72	729453.8	8493377.5	2621.8
29	C	RC	2	0	207,235.51	207,235.51	207,235.51	729445.3	8493377.6	2620.3
30	C	RC	2	3	247,143.94	247,143.94	247,143.94	729441.4	8493372.3	2619.1
31	C	RC	1	0	79,371.53	79,371.53	79,371.53	729436.3	8493365.7	2618.4
32	C	RC	1	0	13,136.06	10,856.74	10,900.82	729432.0	8493360.1	2618.3
33	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729717.8	8494001.0	2727.3
34	A	NO-RC	2	6	189,131.63	189,131.63	189,131.63	729418.2	8493346.0	2615.6
35	C	RC	3	6	-	-	10.38	729649.2	8494177.3	2759.8
36	C	RC	3	3	125,638.66	130,080.04	131,673.18	729902.0	8494398.7	2812.2
37	A	NO-RC	2	3	182,151.70	182,151.70	182,151.70	729416.7	8493329.0	2612.6
38	C	RC	2	2	15,718.33	15,745.42	15,718.33	729417.2	8492502.5	2518.1
39	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729642.2	8494175.4	2759.1
40	M	NO-RC	1	0	1.34	2.86	10.74	729635.1	8494172.4	2758.1
41	M	NO-RC	1	0	-	-	1.78	729627.5	8494173.0	2757.6
42	M	NO-RC	1	4	51,101.95	51,101.95	51,101.95	729682.8	8494164.6	2759.8
43	C	RC	1	0	653.71	759.48	958.71	729699.7	8494168.5	2762.6
44	C	RC	2	2	287,415.46	287,415.46	287,415.46	729396.9	8492551.4	2517.9
45	C	RC	4	10	623.28	748.59	1,201.69	729161.1	8492301.0	2489.6
46	M	NO-RC	1	0	532.23	533.47	533.05	729419.6	8492565.4	2524.4
47	C	RC	1	0	-	-	-	729237.7	8492541.3	2519.7
48	C	RC	1	2	-	-	-	729209.2	8492553.1	2522.0
49	C	RC	1	3	-	-	-	729197.5	8492539.4	2520.6
50	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729224.8	8492556.5	2522.3
51	C	RC	2	15	6,084.53	6,563.51	8,514.60	729142.9	8492270.3	2486.3
52	A	NO-RC	2	6	-	-	-	729200.7	8492401.9	2501.5
53	C	RC	2	4	1,036.11	1,184.10	1,697.83	729219.2	8492401.8	2501.8
54	A	NO-RC	2	1	-	-	-	729243.3	8492517.3	2516.5
55	C	RC	4	5	-	-	-	729245.2	8492505.8	2515.8
56	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729610.9	8494245.6	2755.8
57	C	RC	1	0	39,848.71	39,848.71	39,848.71	729862.0	8494060.6	2750.8
58	M	NO-RC	1	0	127.54	182.80	536.45	729901.3	8494070.6	2753.6
59	C	RC	1	0	1,323.67	2,333.40	6,882.46	729953.1	8494228.7	2786.0
60	A	NO-RC	2	10	219,237.64	219,237.64	219,237.64	729944.8	8494138.6	2765.1
61	C	RC	1	0	122,821.41	122,821.41	122,821.41	729946.3	8494147.3	2766.0
62	C	RC	1	0	88.39	88.39	89.74	729974.6	8494191.0	2784.8
63	C	RC	1	5	339.24	341.10	346.71	729988.9	8494205.5	2787.6
64	C	RC	1	5	67,803.58	67,803.58	67,803.58	729865.7	8494097.2	2756.2
65	C	RC	2	3	225,977.41	225,977.41	225,977.41	729867.1	8494081.6	2753.9
66	A	NO-RC	2	0	145,117.32	145,117.32	145,117.32	729878.7	8494079.9	2754.4
67	C	RC	2	3	242,592.75	242,592.75	242,592.75	729859.3	8494079.3	2753.1

68	C	RC	4	6	718,516.17	718,516.17	718,516.17	729850.7	8494074.8	2751.7
69	C	RC	1	0	592.19	891.82	2,222.62	729841.5	8494081.4	2753.4
70	A	NO-RC	1	2	2,123.47	2,659.51	30,191.59	729832.5	8494054.8	2748.9
71	C	RC	1	3	42.34	65.29	164.43	729818.3	8494065.6	2751.0
72	A	NO-RC	2	5	652.45	696.34	887.92	729193.1	8492364.2	2498.2
73	C	RC	4	10	2,843.47	2,962.22	3,204.72	729262.0	8492367.4	2499.7
74	C	RC	3	2	374,176.97	374,176.97	374,176.97	729314.6	8492364.3	2498.6
75	C	RC	3	2	393,954.22	393,954.22	393,954.22	729313.3	8492370.5	2500.1
76	C	RC	3	2	95.69	105.89	127.37	729303.8	8492366.4	2500.6
77	C	RC	2	5	550.50	617.85	807.92	729277.5	8492360.1	2500.4
78	M	NO-RC	1	1	-	-	-	729808.1	8494052.0	2752.3
79	C	RC	2	4	3,056.83	3,886.63	21,340.86	729865.0	8493928.7	2723.7
80	C	RC	1	0	482.59	569.22	768.15	729864.3	8493914.1	2721.6
81	A	NO-RC	1	2	2,801.92	2,984.55	6,888.89	729856.1	8493909.3	2721.0
82	C	RC	1	0	2,502.44	6,264.86	11,643.18	729845.9	8493896.1	2716.4
83	A	NO-RC	2	4	2,320.01	2,426.13	2,643.15	729737.4	8493924.7	2710.7
84	C	RC	1	3	65,299.96	65,299.96	65,299.96	729721.8	8493899.5	2705.4
85	C	RC	1	4	668.15	714.57	894.60	729797.1	8493891.2	2714.4
86	C	RC	2	4	262,190.57	262,190.57	262,190.57	729824.7	8493881.8	2714.1
87	A	NO-RC	2	2	160,279.16	160,279.16	160,279.16	729831.5	8493877.5	2712.7
88	C	RC	2	5	25,895.25	269,510.25	269,510.25	729839.0	8493875.9	2712.6
89	C	RC	2	4	273,635.90	273,635.90	273,635.90	729837.2	8493855.8	2709.6
90	C	RC	2	4	9,384.96	11,006.17	22,837.02	729810.7	8493870.4	2712.1
91	C	RC	2	1	17,387.66	22,921.44	60,360.19	729789.7	8493864.1	2709.2
92	C	RC	1	5	70,093.19	70,093.19	70,093.19	729775.6	8493863.6	2707.9
93	C	RC	1	4	670.70	917.61	3,439.25	729777.4	8493845.1	2705.9
94	M	NO-RC	1	0	1,580.63	1,811.34	4,751.91	729812.4	8493855.0	2709.1
95	C	RC	1	0	1.16	1.64	68.21	729775.6	8493813.9	2701.4
96	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729627.9	8493772.6	2676.3
97	C	RC	1	3	65,622.45	65,622.45	65,622.45	729668.3	8493749.0	2674.5
98	A	NO-RC	1	1	1,909.89	2,050.90	2,369.85	729637.5	8493714.1	2668.2
99	C	RC	2	6	200,607.87	200,607.87	200,607.87	729657.3	8493722.6	2670.7
100	C	RC	1	4	78,134.77	78,134.77	78,134.77	729759.7	8493731.7	2690.3
101	M	NO-RC	1	0	906.33	983.63	9,032.37	729738.6	8493713.5	2686.0
102	C	RC	1	0	13,188.39	14,215.66	18,673.98	729733.9	8493689.6	2683.1
103	C	RC	1	4	12,621.26	14,735.02	25,075.05	729724.7	8493687.5	2682.3
104	C	RC	2	4	28,242.24	31,278.08	43,480.79	729754.1	8493680.3	2683.6
105	C	RC	1	3	2,950.50	3,182.60	4,266.44	729742.2	8493672.5	2682.1
106	M	NO-RC	1	0	2,328.45	2,514.31	3,222.03	729740.0	8493664.1	2680.9
107	C	RC	2	4	230,927.76	230,927.76	230,927.76	729724.5	8493649.5	2679.5
108	M	NO-RC	1	0	31,045.28	31,045.28	31,045.28	729732.2	8493652.4	2680.1
109	A	NO-RC	2	7	162,258.33	162,258.33	162,258.33	729710.9	8493662.0	2679.0
110	A	NO-RC	1	3	231.18	271.46	949.73	729705.5	8493672.9	2679.6
111	A	NO-RC	1	3	67.91	100.16	267.67	729699.4	8493677.0	2680.1
112	M	NO-RC	1	0	75,335.01	75,335.01	75,335.01	729678.7	8493669.9	2676.2
113	A	NO-RC	1	3	60,891.76	60,891.76	60,891.76	729698.5	8493666.1	2677.7
114	M	NO-RC	1	0	63.91	87.83	336.70	729649.0	8493643.3	2671.5
115	C	RC	2	6	237,886.56	237,886.56	237,886.56	729671.1	8493635.5	2674.2
116	A	NO-RC	2	5	148,551.24	148,551.24	148,551.24	729678.8	8493635.7	2674.5
117	A	NO-RC	2	3	23,313.26	24,022.43	30,008.34	729685.5	8493641.5	2675.4
118	M	NO-RC	1	0	3,086.38	3,227.96	3,994.76	729693.1	8493646.9	2676.6
119	A	NO-RC	2	2	7,988.66	8,199.59	135,303.07	729679.4	8493646.8	2675.6
120	C	RC	1	0	90,297.51	90,297.51	90,297.51	729801.6	8493743.8	2695.8
121	C	RC	1	6	6,147.24	6,586.48	8,774.13	729747.3	8493701.6	2684.9
122	A	NO-RC	1	0	138.25	289.95	594.96	729824.4	8494003.7	2738.6
123	A	NO-RC	1	0	24.14	23.81	23.81	729814.6	8494003.9	2740.1
124	C	RC	1	2	93,568.94	93,568.94	93,568.94	729881.9	8493911.6	2720.8
125	C	RC	1	0	3,304.81	3,857.80	4,655.51	729839.7	8493927.3	2722.0
126	C	RC	1	3	337.59	841.62	2,057.43	729791.2	8493886.3	2712.4
127	M	NO-RC	1	3	1.94	2.53	4.15	729766.3	8493905.3	2713.6
128	M	NO-RC	1	0	78.76	95.44	144.36	729770.2	8493887.5	2710.7
129	C	RC	1	0	-	-	-	729757.7	8493886.9	2706.6
130	M	NO-RC	1	0	19.81	22.91	29.56	729753.7	8493881.6	2702.9
131	C	RC	1	4	41,208.62	41,208.62	41,208.62	729724.3	8493829.5	2691.9
132	A	NO-RC	1	3	130,653.21	130,653.21	130,653.21	729793.1	8493778.2	2700.7
133	C	RC	1	4	3,594.17	4,453.03	8,194.67	729745.5	8493734.3	2689.4
134	C	RC	2	3	221,918.70	221,918.70	221,918.70	729680.6	8493755.0	2676.6
135	M	NO-RC	1	0	984.31	1,121.02	1,602.10	729654.5	8493773.6	2676.7
136	M	NO-RC	1	0	109.86	132.13	286.80	729677.6	8493735.6	2674.8
137	M	NO-RC	1	0	2,189.19	2,570.15	2,925.19	729656.3	8493732.4	2671.6
138	C	RC	1	0	4,481.35	4,759.14	6,423.02	729750.9	8493704.4	2685.6
139	A	NO-RC	1	5	28,278.39	28,278.39	28,278.39	729664.8	8493635.4	2673.6
140	A	NO-RC	1	0	3,550.13	3,740.55	17,055.87	729633.6	8493709.2	2667.0
141	C	RC	3	3	177,541.98	667,232.07	667,232.07	729717.2	8493634.5	2678.6

142	C	RC	2	4	34,713.41	37,459.04	44,767.69	729701.0	8493627.2	2676.4
143	C	RC	1	0	4,009.01	4,256.15	5,193.95	729695.1	8493625.7	2676.0
144	C	RC	2	6	309,051.84	309,051.84	309,051.84	729684.4	8493619.1	2673.7
145	C	RC	3	4	2,011.54	2,011.54	2,011.54	729401.4	8492146.8	2478.8
146	C	RC	4	0	1,556.08	1,556.08	1,556.08	729362.8	8492114.5	2474.0
147	C	RC	1	0	114.19	127.41	169.59	729890.2	8493927.5	2724.3
148	C	RC	2	5	7,803.22	9,474.19	13,354.66	729897.3	8493953.1	2728.6
149	C	RC	1	0	888.38	1,133.56	1,943.03	729905.4	8493949.1	2727.5
150	C	RC	1	0	3,428.73	4,147.42	5,436.75	729881.4	8493956.5	2729.6
151	C	RC	2	5	7,168.53	8,328.91	11,026.94	729880.0	8493947.7	2728.0
152	C	RC	1	0	288.90	342.65	802.60	729874.3	8493953.2	2728.0
153	C	RC	2	0	12,827.07	14,072.96	18,057.75	729881.6	8493950.9	2728.4
154	C	RC	1	9	335.34	361.28	463.02	729765.6	8493892.8	2711.0
155	M	NO-RC	1	0	-	-	8.32	729767.7	8493877.1	2708.7
156	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729642.7	8493966.8	2715.7
157	C	RC	3	5	465,212.74	465,212.74	465,212.74	729317.8	8492143.0	2473.8
158	C	RC	2	3	597,340.97	597,340.97	597,340.97	729299.8	8492158.4	2476.0
159	C	RC	2	2	396,338.15	396,338.15	396,338.15	729352.5	8492221.3	2483.8
160	A	NO-RC	2	4	25,288.20	27,730.69	30,424.11	729324.3	8492182.2	2477.0
161	A	NO-RC	1	3	43,420.29	43,420.29	43,420.29	729343.5	8492196.4	2479.6
162	C	RC	2	4	59,629.81	64,150.40	68,918.05	729339.8	8492187.6	2478.2
163	C	RC	2	4	296,679.41	296,679.41	296,679.41	729317.3	8492197.8	2478.8
164	C	RC	4	8	218,108.51	233,873.45	692,790.69	729308.6	8492186.3	2477.2
165	C	RC	2	13	322,956.95	322,956.95	322,956.95	729313.0	8492191.6	2478.1
166	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729642.4	8493960.0	2717.6
167	M	NO-RC	1	7	-	-	-	729701.0	8495197.8	2975.8
168	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729841.5	8494806.3	2879.7
169	A	NO-RC	1	0	2,290.76	2,392.72	2,873.08	729836.8	8494630.4	2847.2
170	C	RC	1	3	-	-	-	729636.5	8493954.6	2714.9
171	M	NO-RC	1	0	1,533.86	1,671.53	1,999.94	729556.8	8493865.8	2675.2
172	C	RC	2	0	16,872.00	20,278.59	30,130.22	729490.7	8493656.5	2663.9
173	A	NO-RC	1	0	-	-	1.11	729491.7	8493644.1	2663.6
174	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729824.8	8494634.9	2850.4
175	A	NO-RC	1	0	69.34	86.57	156.72	729822.6	8494649.2	2849.8
176	A	NO-RC	2	7	3,768.40	4,003.62	4,805.32	729820.7	8494655.2	2849.8
177	C	RC	1	0	3,348.34	3,498.00	3,832.85	729828.1	8494669.6	2848.5
178	C	RC	1	0	616.03	661.89	818.24	729819.5	8494661.4	2849.5
179	C	RC	1	0	-	-	344.63	729798.5	8494406.1	2812.4
180	C	RC	1	0	229.22	390.14	977.67	729799.6	8494421.7	2815.0
181	C	RC	2	3	282.86	428.73	1,661.76	729804.0	8494414.6	2814.5
182	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729820.8	8494459.4	2823.4
183	M	NO-RC	1	0	136.58	214.53	526.92	729822.5	8494469.8	2823.4
184	A	NO-RC	1	3	2,624.28	3,174.10	4,194.01	729819.1	8494484.8	2822.9
185	M	NO-RC	1	0	2,363.67	2,878.59	4,286.86	729498.9	8493636.8	2659.6
186	C	RC	2	6	19,804.45	20,360.78	22,506.53	729522.3	8493581.7	2654.0
187	C	RC	1	3	2,862.34	3,158.60	3,701.26	729521.4	8493600.5	2655.1
188	C	RC	1	0	67,749.84	70,654.29	78,579.22	729535.5	8493602.2	2652.3
189	C	RC	2	5	-	-	-	729496.0	8493577.7	2659.0
190	C	RC	1	0	-	-	-	729503.0	8493577.7	2657.9
191	A	NO-RC	1	0	190.68	193.61	185.22	729335.2	8493243.4	2603.0
192	C	RC	2	4	19,821.34	21,427.09	19,278.54	729342.6	8493232.3	2601.0
193	C	RC	1	0	1,009.20	1,008.28	967.25	729334.6	8493237.4	2601.7
194	C	RC	1	1	39,489.40	39,489.40	39,489.40	729327.1	8493234.5	2600.7
195	C	RC	1	0	826.99	800.37	15,191.10	729340.8	8493225.6	2600.6
196	C	RC	1	0	46.27	43.18	44.55	729335.0	8493224.6	2600.9
197	C	RC	2	4	11,702.79	13,397.15	19,521.34	729465.1	8493353.1	2621.1
198	C	RC	1	5	440.81	469.97	645.28	729470.4	8493342.8	2620.0
199	C	RC	1	0	-	-	-	729824.0	8495108.2	2958.2
200	C	RC	1	0	-	-	-	729815.9	8495139.9	2966.1
201	C	RC	1	0	-	-	-	729823.1	8495151.7	2966.0
202	A	NO-RC	1	0	7,377.34	7,589.06	7,921.11	729826.7	8494775.5	2874.3
203	A	NO-RC	1	0	102,694.26	102,694.26	102,694.26	729813.5	8494789.9	2876.8
204	A	NO-RC	1	0	1,642.89	1,780.61	1,997.05	729805.2	8494784.6	2879.8
205	C	RC	1	0	66.74	61.73	63.96	729332.2	8493228.6	2600.9
206	C	RC	1	1	32,147.84	32,147.84	32,147.84	729301.6	8493181.3	2593.0
207	C	RC	1	2	17,305.36	18,162.25	17,017.51	729306.4	8493174.8	2593.0
208	C	RC	1	0	1,999.66	2,195.81	1,953.76	729313.6	8493175.9	2593.0
209	C	RC	1	0	1,634.17	1,634.17	1,634.17	729309.9	8493180.8	2593.0
210	C	RC	1	1	3,062.60	3,509.93	2,789.91	729307.9	8493167.7	2593.0
211	C	RC	1	1	292.59	310.56	221.38	729310.9	8493162.9	2592.7
212	C	RC	1	1	8,498.86	8,498.86	8,498.86	729318.4	8493167.8	2592.5
213	C	RC	1	2	23,428.00	23,428.00	23,428.00	729318.3	8493163.6	2592.1
214	C	RC	1	0	1,013.74	2,531.96	2,531.96	729325.5	8493160.9	2590.7
215	C	RC	1	0	151.28	124.22	78.28	729320.5	8493155.9	2591.1

216	C	RC	1	0	1,108.64	1,155.37	941.69	729322.2	8493157.3	2591.0
217	C	RC	1	2	11,596.72	9,628.24	9,789.35	729323.9	8493152.4	2590.7
218	C	RC	2	3	86,449.01	77,716.35	72,195.09	729328.3	8493146.9	2590.0
219	C	RC	2	2	107,530.59	91,630.89	96,029.16	729336.5	8493143.3	2589.1
220	C	RC	3	5	153,863.35	132,461.23	133,510.06	729342.7	8493136.5	2587.8
221	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729816.7	8494677.0	2850.0
222	A	NO-RC	2	6	34,877.08	23,743.44	25,540.09	729333.8	8493131.6	2588.5
223	A	NO-RC	1	0	1,984.86	1,274.77	1,381.08	729336.1	8493127.3	2587.3
224	A	NO-RC	1	0	30.46	-	-	729330.7	8493124.1	2587.9
225	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729327.7	8493128.0	2589.0
226	A	NO-RC	1	5	-	-	-	729324.7	8493122.6	2588.9
227	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729322.8	8493129.0	2590.0
228	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729324.7	8493127.5	2589.5
229	C	RC	1	0	121,289.02	121,289.02	121,289.02	729512.1	8493490.3	2639.7
230	C	RC	1	3	15,571.70	16,728.14	69,205.50	729543.1	8493487.9	2643.6
231	C	RC	1	5	-	-	-	729572.0	8493431.2	2651.0
232	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729448.0	8493481.4	2644.0
233	C	RC	1	2	13,394.79	17,238.10	12,618.06	729417.2	8493417.3	2622.2
234	C	RC	1	7	2,228.20	2,387.26	2,877.39	729819.5	8494669.7	2850.0
235	A	NO-RC	1	5	1,607.99	1,593.26	1,599.15	729870.7	8494508.3	2825.0
236	A	NO-RC	1	0	1,624.47	1,937.46	2,582.20	729919.5	8494518.0	2826.3
237	A	NO-RC	1	0	790.47	966.46	1,292.60	729920.9	8494524.7	2827.2
238	A	NO-RC	1	2	1,702.56	2,474.95	3,599.31	729922.0	8494532.6	2828.8
239	A	NO-RC	1	0	1,368.32	1,507.55	2,185.18	729902.6	8494525.3	2827.2
240	A	NO-RC	2	0	174,947.38	174,947.38	174,947.38	729934.6	8494501.7	2824.4
241	C	RC	2	2	231,223.90	231,223.90	231,223.90	729933.2	8494492.1	2822.9
242	A	NO-RC	1	0	275.65	567.61	1,307.01	729942.4	8494499.5	2824.2
243	C	RC	1	0	280.50	339.39	1,269.03	729946.9	8494499.8	2824.4
244	C	RC	1	0	0.31	0.77	993.70	729949.9	8494479.3	2822.1
245	C	RC	1	0	93.44	130.04	291.68	729950.5	8494489.9	2822.5
246	A	NO-RC	1	0	2,302.84	2,534.02	3,119.40	729906.6	8494535.8	2829.8
247	A	NO-RC	1	0	-	-	124.46	729988.4	8494529.1	2827.0
248	A	NO-RC	1	0	255.94	302.12	432.80	729998.8	8494530.1	2826.8
249	A	NO-RC	1	0	951.36	1,005.55	968.05	729349.4	8493255.0	2602.8
250	A	NO-RC	1	0	994.01	940.56	951.03	729349.6	8493251.1	2602.3
251	A	NO-RC	2	4	16,439.34	13,992.56	15,005.90	729348.6	8493244.4	2601.9
252	A	NO-RC	1	0	6,043.22	5,989.11	5,993.21	729341.2	8493251.5	2603.9
253	C	RC	1	1	9,411.10	10,308.30	10,151.45	729409.9	8493405.2	2620.8
254	C	RC	2	2	24,575.47	30,022.15	30,309.87	729396.3	8493383.5	2618.3
255	C	RC	2	2	8,984.11	9,823.96	11,017.46	729383.4	8493387.4	2618.1
256	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729363.0	8493372.7	2619.9
257	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729364.2	8493382.2	2622.1
258	A	NO-RC	1	0	228.42	262.00	332.31	729371.1	8493357.0	2614.5
259	A	NO-RC	1	3	47.78	58.11	84.69	729362.9	8493358.2	2614.1
260	A	NO-RC	1	0	356.24	399.04	519.37	729359.5	8493351.8	2612.8
261	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729357.0	8493356.3	2613.4
262	C	RC	1	0	114.56	119.00	107.85	729329.1	8493229.3	2600.6
263	A	NO-RC	1	2	2,118.16	2,275.68	2,162.40	729309.5	8493231.3	2600.5
264	A	NO-RC	1	0	141.51	146.38	139.54	729313.7	8493233.7	2600.4
265	M	NO-RC	1	0	2,891.50	2,891.50	2,891.50	729343.9	8493183.0	2595.3
266	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729357.0	8493361.8	2615.1
267	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729355.8	8493360.6	2614.9
268	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729358.3	8493362.4	2615.4
269	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729359.2	8493363.4	2615.7
270	A	NO-RC	1	0	53,844.18	53,844.18	53,844.18	729344.6	8493321.6	2610.4
271	A	NO-RC	1	0	15,766.83	15,766.83	15,766.83	729355.6	8493316.9	2610.9
272	C	RC	2	0	30,228.97	30,661.22	31,572.98	729351.9	8493291.4	2607.4
273	C	RC	2	3	55,285.67	45,927.25	50,030.23	729347.1	8493281.4	2606.4
274	C	RC	2	0	91,002.78	91,363.96	91,953.03	729344.4	8493274.1	2605.1
275	C	RC	2	0	127,164.92	129,673.41	128,719.34	729345.2	8493269.4	2604.6
276	A	NO-RC	2	2	142,917.41	142,917.41	142,917.41	729550.7	8493462.3	2642.0
277	C	RC	1	1	93,311.68	93,311.68	93,311.68	729570.8	8493544.7	2656.7
278	A	NO-RC	2	8	265,689.57	265,689.57	265,689.57	729407.0	8493317.8	2611.4
279	A	NO-RC	2	5	157,298.08	157,298.08	157,298.08	729412.9	8493301.8	2608.4
280	C	RC	2	1	323,222.89	323,222.89	323,222.89	729401.8	8493304.0	2608.4
281	C	RC	3	4	590,162.88	590,162.88	590,162.88	729389.2	8493306.6	2609.1
282	C	RC	2	9	355,639.75	355,639.75	355,639.75	729397.6	8493321.3	2611.8
283	C	RC	1	3	153,535.83	153,535.83	153,535.83	729418.4	8493313.7	2610.9
284	A	NO-RC	1	3	28,085.47	28,085.47	28,085.47	729413.7	8493339.7	2614.2
285	A	NO-RC	2	0	176,577.39	176,577.39	176,577.39	729407.2	8493333.9	2613.2
286	C	RC	3	2	398,546.25	398,546.25	398,546.25	729426.4	8493323.9	2612.3
287	A	NO-RC	1	4	-	-	-	729335.3	8493054.5	2579.7
288	A	NO-RC	1	1	173.15	204.41	219.61	729540.9	8493442.4	2638.5
289	A	NO-RC	1	1	1,060.95	1,298.42	1,571.52	729538.1	8493434.8	2637.1

290	A	NO-RC	1	0	75.20	126.35	194.13	729520.5	8493448.0	2636.9
291	A	NO-RC	1	1	254.17	270.72	496.92	729547.5	8493457.5	2640.7
292	C	RC	3	0	27,789.41	31,230.23	28,848.04	729495.5	8493454.6	2633.1
293	C	RC	3	0	26,432.31	30,958.59	28,496.14	729493.9	8493451.7	2632.7
294	C	RC	3	8	85,231.39	110,435.56	465,159.56	729497.2	8493461.1	2634.1
295	C	RC	3	4	87,754.79	88,870.28	88,889.01	729490.1	8493457.4	2633.4
296	C	RC	3	0	91,766.86	89,738.57	89,564.55	729487.9	8493452.9	2632.3
297	C	RC	3	4	50,780.17	52,671.41	57,995.37	729463.6	8493376.9	2622.7
298	C	RC	3	2	83,050.09	82,401.87	380,657.77	729452.7	8493386.0	2622.6
299	C	RC	2	5	284,604.76	284,604.76	284,604.76	729446.3	8493357.4	2618.9
300	C	RC	1	3	39,070.81	39,070.81	39,070.81	729442.8	8493352.0	2617.9
301	C	RC	3	4	411,435.34	411,435.34	411,435.34	729454.4	8493369.9	2621.1
302	C	RC	1	4	74,157.51	74,157.51	74,157.51	729450.8	8493364.2	2619.8
303	C	RC	2	4	352,710.68	352,710.68	352,710.68	729430.4	8493337.4	2614.9
304	C	RC	2	2	262,848.77	262,848.77	262,848.77	729426.6	8493331.2	2613.5
305	C	RC	1	2	55,696.27	55,696.27	55,696.27	729433.1	8493308.0	2610.4
306	C	RC	1	0	22,187.69	22,187.69	22,187.69	729447.7	8493303.5	2611.0
307	A	NO-RC	1	0	22,794.97	22,794.97	22,794.97	729441.5	8493299.4	2610.0
308	A	NO-RC	1	0	8,294.54	8,294.54	8,294.54	729449.7	8493298.2	2610.7
309	A	NO-RC	1	0	19,282.09	19,282.09	19,282.09	729430.0	8493301.1	2609.2
310	C	RC	1	0	38,887.97	38,887.97	38,887.97	729488.4	8493446.5	2631.3
311	C	RC	1	0	163,585.44	163,585.44	163,585.44	729508.6	8493429.3	2631.7
312	C	RC	1	0	137,335.90	137,335.90	137,335.90	729525.3	8493409.3	2632.9
313	C	RC	2	9	221,256.82	221,256.82	221,256.82	729428.2	8493296.1	2609.0
314	A	NO-RC	1	0	4,210.57	11,353.84	11,353.84	729439.4	8493293.9	2608.3
315	A	NO-RC	1	0	1,321.25	1,112.21	1,169.72	729446.3	8493292.8	2609.0
316	A	NO-RC	1	0	13.14	15.16	90.99	729450.7	8493292.1	2610.0
317	C	RC	1	3	53,446.05	53,446.05	53,446.05	729446.5	8493323.0	2614.2
318	C	RC	1	0	-	-	11,175.84	729455.2	8493320.4	2614.4
319	C	RC	1	1	1,007.55	1,009.82	1,010.96	729461.6	8493319.0	2615.4
320	C	RC	1	0	-	-	-	729487.3	8493321.5	2626.9
321	C	RC	1	0	-	-	-	729485.2	8493324.6	2627.8
322	C	RC	1	0	158.64	160.66	163.18	729480.2	8493319.0	2627.4
323	C	RC	2	3	101.15	101.15	116.65	729499.4	8493317.7	2626.8
324	C	RC	1	0	124.89	126.50	130.55	729488.7	8493297.3	2622.2
325	C	RC	1	0	7,005.01	7,530.99	8,038.49	729504.8	8493413.3	2630.5
326	C	RC	1	0	112.64	140.06	165.57	729490.2	8493419.4	2629.8
327	C	RC	1	0	3,993.34	5,458.63	6,571.41	729485.8	8493423.9	2630.0
328	C	RC	3	5	-	-	-	729555.6	8493414.4	2646.8
329	C	RC	1	6	-	-	-	729553.4	8493403.4	2644.1
330	C	RC	4	5	142,356.28	138,764.42	135,177.85	729480.9	8493436.6	2630.3
331	C	RC	4	0	36,537.39	45,983.43	50,386.82	729481.3	8493426.9	2629.8
332	C	RC	4	4	212,673.07	631,823.66	631,823.66	729476.9	8493428.6	2628.6
333	C	RC	2	0	362,145.10	362,145.10	362,145.10	729478.9	8493416.6	2626.6
334	C	RC	2	0	182,893.01	182,893.01	182,893.01	729467.9	8493411.5	2625.4
335	C	RC	2	0	31,068.76	34,367.74	249,113.53	729484.6	8493403.8	2626.5
336	C	RC	2	0	39,754.80	43,898.65	51,547.94	729494.1	8493405.2	2628.5
337	C	RC	2	0	17,592.92	19,622.92	22,572.78	729489.8	8493393.4	2626.5
338	C	RC	2	2	19,542.65	23,728.83	24,697.39	729482.5	8493396.8	2625.5
339	C	RC	3	4	35,980.70	38,421.83	52,649.80	729477.2	8493385.5	2623.5
340	C	RC	2	6	16,414.19	19,925.37	26,390.54	729483.7	8493390.9	2625.2
341	C	RC	4	2	51,750.38	69,121.61	87,029.93	729470.2	8493389.2	2623.4
342	C	RC	4	2	278,852.74	273,648.86	267,975.15	729462.8	8493396.7	2623.8
343	C	RC	1	4	9,376.39	10,908.97	11,043.21	729512.9	8493399.3	2629.5
344	C	RC	1	2	65,349.85	65,349.85	65,349.85	729509.5	8493393.7	2628.5
345	A	NO-RC	2	3	5,596.96	6,036.91	6,799.89	729502.9	8493390.9	2627.6
346	A	NO-RC	2	2	8,620.97	8,991.59	9,019.43	729512.0	8493386.6	2628.4
347	A	NO-RC	2	7	6,780.74	7,149.60	7,947.75	729500.1	8493386.9	2627.1
348	A	NO-RC	2	4	2,448.68	2,424.08	2,702.74	729505.5	8493384.7	2627.4
349	C	RC	1	2	-	-	-	729157.8	8492406.4	2504.2
350	A	NO-RC	2	5	5,791.22	6,216.92	6,957.80	729499.3	8493381.8	2626.8
351	A	NO-RC	2	0	2,572.85	2,642.71	2,820.02	729505.1	8493379.4	2627.1
352	C	RC	2	3	9,119.19	10,600.89	10,953.58	729499.1	8493374.4	2625.7
353	C	RC	2	0	100.46	103.77	119.08	729495.5	8493312.2	2625.2
354	C	RC	1	2	-	-	-	729336.4	8493048.7	2578.8
355	C	RC	2	3	1,390.81	1,628.12	2,474.92	729351.7	8493010.9	2572.2
356	C	RC	3	7	653,099.62	653,099.62	653,099.62	729392.0	8493011.4	2572.1
357	C	RC	2	8	384,958.72	384,958.72	384,958.72	729400.8	8493010.0	2571.6
358	C	RC	2	0	4,783.01	5,151.83	6,311.33	729357.8	8493023.2	2574.8
359	C	RC	1	4	8,728.17	9,261.84	10,714.91	729376.7	8492967.7	2569.5
360	C	RC	2	2	-	-	-	729199.8	8492390.6	2500.2
361	C	RC	1	2	-	-	-	729206.9	8492390.5	2500.3
362	C	RC	4	5	6,293.03	7,110.29	9,266.70	729217.2	8492391.4	2500.6
363	C	RC	2	3	78.03	81.93	89.93	729237.3	8492408.0	2503.2

364	C	RC	2	2	-	-	-	729248.6	8492398.8	2501.5
365	C	RC	2	3	973.64	1,032.15	1,148.28	729249.1	8492389.4	2500.4
366	C	RC	3	6	-	-	-	729233.0	8492391.9	2500.5
367	C	RC	3	5	243.15	288.07	381.92	729232.7	8492387.4	2499.9
368	C	RC	4	11	42.62	53.10	282.41	729240.8	8492391.0	2500.2
369	C	RC	1	1	-	-	-	729233.9	8492401.7	2501.5
370	C	RC	1	1	-	-	-	729233.7	8492397.9	2501.8
371	C	RC	2	4	13,971.62	15,060.46	16,377.34	729375.0	8492988.0	2570.7
372	C	RC	1	2	394,129.78	394,129.78	394,129.78	729409.0	8492964.0	2567.1
373	C	RC	3	5	17,091.69	19,238.93	25,506.54	729400.1	8492985.0	2571.2
374	M	NO-RC	1	0	66,824.07	66,824.07	66,824.07	729430.3	8492961.6	2567.0
375	A	NO-RC	2	3	9,216.03	9,611.74	11,253.85	729389.5	8492966.2	2568.0
376	A	NO-RC	2	1	13,884.36	15,050.32	18,038.35	729391.5	8492985.7	2571.4
377	C	RC	1	6	3,024.34	3,275.72	4,093.93	729366.9	8492989.0	2570.7
378	A	NO-RC	1	0	85.85	118.80	275.80	729342.0	8492987.6	2570.1
379	C	RC	1	1	440.23	482.42	786.08	729358.0	8492981.7	2569.6
380	C	RC	1	4	572.42	656.73	1,145.70	729351.3	8492991.2	2570.5
381	C	RC	1	2	1,236.67	1,408.75	2,057.49	729383.2	8492986.9	2571.1
382	A	NO-RC	1	5	748.63	785.02	917.36	729343.0	8492999.2	2571.7
383	C	RC	2	6	-	-	-	729320.2	8492878.6	2562.6
384	C	RC	2	4	511,925.75	511,925.75	511,925.75	729413.3	8492813.6	2549.7
385	C	RC	2	4	38,618.21	42,312.81	52,484.94	729411.2	8492826.2	2551.2
386	C	RC	4	8	95,022.48	108,268.23	147,233.75	729409.2	8492839.2	2553.0
387	A	NO-RC	1	0	29,942.51	29,942.51	29,942.51	729316.7	8492299.0	2490.7
388	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729303.5	8492297.3	2492.3
389	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729279.3	8492297.9	2493.3
390	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729236.6	8492316.8	2495.4
391	A	NO-RC	1	0	7.47	7.89	9.66	729188.0	8492354.0	2496.4
392	A	NO-RC	1	0	-	0.20	3.03	729194.3	8492351.2	2496.4
393	C	RC	2	2	5.62	8.99	20.04	729215.4	8492341.9	2496.4
394	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729200.7	8492345.3	2496.3
395	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729208.0	8492342.5	2496.7
396	C	RC	2	4	322,417.76	322,417.76	322,417.76	729406.9	8492925.2	2562.1
397	C	RC	1	0	3,773.80	3,773.80	3,773.80	729434.5	8492802.0	2553.3
398	C	RC	2	6	14,706.83	14,717.78	14,706.83	729438.7	8492810.3	2553.6
399	C	RC	1	6	1,022.46	1,229.00	857.18	729442.1	8492829.7	2555.4
400	C	RC	3	4	8,418.05	8,122.59	7,035.77	729439.1	8492819.7	2554.7
401	C	RC	1	0	79,057.54	79,057.54	79,057.54	729441.9	8492862.9	2555.6
402	C	RC	1	1	86,995.18	86,277.18	86,759.72	729443.0	8492851.0	2556.7
403	C	RC	1	4	71,650.15	65,053.97	71,650.15	729442.9	8492839.4	2555.1
404	C	RC	1	3	113,239.27	113,239.27	113,239.27	729385.9	8492895.4	2559.2
405	A	NO-RC	1	4	89,256.75	89,256.75	89,256.75	729412.2	8492894.7	2558.8
406	C	RC	2	2	213,635.39	213,635.39	213,635.39	729422.5	8492862.0	2557.1
407	A	NO-RC	1	1	1,808.62	1,980.31	2,475.95	729422.3	8492850.4	2554.8
408	C	RC	1	0	1,999.97	2,165.34	2,960.09	729428.6	8492842.9	2553.7
409	C	RC	2	4	-	-	-	729324.0	8492849.5	2559.4
410	C	RC	1	2	-	-	-	729332.2	8492852.1	2560.3
411	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729313.3	8492806.8	2553.1
412	C	RC	3	15	82,929.74	93,796.94	112,033.23	729365.9	8492806.9	2548.4
413	A	NO-RC	1	7	61,807.42	61,807.42	61,807.42	729360.3	8492842.7	2552.2
414	A	NO-RC	2	2	269,779.55	269,779.55	269,779.55	729366.8	8492831.8	2551.2
415	C	RC	3	5	119,570.47	125,792.56	138,148.01	729326.9	8492092.3	2470.8
416	C	RC	3	4	-	-	-	729407.7	8492155.6	2479.7
417	C	RC	2	4	-	-	-	729391.8	8492138.9	2478.0
418	C	RC	1	4	16,113.46	17,541.02	21,733.51	729396.3	8492811.2	2549.8
419	C	RC	2	2	54,021.41	59,785.81	68,403.50	729386.4	8492809.7	2549.4
420	C	RC	3	0	85,783.98	95,076.52	674,744.99	729376.4	8492808.2	2548.7
421	C	RC	1	2	23,309.68	24,859.59	28,047.13	729388.9	8492824.7	2551.1
422	C	RC	1	2	252,035.76	252,035.76	252,035.76	729381.2	8492844.9	2553.0
423	C	RC	2	3	390,357.93	390,357.93	390,357.93	729387.6	8492834.4	2551.8
424	C	RC	1	0	-	-	-	729316.4	8492841.6	2560.1
425	C	RC	1	2	-	-	-	729287.5	8492788.5	2549.7
426	A	NO-RC	2	2	-	-	-	729314.6	8492795.4	2549.1
427	A	NO-RC	2	7	184,980.11	184,980.11	184,980.11	729441.2	8492874.2	2558.6
428	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729317.1	8492929.9	2572.6
429	M	NO-RC	1	0	2,212.60	2,297.62	2,646.94	729351.7	8492928.8	2563.8
430	C	RC	2	4	229,818.02	229,818.02	229,818.02	729415.4	8492924.7	2561.4
431	C	RC	2	3	10,138.25	13,146.52	506,405.55	729392.8	8492943.0	2565.2
432	C	RC	3	5	28,834.98	32,899.82	47,533.73	729402.8	8492942.4	2564.5
433	C	RC	1	0	37,336.59	40,056.55	49,898.92	729414.7	8492945.1	2564.2
434	C	RC	4	6	1,004,495.48	1,004,495.48	1,004,495.48	729420.2	8492934.7	2562.4
435	C	RC	3	0	138,266.85	145,754.55	160,943.22	729408.8	8492983.4	2568.8
436	C	RC	4	4	66,079.80	74,472.61	104,111.31	729409.1	8493008.4	2570.9
437	A	NO-RC	2	4	775.86	923.65	2,025.46	729343.4	8493016.9	2573.5

438	A	NO-RC	2	8	-	-	-	729234.4	8492582.3	2524.9
439	A	NO-RC	1	3	6,542.89	6,497.69	6,492.67	729455.0	8492617.9	2531.5
440	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729306.8	8492686.5	2535.8
441	C	RC	3	9	454,029.78	454,029.78	454,029.78	729328.3	8492672.7	2531.6
442	C	RC	2	6	26,563.81	23,558.55	26,848.70	729323.3	8492663.9	2530.6
443	C	RC	4	6	106,716.32	108,201.91	103,133.87	729329.4	8492647.7	2528.7
444	C	RC	3	0	115,862.95	106,518.53	115,053.23	729327.7	8492655.7	2529.4
445	C	RC	3	7	128,269.40	129,383.66	130,038.42	729371.1	8492638.2	2530.2
446	C	RC	2	5	236,247.97	236,247.97	236,247.97	729375.2	8492646.5	2530.6
447	C	RC	4	5	8,730.28	8,730.28	8,663.88	729423.3	8492589.3	2526.6
448	C	RC	2	6	6,347.67	6,749.33	7,455.68	729363.1	8492652.9	2531.8
449	A	NO-RC	1	2	243.99	271.84	277.69	729362.6	8492662.9	2532.4
450	C	RC	2	3	51,983.16	54,383.55	57,078.32	729375.1	8492667.2	2533.2
451	C	RC	2	3	52,059.26	56,252.86	58,698.48	729373.9	8492674.6	2534.2
452	C	RC	2	3	33,459.35	36,630.92	36,759.10	729373.1	8492683.3	2535.4
453	C	RC	1	2	5,236.60	5,710.79	4,608.05	729369.5	8492693.3	2536.3
454	C	RC	1	1	32,682.36	125,024.17	125,024.17	729378.6	8492700.7	2537.6
455	C	RC	4	6	104,989.84	108,837.85	112,179.83	729379.0	8492709.2	2538.7
456	C	RC	1	1	10,854.98	10,920.85	11,756.55	729383.5	8492717.9	2539.9
457	C	RC	3	7	547,968.79	547,968.79	547,968.79	729358.4	8492723.9	2538.0
458	C	RC	1	0	12,769.97	12,852.59	12,979.20	729351.3	8492687.9	2534.0
459	C	RC	3	5	74,735.61	76,692.92	73,981.62	729348.6	8492679.5	2532.8
460	C	RC	1	3	40,742.36	40,742.36	40,742.36	729349.5	8492664.9	2531.2
461	C	RC	3	4	458,970.34	458,970.34	458,970.34	729347.1	8492657.9	2529.9
462	C	RC	2	4	219,520.15	219,520.15	219,520.15	729346.8	8492650.1	2529.0
463	A	NO-RC	1	2	18,704.33	18,704.33	18,704.33	729358.8	8492644.2	2530.2
464	C	RC	2	4	61,325.67	64,333.45	59,307.38	729347.3	8492634.3	2527.5
465	C	RC	5	1	100,346.17	99,010.65	1,276,047.64	729370.9	8492775.7	2546.1
466	C	RC	5	0	135,031.80	132,389.25	131,456.37	729388.5	8492782.2	2546.8
467	C	RC	4	5	123,824.73	126,050.28	128,283.95	729349.7	8492776.3	2545.7
468	C	RC	1	0	2,143.30	2,185.08	2,764.62	729329.9	8492773.5	2545.7
469	C	RC	2	3	317,045.32	317,045.32	317,045.32	729342.3	8492749.9	2541.3
470	C	RC	2	3	53,652.27	53,128.73	52,775.31	729340.0	8492741.2	2539.8
471	C	RC	1	1	-	-	-	729306.3	8492670.1	2532.4
472	C	RC	3	4	92,847.90	87,997.16	111,972.34	729327.1	8492712.0	2532.6
473	C	RC	3	2	56,537.10	57,540.25	68,405.94	729334.3	8492719.3	2537.1
474	C	RC	3	5	43,969.19	45,127.73	45,800.95	729330.9	8492728.9	2538.5
475	C	RC	3	2	1,459.25	1,508.36	2,171.77	729320.9	8492722.0	2537.4
476	C	RC	4	5	651,811.07	651,811.07	651,811.07	729400.4	8492575.9	2524.1
477	C	RC	3	11	-	-	-	729277.0	8492687.7	2539.4
478	C	RC	4	8	-	-	-	729277.9	8492681.5	2538.6
479	C	RC	3	4	-	-	-	729290.3	8492675.7	2536.4
480	C	RC	3	4	-	-	-	729279.9	8492669.3	2536.7
481	C	RC	1	0	39.98	38.52	37.90	729441.6	8492785.6	2554.7
482	A	NO-RC	1	4	-	-	-	729287.8	8492664.4	2534.7
483	C	RC	2	2	-	-	-	729299.4	8492762.0	2548.6
484	C	RC	1	2	-	-	-	729291.8	8492758.8	2548.0
485	C	RC	2	3	-	-	-	729282.9	8492761.0	2548.3
486	C	RC	1	2	-	-	-	729274.4	8492760.4	2548.4
487	C	RC	2	6	-	-	-	729268.4	8492727.9	2544.4
488	C	RC	2	5	-	-	-	729281.6	8492720.8	2542.9
489	C	RC	2	0	-	-	-	729276.8	8492733.1	2544.6
490	C	RC	5	7	52,669.03	83,382.63	60,375.67	729413.7	8492568.7	2524.5
491	C	RC	3	3	5,860.91	6,034.04	6,454.35	729411.9	8492587.1	2525.9
492	M	NO-RC	1	0	14.32	14.47	14.39	729445.2	8492570.0	2526.5
493	C	RC	1	5	232,004.62	232,004.62	232,004.62	729523.2	8493500.8	2643.0
494	A	NO-RC	2	5	1,514.48	1,509.68	1,509.68	729433.2	8492584.2	2526.6
495	C	RC	1	3	8,483.85	8,496.00	8,483.85	729448.9	8492586.8	2527.6
496	C	RC	5	7	49,516.91	49,602.74	49,516.91	729437.5	8492565.1	2525.8
497	C	RC	4	4	11,611.11	11,671.22	11,611.11	729426.9	8492572.7	2525.5
498	C	RC	2	3	6,309.56	6,151.15	6,781.80	729417.2	8492580.2	2525.4
499	C	RC	1	0	47,133.73	47,133.73	47,133.73	729404.5	8492582.2	2525.5
500	C	RC	2	1	192,930.98	192,930.98	192,930.98	729407.8	8492588.5	2525.9
501	C	RC	4	6	1,036.46	1,061.43	1,036.46	729439.0	8492545.5	2524.9
502	C	RC	2	3	1,696.34	1,713.62	1,696.34	729433.8	8492526.6	2523.2
503	C	RC	2	3	1,512.89	1,517.35	1,512.89	729439.4	8492532.9	2523.8
504	C	RC	2	3	2,948.66	2,955.11	2,942.21	729432.9	8492509.7	2520.9
505	C	RC	3	7	671,590.42	671,590.42	671,590.42	729329.2	8492564.2	2520.9
506	C	RC	4	10	78,087.43	83,694.82	97,818.75	729340.0	8492580.0	2523.2
507	C	RC	3	5	500,162.13	500,162.13	500,162.13	729366.8	8492583.0	2520.9
508	C	RC	3	3	556,800.54	556,800.54	556,800.54	729358.4	8492581.9	2521.2
509	C	RC	3	4	565,140.55	565,140.55	565,140.55	729349.8	8492579.9	2522.0
510	M	NO-RC	1	4	2,835.28	3,039.23	3,866.77	729330.2	8492573.4	2522.4
511	A	NO-RC	1	3	73,266.71	73,266.71	73,266.71	729337.3	8492540.3	2517.7

512	C	RC	1	5	183,552.48	183,552.48	183,552.48	729331.5	8492552.3	2519.2
513	C	RC	2	2	18,737.81	19,950.99	24,607.71	729318.1	8492579.6	2523.3
514	C	RC	2	2	2,109.80	2,126.85	2,109.80	729408.1	8492320.6	2499.3
515	C	RC	1	2	-	-	-	729406.8	8492333.1	2501.1
516	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729389.3	8492246.8	2489.9
517	C	RC	2	3	2,236.00	2,252.25	2,236.00	729403.3	8492306.1	2497.0
518	C	RC	2	3	14,638.99	17,085.37	27,250.41	729401.2	8492285.4	2494.7
519	C	RC	1	2	12.64	12.64	12.64	729404.4	8492272.8	2493.6
520	C	RC	1	2	1.36	1.36	1.36	729402.5	8492266.3	2493.0
521	A	NO-RC	1	2	1,569.69	1,569.69	1,569.69	729392.8	8492256.5	2490.8
522	A	NO-RC	1	2	55,448.17	55,448.17	55,448.17	729372.4	8492312.1	2492.8
523	A	NO-RC	1	0	32,067.55	32,067.55	32,067.55	729346.5	8492304.6	2489.7
524	C	RC	4	5	-	-	2.01	729262.4	8492569.5	2523.6
525	C	RC	4	5	-	-	-	729266.2	8492570.2	2523.6
526	C	RC	1	0	-	-	-	729269.4	8492570.8	2523.7
527	C	RC	3	2	176.03	287.73	1,171.83	729277.6	8492571.2	2523.7
528	C	RC	3	2	18.93	52.72	614.80	729287.7	8492572.8	2523.6
529	A	NO-RC	2	2	136.42	193.49	674.51	729295.2	8492575.9	2523.8
530	C	RC	2	2	1,546.60	1,928.19	3,288.99	729302.7	8492576.2	2523.4
531	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729257.4	8492568.5	2523.5
532	A	NO-RC	1	2	-	-	0.78	729260.3	8492560.8	2522.5
533	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729262.2	8492555.3	2521.9
534	A	NO-RC	2	2	-	-	-	729280.0	8492558.7	2523.2
535	C	RC	4	2	1,459.94	1,848.09	3,689.39	729291.5	8492562.0	2523.1
536	C	RC	1	1	202.52	260.14	407.16	729305.2	8492569.1	2522.6
537	C	RC	2	2	1,275.34	1,872.37	5,388.31	729307.0	8492563.3	2522.1
538	A	NO-RC	1	0	192.37	248.99	557.67	729307.8	8492558.3	2521.6
539	A	NO-RC	1	0	207.46	268.46	608.75	729312.4	8492553.3	2520.6
540	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729275.7	8492534.7	2518.6
541	A	NO-RC	2	5	-	-	-	729285.5	8492533.8	2519.6
542	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729280.4	8492548.1	2522.3
543	A	NO-RC	1	0	7.81	11.25	64.84	729299.8	8492553.6	2522.4
544	C	RC	3	4	3,302.59	3,522.20	4,472.11	729303.1	8492539.8	2520.4
545	C	RC	2	2	100.55	158.22	383.93	729311.8	8492537.7	2519.8
546	C	RC	3	2	4,286.39	4,978.50	7,517.01	729314.5	8492541.8	2520.0
547	A	NO-RC	2	2	-	-	4.98	729290.6	8492552.0	2522.4
548	A	NO-RC	2	2	56.06	121.54	308.65	729299.8	8492561.6	2522.8
549	C	RC	4	3	-	-	1,988.99	729311.9	8492524.5	2518.9
550	C	RC	3	4	2,016.61	2,275.69	2,983.08	729279.0	8492516.3	2517.3
551	A	NO-RC	1	1	-	0.44	5.30	729288.7	8492519.6	2518.5
552	C	RC	1	2	-	-	8.84	729291.7	8492489.0	2513.7
553	C	RC	3	4	-	-	-	729289.8	8492495.3	2514.5
554	C	RC	3	5	-	-	-	729288.7	8492502.2	2515.5
555	A	NO-RC	1	0	-	0.05	0.33	729293.4	8492461.7	2511.0
556	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729298.6	8492463.9	2511.3
557	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729305.5	8492468.0	2512.0
558	A	NO-RC	1	0	-	-	0.36	729299.1	8492458.2	2510.5
559	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729309.1	8492462.8	2511.3
560	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729313.1	8492465.7	2512.0
561	M	NO-RC	1	0	22.59	27.12	37.92	729304.4	8492447.5	2509.5
562	C	RC	2	4	31.23	64.02	185.72	729298.1	8492452.0	2509.9
563	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729310.4	8492456.3	2510.4
564	A	NO-RC	1	0	-	-	0.37	729316.2	8492456.2	2510.5
565	A	NO-RC	2	3	974.65	1,050.82	1,208.98	729309.1	8492433.9	2508.1
566	A	NO-RC	1	3	30,657.53	30,657.53	30,657.53	729408.1	8492562.2	2523.5
567	M	NO-RC	1	0	1.14	1.22	1.14	729426.4	8492553.3	2524.2
568	C	RC	1	2	46,575.70	46,575.70	46,575.70	729401.3	8492527.8	2516.6
569	C	RC	2	1	6,252.44	7,996.79	13,215.19	729400.7	8492491.9	2513.7
570	C	RC	3	0	25,674.38	28,254.87	35,763.42	729405.3	8492478.4	2510.0
571	C	RC	2	5	56,204.89	59,201.10	67,143.35	729393.1	8492473.4	2508.4
572	C	RC	2	0	68,599.29	70,823.03	77,854.28	729405.4	8492443.4	2505.8
573	C	RC	1	0	8,553.60	9,709.14	12,906.56	729399.7	8492382.0	2507.2
574	C	RC	1	2	6,170.73	6,170.73	6,170.73	729413.9	8492366.8	2506.1
575	C	RC	3	5	-	-	-	729428.6	8492404.6	2509.6
576	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729418.9	8492379.3	2507.5
577	C	RC	3	4	54.87	54.87	54.87	729420.0	8492414.7	2508.8
578	A	NO-RC	1	0	23,203.50	23,203.50	23,203.50	729348.5	8492315.6	2492.7
579	A	NO-RC	1	1	47,980.50	47,980.50	47,980.50	729365.3	8492307.0	2492.0
580	A	NO-RC	1	0	2,216.30	2,394.97	3,054.04	729386.9	8492300.0	2491.1
581	A	NO-RC	1	0	1,762.42	1,885.82	2,338.14	729386.4	8492291.6	2491.3
582	A	NO-RC	2	0	172,613.58	172,613.58	172,613.58	729330.4	8492268.7	2485.4
583	A	NO-RC	2	0	249,943.45	249,943.45	249,943.45	729345.5	8492262.3	2484.9
584	A	NO-RC	1	0	1,519.43	1,592.73	1,904.01	729362.8	8492256.7	2484.7
585	A	NO-RC	1	0	2,019.83	2,327.34	3,412.29	729367.3	8492268.2	2487.2

586	A	NO-RC	2	0	152,419.91	152,419.91	152,419.91	729334.7	8492279.5	2486.2
587	A	NO-RC	2	0	134,224.30	134,224.30	134,224.30	729337.2	8492287.7	2487.4
588	A	NO-RC	1	0	6,433.16	6,683.17	7,573.87	729370.6	8492283.7	2490.7
589	C	RC	4	5	-	-	-	729292.0	8492259.2	2487.9
590	C	RC	1	4	55,374.63	55,374.63	55,374.63	729302.1	8492260.6	2487.6
591	C	RC	4	5	755,039.40	755,039.40	755,039.40	729299.9	8492247.9	2483.9
592	C	RC	4	7	-	-	13.44	729263.0	8492248.7	2486.8
593	C	RC	1	8	-	-	-	729254.7	8492260.3	2487.9
594	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729266.2	8492265.8	2488.2
595	C	RC	2	2	1,048.24	1,086.03	1,155.16	729186.5	8492291.9	2488.7
596	C	RC	2	2	-	-	-	729181.8	8492294.0	2489.2
597	C	RC	3	10	9,289.34	13,524.33	25,081.83	729189.0	8492329.1	2494.2
598	A	NO-RC	1	0	-	20.59	64.53	729289.5	8492302.8	2494.5
599	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729300.4	8492310.9	2494.3
600	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729266.7	8492295.5	2493.7
601	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729266.5	8492272.3	2489.6
602	C	RC	2	2	-	-	-	729194.5	8492288.1	2488.8
603	C	RC	2	2	188.31	359.80	389.45	729199.6	8492285.2	2488.9
604	C	RC	2	2	-	-	-	729209.0	8492282.8	2489.2
605	A	NO-RC	2	2	24.83	25.85	28.96	729218.0	8492277.0	2488.5
606	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729224.8	8492291.7	2489.5
607	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729201.2	8492312.9	2492.4
608	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729212.3	8492307.7	2491.8
609	C	RC	2	2	1,119.63	1,175.88	1,440.48	729174.0	8492298.2	2489.5
610	C	RC	2	2	-	-	-	729177.8	8492296.3	2489.5
611	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729182.8	8492321.6	2492.9
612	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729180.5	8492315.7	2492.2
613	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729178.0	8492310.2	2491.0
614	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729190.5	8492319.1	2493.5
615	A	NO-RC	2	6	-	2,214.31	4,614.44	729253.0	8492532.5	2519.3
616	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729233.1	8492565.3	2524.2
617	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729243.0	8492566.9	2523.1
618	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729245.6	8492557.4	2522.0
619	C	RC	1	4	-	-	-	729248.8	8492546.6	2520.6
620	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729190.8	8492467.5	2510.1
621	C	RC	2	1	-	-	-	729228.2	8492490.7	2513.5
622	C	RC	2	1	-	-	-	729228.0	8492501.0	2515.0
623	A	NO-RC	2	1	-	-	-	729188.4	8492493.5	2514.2
624	A	NO-RC	1	4	-	-	-	729185.8	8492479.0	2511.6
625	C	RC	4	5	7,645.38	7,868.84	8,890.40	729231.1	8492468.4	2510.4
626	C	RC	4	12	-	-	-	729219.2	8492467.8	2511.0
627	A	NO-RC	2	1	-	-	-	729209.9	8492467.2	2511.2
628	C	RC	2	8	-	-	1,254.08	729256.7	8492519.1	2517.1
629	C	RC	2	3	33.24	290.87	2,048.22	729258.8	8492511.8	2516.2
630	A	NO-RC	2	3	2,399.56	2,421.80	2,522.73	729261.7	8492503.3	2515.1
631	A	NO-RC	2	5	1,887.09	1,922.18	2,551.18	729264.5	8492494.4	2513.9
632	C	RC	3	5	7,731.85	7,899.13	8,513.80	729265.9	8492488.3	2513.2
633	C	RC	3	5	1,843.81	1,966.75	2,404.77	729267.8	8492482.6	2512.5
634	C	RC	2	2	6,164.49	6,527.31	7,597.66	729271.3	8492471.1	2511.1
635	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729266.3	8492415.2	2505.1
636	C	RC	2	3	-	-	-	729494.1	8493344.0	2628.0
637	C	RC	1	0	-	-	-	729491.7	8493339.8	2627.2
638	C	RC	1	4	-	-	-	729489.4	8493335.7	2626.9
639	C	RC	2	3	-	-	-	729503.7	8493354.7	2633.3
640	C	RC	3	3	4.57	5.79	11.60	729282.6	8492405.7	2504.7
641	C	RC	2	2	6.25	9.05	16.88	729294.8	8492365.3	2500.4
642	C	RC	2	2	840.65	851.80	896.92	729286.8	8492363.5	2500.6
643	C	RC	3	8	2,712.52	2,791.74	2,851.68	729269.4	8492367.2	2500.1
644	C	RC	2	4	1,364.81	1,384.42	1,418.95	729264.7	8492347.3	2497.5
645	M	NO-RC	1	0	0.54	0.61	0.86	729265.1	8492354.3	2498.0
646	A	NO-RC	1	0	406.15	441.91	578.32	729203.1	8492368.3	2498.6
647	C	RC	4	5	8,862.14	9,510.10	11,940.63	729212.6	8492365.4	2498.9
648	A	NO-RC	2	2	913.38	987.54	1,287.77	729194.1	8492374.6	2498.9
649	A	NO-RC	1	2	564.34	1,532.85	1,567.26	729223.5	8492363.7	2500.0
650	C	RC	1	6	-	-	-	729642.3	8494304.8	2774.7
651	A	NO-RC	1	0	3,333.11	3,455.76	3,926.83	729712.9	8494276.3	2769.0
652	A	NO-RC	1	3	1,608.10	1,695.70	2,365.51	729710.8	8494269.2	2768.2
653	C	RC	1	0	4,447.60	5,161.24	7,196.45	729702.8	8494228.6	2766.9
654	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729656.0	8494258.9	2770.8
655	C	RC	1	0	-	-	-	729638.0	8494247.1	2760.7
656	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729275.3	8493122.0	2606.0
657	A	NO-RC	2	13	26,190.61	28,321.79	31,103.02	729472.5	8493359.4	2621.7
658	C	RC	2	3	-	2,203.53	9,674.28	729234.6	8492370.4	2499.2
659	C	RC	2	10	1,109.10	1,147.59	1,326.33	729246.8	8492369.9	2499.5

660	C	RC	2	4	714.71	785.49	963.38	729246.5	8492354.9	2498.0
661	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729234.1	8492355.6	2498.6
662	A	NO-RC	2	4	-	-	-	729140.8	8492304.2	2490.2
663	C	RC	3	5	-	-	-	729119.8	8492242.7	2483.8
664	C	RC	2	2	99.59	134.65	283.56	729120.4	8492233.6	2483.9
665	C	RC	1	2	-	-	-	729096.7	8492208.6	2479.1
666	A	NO-RC	1	2	56.57	75.51	102.35	729107.2	8492216.1	2479.8
667	A	NO-RC	1	3	554.98	694.59	955.76	729817.1	8493990.3	2737.6
668	C	RC	1	2	4,454.25	5,143.90	7,777.28	729868.4	8493935.4	2725.6
669	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729665.6	8493980.7	2720.5
670	A	NO-RC	1	1	533.61	526.34	557.09	729626.6	8493851.2	2689.4
671	A	NO-RC	1	5	4,536.24	4,771.92	5,393.46	729546.3	8493858.9	2674.6
672	A	NO-RC	1	2	2,924.41	3,182.00	3,817.83	729550.9	8493868.6	2676.6
673	C	RC	1	4	1,157.74	1,042.29	664.66	729572.8	8493836.1	2677.0
674	A	NO-RC	1	1	2,145.04	2,313.51	2,768.59	729556.5	8493836.3	2674.9
675	C	RC	1	4	11,308.87	11,742.91	12,861.21	729538.5	8493846.5	2674.4
676	A	NO-RC	2	4	929.66	942.03	1,153.94	729578.5	8493841.7	2678.1
677	C	RC	2	3	53,376.04	57,488.41	68,522.68	729486.1	8493720.8	2664.8
678	C	RC	2	3	261,296.28	261,296.28	261,296.28	729507.3	8493715.3	2664.0
679	A	NO-RC	1	0	32,838.58	32,838.58	32,838.58	729498.6	8493697.7	2662.8
680	A	NO-RC	1	0	22,317.37	22,317.37	22,317.37	729510.6	8493700.8	2662.7
681	C	RC	2	0	12,990.49	15,463.57	22,892.78	729487.4	8493670.3	2662.6
682	C	RC	2	3	271,257.65	271,257.65	271,257.65	729529.8	8493513.9	2645.6
683	C	RC	2	2	208,853.42	208,853.42	208,853.42	729544.8	8493494.3	2644.7
684	C	RC	3	2	20,574.12	22,335.74	28,281.23	729366.1	8493015.9	2573.4
685	C	RC	2	6	-	-	-	729341.4	8492928.8	2564.8
686	C	RC	3	6	-	-	-	729288.1	8492827.5	2556.8
687	A	NO-RC	1	2	3,860.32	4,686.80	6,222.28	729368.3	8492881.8	2558.7
688	A	NO-RC	1	1	1,915.72	1,930.34	1,962.61	729239.9	8491961.1	2457.9
689	C	RC	3	6	73,240.44	68,114.66	82,153.98	729332.1	8492701.5	2534.8
690	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729308.2	8492700.5	2536.3
691	C	RC	4	7	-	-	-	729253.9	8492669.0	2538.0
692	C	RC	1	3	-	-	-	729253.3	8492658.1	2536.8
693	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729266.4	8492651.0	2536.2
694	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729250.9	8492648.6	2534.5
695	C	RC	5	10	-	-	-	729283.6	8492654.3	2533.6
696	C	RC	2	5	-	-	-	729272.3	8492700.3	2541.5
697	C	RC	2	2	-	-	-	729288.3	8492705.8	2541.6
698	C	RC	2	3	21,998.22	21,150.19	24,778.42	729327.5	8492693.0	2534.0
699	A	NO-RC	2	10	-	-	-	729149.2	8492352.8	2498.7
700	C	RC	2	2	-	-	-	729148.4	8492335.9	2495.0
701	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729149.1	8492344.6	2498.1
702	C	RC	3	5	-	-	-	729152.0	8492314.2	2493.1
703	C	RC	5	66	-	-	-	729141.9	8492321.6	2493.8
704	C	RC	2	10	-	-	-	729165.9	8492372.2	2499.1
705	A	NO-RC	2	2	956.17	1,031.58	1,331.45	729173.8	8492371.7	2498.8
706	A	NO-RC	2	7	129.97	154.79	255.92	729168.3	8492353.6	2497.8
707	A	NO-RC	2	0	587.04	659.76	915.65	729164.7	8492320.6	2492.5
708	C	RC	3	12	868.32	996.00	1,503.48	729162.8	8492309.0	2490.8
709	C	RC	1	3	-	-	-	729151.1	8492369.6	2502.0
710	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729149.8	8492360.5	2500.2
711	C	RC	1	2	-	-	-	729144.3	8492378.9	2502.3
712	C	RC	3	5	-	-	-	729159.8	8492378.4	2500.6
713	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729152.7	8492378.6	2501.5
714	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729175.3	8492423.4	2503.3
715	A	NO-RC	1	5	-	-	-	729173.4	8492432.9	2504.7
716	A	NO-RC	1	0	16,639.09	16,639.09	16,639.09	729923.2	8494440.0	2818.0
717	A	NO-RC	1	5	-	-	-	729161.1	8492431.5	2506.4
718	A	NO-RC	1	4	-	-	-	729171.7	8492442.3	2506.3
719	A	NO-RC	2	1	-	-	-	729214.5	8492511.7	2517.5
720	C	RC	2	5	-	-	-	729240.5	8492490.3	2513.7
721	A	NO-RC	2	1	-	-	-	729188.3	8492452.0	2509.2
722	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729197.9	8492451.4	2508.9
723	C	RC	1	0	-	-	-	729998.3	8494346.9	2810.6
724	C	RC	1	0	-	-	-	730000.2	8494337.2	2808.7
725	C	RC	2	1	-	-	-	729995.7	8494319.2	2805.7
726	C	RC	3	3	-	-	-	729985.9	8494309.2	2801.4
727	C	RC	2	4	-	-	-	730008.9	8494296.8	2802.9
728	C	RC	1	0	-	-	-	729996.6	8494302.6	2803.5
729	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729204.7	8492453.7	2509.1
730	C	RC	2	10	-	-	-	729649.6	8494297.3	2774.0
731	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729211.2	8492453.0	2509.6
732	A	NO-RC	2	2	-	-	-	729695.8	8494266.0	2770.7
733	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729213.4	8492447.1	2509.8

734	M	NO-RC	1	0	12.03	12.47	14.03	729219.5	8492453.9	2508.5
735	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729215.7	8492455.5	2509.6
736	C	RC	2	3	-	-	-	729187.4	8492443.1	2506.4
737	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729195.3	8492441.0	2507.3
738	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729204.3	8492440.1	2509.0
739	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729205.9	8492444.6	2509.3
740	C	RC	1	3	-	-	-	729216.2	8492439.5	2509.1
741	C	RC	3	2	-	-	-	729190.7	8492433.3	2505.1
742	C	RC	2	2	-	-	-	729202.8	8492434.5	2507.6
743	C	RC	2	2	-	-	-	729204.3	8492429.7	2506.8
744	C	RC	1	0	-	-	-	729211.9	8492432.0	2507.8
745	C	RC	1	4	91.16	98.04	119.71	729221.6	8492433.3	2507.0
746	M	NO-RC	1	2	-	-	-	729198.4	8492423.3	2505.2
747	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729194.1	8492412.7	2505.4
748	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729204.0	8492412.7	2504.9
749	A	NO-RC	2	0	-	-	-	729192.7	8492396.0	2501.1
750	C	RC	3	4	-	-	-	729191.4	8492391.1	2500.2
751	C	RC	1	0	-	-	-	729233.0	8492395.5	2501.4
752	C	RC	1	3	692.53	721.12	813.52	729238.1	8492416.4	2505.8
753	C	RC	3	2	-	-	-	729263.7	8492391.4	2503.5
754	C	RC	3	5	16.03	84.31	193.49	729268.6	8492388.8	2501.9
755	C	RC	4	6	522.28	4,672.58	4,710.78	729274.2	8492388.4	2501.6
756	C	RC	4	6	22.35	26.28	44.08	729280.3	8492388.2	2501.5
757	C	RC	4	11	-	-	-	729273.6	8492398.6	2503.7
758	C	RC	1	0	-	-	-	729302.6	8492398.9	2503.3
759	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729258.5	8492388.4	2502.7
760	A	NO-RC	1	1	33.29	34.37	37.47	729223.8	8492339.4	2496.2
761	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729222.7	8492334.4	2496.7
762	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729221.8	8492330.3	2496.4
763	C	RC	2	2	-	-	-	729214.6	8492336.3	2496.4
764	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729221.8	8492325.3	2494.9
765	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729214.0	8492329.0	2495.2
766	A	NO-RC	1	0	2.61	3.07	4.59	729228.7	8492331.6	2496.8
767	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729234.5	8492333.7	2497.5
768	A	NO-RC	2	1	-	-	-	729202.0	8492493.9	2514.4
769	A	NO-RC	2	1	-	-	-	729212.9	8492494.5	2514.6
770	C	RC	4	5	-	-	-	729221.2	8492479.3	2511.4
771	C	RC	2	3	6,730.43	10,114.61	16,262.11	729361.3	8492182.6	2479.4
772	A	NO-RC	2	5	2.03	2.03	2.03	729378.6	8492181.9	2482.9
773	A	NO-RC	1	3	515.57	595.26	1,335.83	729367.1	8492201.6	2481.8
774	C	RC	2	8	2,919.24	5,391.04	11,065.07	729365.7	8492191.2	2481.1
775	A	NO-RC	1	8	-	-	-	729382.8	8492198.7	2484.3
776	C	RC	1	0	4.99	4.99	4.99	729368.5	8492166.2	2480.1
777	A	NO-RC	1	4	-	-	-	729370.6	8492151.3	2479.1
778	C	RC	2	3	-	-	-	729372.4	8492159.9	2480.2
779	C	RC	2	2	9,897.54	11,779.74	14,904.70	729341.2	8492137.4	2473.4
780	C	RC	2	5	-	-	-	729361.3	8492132.5	2475.3
781	A	NO-RC	2	4	-	-	-	729369.9	8492143.0	2477.9
782	C	RC	5	10	43,801.68	48,731.99	62,887.66	729343.2	8492117.9	2472.6
783	A	NO-RC	2	5	-	-	-	729367.3	8492121.9	2474.9
784	A	NO-RC	2	4	26,961.53	28,422.79	31,297.70	729324.0	8492075.1	2469.2
785	C	RC	1	0	43,257.01	43,257.01	43,257.01	729305.5	8492074.7	2468.7
786	C	RC	3	5	-	-	17.92	729315.2	8492079.1	2469.3
787	C	RC	1	2	7,022.42	8,986.75	11,818.36	729282.3	8492071.5	2467.8
788	C	RC	2	4	19,409.13	20,561.37	24,114.76	729292.1	8492093.7	2469.2
789	A	NO-RC	1	5	7,304.40	8,305.95	10,264.02	729304.5	8492139.0	2473.5
790	C	RC	2	5	254,728.56	254,728.56	254,728.56	729354.8	8492227.8	2483.8
791	C	RC	4	9	818,563.88	818,563.88	818,563.88	729318.0	8492206.5	2480.1
792	A	NO-RC	2	7	29,730.92	33,875.24	177,912.90	729270.8	8492073.4	2465.6
793	A	NO-RC	1	3	5,312.65	6,749.95	8,640.43	729272.1	8492104.0	2469.0
794	C	RC	4	4	100,416.32	111,378.37	140,361.46	729269.8	8492088.8	2467.8
795	A	NO-RC	1	3	2,186.23	2,418.56	3,124.36	729283.4	8492083.3	2468.4
796	C	RC	1	2	12,661.42	13,244.86	15,011.84	729285.8	8492109.0	2469.3
797	C	RC	1	4	2,295.85	2,510.14	3,133.78	729281.4	8492098.5	2468.9
798	A	NO-RC	1	0	1,916.13	2,123.27	2,739.82	729288.3	8492120.4	2470.0
799	C	RC	4	2	25,571.34	26,554.88	40,886.22	729300.6	8492117.6	2470.9
800	A	NO-RC	1	2	187.17	229.99	388.54	729293.0	8492133.4	2471.4
801	A	NO-RC	1	2	3,190.42	3,434.74	4,620.90	729303.3	8492127.3	2471.6
802	C	RC	2	5	250,287.55	250,287.55	250,287.55	729327.3	8492154.9	2474.8
803	C	RC	2	2	32,734.91	34,248.08	41,006.92	729358.4	8492246.1	2484.5
804	A	NO-RC	1	0	808.26	846.50	1,039.74	729349.3	8492238.5	2484.0
805	C	RC	1	3	249,690.32	249,690.32	249,690.32	729335.1	8492239.0	2483.4
806	C	RC	2	1	125,821.56	431,647.74	431,647.74	729339.8	8492250.8	2484.1
807	C	RC	4	5	106,605.79	112,477.45	124,159.04	729322.1	8492105.1	2471.4

808	C	RC	1	1	2,671.27	2,802.59	3,339.67	729322.7	8492115.9	2471.9
809	C	RC	3	2	15,461.55	19,220.24	26,315.24	729349.6	8492143.0	2475.0
810	C	RC	4	3	16,256.39	21,697.13	29,565.07	729352.0	8492154.9	2476.7
811	C	RC	2	2	559.64	1,610.84	3,904.22	729354.4	8492162.9	2477.2
812	C	RC	2	3	7,647.96	258,635.60	258,635.60	729360.0	8492174.9	2478.0
813	A	NO-RC	1	2	88.08	173.37	449.62	729376.9	8492209.3	2484.2
814	C	RC	5	7	17,444.49	22,033.17	34,925.33	729379.0	8492219.4	2485.0
815	A	NO-RC	2	4	325,709.55	325,709.55	325,709.55	729248.0	8492034.6	2460.3
816	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729243.2	8491995.3	2460.6
817	C	RC	5	5	1,328,401.79	1,328,401.79	1,328,401.79	729187.4	8491971.8	2452.9
818	C	RC	4	6	925,824.11	925,824.11	925,824.11	729175.6	8491965.7	2451.1
819	A	NO-RC	2	2	187,145.46	187,145.46	187,145.46	729175.1	8491952.0	2450.1
820	C	RC	4	11	874,440.16	874,440.16	874,440.16	729159.0	8491951.6	2448.9
821	A	NO-RC	1	2	4,425.45	4,986.71	5,221.47	729145.9	8491936.3	2446.8
822	A	NO-RC	1	2	98,353.16	98,353.16	98,353.16	729155.6	8491940.1	2447.8
823	C	RC	3	4	442,176.28	442,176.28	442,176.28	729153.5	8491927.9	2446.4
824	C	RC	2	4	188,410.90	188,410.90	188,410.90	729138.2	8491931.3	2445.8
825	C	RC	3	3	396,743.96	396,743.96	396,743.96	729135.6	8491926.5	2444.5
826	A	NO-RC	2	4	192,917.90	192,917.90	192,917.90	729133.7	8491919.8	2443.9
827	A	NO-RC	1	2	55,265.15	55,265.15	55,265.15	729128.4	8491912.8	2443.0
828	C	RC	3	2	117,659.20	130,105.17	131,402.18	729117.3	8491910.9	2442.4
829	C	RC	3	2	578,526.37	578,526.37	578,526.37	729118.5	8491901.6	2443.6
830	C	RC	3	2	400,130.21	400,130.21	400,130.21	729107.0	8491901.2	2441.1
831	C	RC	3	3	313,206.81	313,206.81	313,206.81	729110.9	8491893.2	2441.1
832	C	RC	3	2	426,381.56	426,381.56	426,381.56	729099.6	8491894.0	2440.4
833	C	RC	4	3	467,608.36	467,608.36	467,608.36	729093.3	8491888.9	2439.0
834	C	RC	3	2	364,033.96	364,033.96	364,033.96	729100.7	8491880.9	2440.7
835	C	RC	2	1	157,261.93	157,261.93	157,261.93	729106.7	8491885.1	2442.9
836	C	RC	2	1	125,826.64	159,870.12	159,870.12	729111.0	8491885.6	2443.1
837	C	RC	2	1	165,430.73	165,430.73	165,430.73	729115.1	8491888.2	2443.7
838	C	RC	2	1	-	-	-	729118.7	8491889.2	2444.4
839	C	RC	2	1	208,969.08	208,969.08	208,969.08	729118.7	8491893.6	2438.8
840	C	RC	3	2	310,647.39	310,647.39	310,647.39	729096.7	8491885.3	2438.9
841	C	RC	4	6	634,692.30	634,692.30	634,692.30	729105.1	8491875.6	2443.0
842	A	NO-RC	4	5	37,059.25	40,065.00	36,265.68	729101.5	8491868.9	2441.9
843	A	NO-RC	1	3	1,873.58	2,408.21	1,777.86	729102.1	8491858.8	2444.4
844	C	RC	4	4	92,349.18	97,008.44	114,831.81	729116.7	8491850.9	2443.5
845	C	RC	4	5	343,148.35	344,019.40	337,754.65	729129.2	8491885.2	2442.7
846	C	RC	3	2	448,257.40	448,257.40	448,257.40	729044.3	8491834.0	2432.0
847	C	RC	3	3	177,682.13	194,434.61	195,919.78	729062.5	8491852.9	2435.6
848	C	RC	4	4	263,364.01	285,397.06	285,804.47	729056.7	8491845.2	2434.4
849	C	RC	2	6	91,766.26	98,183.58	98,070.35	729050.7	8491841.0	2433.3
850	A	NO-RC	2	2	150,547.74	150,547.74	150,547.74	729057.3	8491821.4	2430.9
851	A	NO-RC	2	2	1,466.23	1,557.25	1,703.44	729062.8	8491807.4	2433.9
852	A	NO-RC	2	5	-	-	-	729065.8	8491775.3	2433.1
853	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729061.7	8491789.8	2433.5
854	A	NO-RC	2	1	-	-	-	729058.6	8491780.8	2432.8
855	C	RC	2	5	-	-	-	729056.2	8491774.6	2432.6
856	A	NO-RC	2	3	-	10.81	466.54	729091.3	8491795.5	2437.0
857	C	RC	4	2	8.56	170.30	1,492.24	729094.6	8491801.2	2437.8
858	A	NO-RC	1	0	10.12	29.78	190.03	729097.8	8491807.9	2439.5
859	C	RC	2	2	-	-	38.40	729105.3	8491816.2	2440.4
860	C	RC	3	4	494.10	1,357.85	1,792.95	729108.0	8491823.9	2441.5
861	A	NO-RC	2	3	-	393.75	880.15	729111.3	8491834.0	2442.7
862	C	RC	4	10	696.76	2,129.46	6,098.30	729101.1	8491836.0	2442.0
863	A	NO-RC	2	2	10.64	52.04	113.49	729091.2	8491835.9	2440.4
864	A	NO-RC	1	5	-	-	6.37	729083.7	8491838.1	2439.3
865	C	RC	1	1	-	-	-	729036.0	8491756.5	2432.0
866	C	RC	1	4	434,548.29	434,548.29	434,548.29	729012.0	8491786.7	2427.0
867	A	NO-RC	1	1	21,957.03	21,957.03	21,957.03	729037.1	8491810.6	2430.2
868	A	NO-RC	1	0	20,215.34	20,215.34	20,215.34	729300.2	8492060.6	2468.1
869	C	RC	2	3	22,471.04	22,422.59	22,422.59	729298.5	8492053.1	2467.2
870	A	NO-RC	2	3	547.32	645.93	953.89	729302.2	8492041.2	2466.4
871	A	NO-RC	2	1	12,626.37	12,891.42	13,764.11	729295.8	8492028.0	2465.3
872	A	NO-RC	2	3	3,468.11	3,540.50	3,789.16	729289.9	8492016.8	2464.8
873	A	NO-RC	1	2	57,084.54	57,084.54	57,084.54	729292.6	8492005.9	2463.6
874	C	RC	2	7	282,928.09	282,928.09	282,928.09	729289.1	8491995.9	2462.4
875	A	NO-RC	2	3	5,498.52	5,268.69	5,725.32	729270.4	8491992.7	2461.4
876	C	RC	3	5	23,895.92	22,245.63	24,658.20	729266.9	8491979.2	2459.8
877	C	RC	4	5	12,845.04	12,455.27	14,580.56	729254.9	8491972.6	2458.6
878	A	NO-RC	1	2	14,471.41	15,858.59	17,686.93	729223.6	8491972.9	2455.4
879	C	RC	1	0	4,044.98	4,079.61	4,215.18	729266.7	8492023.6	2462.6
880	A	NO-RC	1	0	283.86	299.69	345.42	729259.8	8491991.5	2460.5
881	A	NO-RC	2	3	4,203.68	4,630.48	6,279.80	729272.1	8492003.6	2462.2

882	A	NO-RC	2	6	387,968.86	387,968.86	387,968.86	729240.1	8492009.3	2458.3
883	C	RC	1	5	101,607.10	101,607.10	101,607.10	729272.5	8492041.0	2464.4
884	C	RC	2	4	14,195.19	18,145.18	22,728.32	729267.9	8492031.5	2463.3
885	C	RC	3	3	54,027.88	61,989.20	74,505.10	729277.1	8492051.2	2465.1
886	A	NO-RC	1	2	2,710.79	2,748.02	3,510.08	729281.9	8492060.2	2466.8
887	A	NO-RC	2	5	-	-	-	729518.1	8493900.3	2690.0
888	C	RC	1	1	-	-	-	729674.6	8493906.3	2709.2
889	A	NO-RC	1	5	-	-	-	729651.2	8493960.2	2720.1
890	C	RC	1	0	-	-	-	729559.5	8493979.2	2697.9
891	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729539.3	8493958.2	2699.2
892	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729534.7	8493948.7	2698.9
893	C	RC	1	5	-	-	-	729540.9	8493949.0	2696.9
894	M	NO-RC	1	3	-	-	-	729503.8	8493924.2	2700.1
895	C	RC	1	2	55,747.59	55,747.59	55,747.59	729589.3	8493597.3	2658.9
896	C	RC	1	3	50,804.01	50,804.01	50,804.01	729592.9	8493586.3	2660.0
897	C	RC	1	0	46,869.12	46,869.12	46,869.12	729598.1	8493572.3	2660.3
898	C	RC	1	0	2.64	85.11	339.82	729590.3	8493576.1	2659.8
899	A	NO-RC	2	5	8,347.39	7,559.33	7,232.28	729506.2	8492707.1	2546.0
900	C	RC	1	3	37,741.70	37,741.70	37,741.70	729652.9	8493725.1	2670.4
901	C	RC	1	0	28,945.17	28,945.17	28,945.17	729782.0	8493719.8	2691.2
902	C	RC	1	0	41,176.66	41,176.66	41,176.66	729793.5	8493736.0	2693.8
903	M	NO-RC	1	0	14,379.94	14,379.94	14,379.94	729687.4	8493773.0	2680.1
904	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729660.4	8493957.0	2721.6
905	C	RC	1	2	-	-	-	729648.2	8493940.2	2716.2
906	C	RC	1	4	-	-	-	729666.5	8493922.2	2712.7
907	C	RC	1	3	-	-	-	729658.2	8493905.5	2709.2
908	C	RC	1	4	-	-	-	729644.7	8493886.3	2703.4
909	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729620.4	8493862.9	2691.4
910	M	NO-RC	1	7	546.85	543.02	611.66	729613.5	8493839.4	2684.2
911	C	RC	1	4	5.56	4.59	7.41	729611.8	8493851.1	2686.0
912	C	RC	1	2	2,872.56	2,819.35	2,940.52	729580.5	8493814.0	2677.5
913	A	NO-RC	2	2	4.17	12.11	56.20	729565.6	8493846.9	2676.4
914	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729568.6	8493853.5	2677.8
915	A	NO-RC	1	0	454.49	574.86	961.92	729568.4	8493858.3	2677.1
916	C	RC	2	0	-	-	-	729466.5	8493666.6	2667.4
917	C	RC	2	7	-	-	-	729484.8	8493628.3	2665.0
918	C	RC	2	3	-	-	-	729514.1	8493560.6	2653.3
919	C	RC	2	6	-	-	-	729504.6	8493562.1	2655.9
920	A	NO-RC	2	3	2,730.54	2,878.06	3,356.52	729275.5	8492457.1	2510.3
921	C	RC	1	3	199.00	237.68	321.92	729278.3	8492447.8	2509.7
922	C	RC	3	3	1,433.30	1,642.98	2,169.45	729280.9	8492440.4	2509.4
923	A	NO-RC	2	5	859.19	898.23	984.86	729286.3	8492433.9	2508.8
924	C	RC	2	5	256.03	300.29	500.38	729237.4	8492434.7	2506.1
925	C	RC	2	5	319.52	336.90	363.58	729293.4	8492412.7	2505.9
926	C	RC	2	5	-	-	-	729278.2	8492421.1	2507.4
927	C	RC	2	3	-	-	-	729268.6	8492426.2	2507.8
928	C	RC	2	2	-	-	-	729261.5	8492429.6	2507.0
929	C	RC	2	2	1,261.99	1,300.70	1,364.45	729253.8	8492432.0	2506.2
930	C	RC	2	0	3,313.22	3,407.50	3,737.47	729245.9	8492433.8	2506.2
931	C	RC	3	5	369.13	387.74	440.51	729289.4	8492389.6	2501.8
932	C	RC	1	2	151.92	154.67	161.13	729297.2	8492388.9	2502.1
933	C	RC	1	5	1,392.07	1,400.41	1,417.12	729305.5	8492387.6	2502.0
934	A	NO-RC	1	4	249.57	267.75	368.50	729167.1	8492336.3	2496.0
935	C	RC	3	0	40,891.90	38,294.22	38,506.72	729492.0	8493449.1	2632.2
936	C	RC	2	4	27,730.19	30,236.93	39,505.74	729715.0	8494252.1	2767.5
937	C	RC	1	5	50,203.73	50,203.73	50,203.73	729152.3	8491904.9	2445.9
938	C	RC	1	5	683.79	1,242.86	13,659.62	729851.6	8493902.0	2718.4
939	C	RC	1	0	17,209.60	17,209.60	17,209.60	729833.8	8493848.0	2707.9
940	C	RC	1	0	3,495.49	4,816.02	17,916.58	729832.3	8493845.0	2707.3
941	C	RC	1	0	-	-	1.95	729782.2	8493902.9	2715.8
942	C	RC	2	4	5,511.29	5,806.58	7,073.76	729775.1	8493907.1	2716.4
943	C	RC	2	0	263.59	650.08	1,993.58	729779.9	8493894.5	2713.4
944	C	RC	1	0	-	1.28	28.08	729772.0	8493899.3	2713.3
945	C	RC	1	0	-	-	0.54	729760.2	8493902.0	2711.2
946	C	RC	1	0	61.38	80.44	151.03	729749.3	8493761.2	2691.6
947	C	RC	1	1	39,861.11	39,861.11	39,861.11	729738.4	8493892.1	2702.4
948	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729728.8	8493909.9	2708.4
949	C	RC	1	0	234.35	412.65	1,660.50	729778.8	8493853.2	2707.2
950	A	NO-RC	1	0	19,118.67	19,118.67	19,118.67	729814.8	8493769.2	2699.6
951	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729660.4	8493962.2	2721.1
952	C	RC	1	0	15,435.07	14,284.85	14,678.09	729594.8	8493828.1	2679.6
953	A	NO-RC	1	0	452.09	468.99	585.35	729568.5	8493793.2	2674.7
954	C	RC	1	0	2,082.92	2,568.05	3,429.77	729490.1	8493733.5	2665.3
955	C	RC	1	0	701.51	706.49	736.62	729510.8	8493598.8	2657.0

956	C	RC	1	5	-	-	-	729510.1	8493576.3	2656.2
957	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729461.8	8493543.4	2654.4
958	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729464.3	8493535.9	2654.0
959	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729458.1	8493526.6	2653.5
960	C	RC	2	3	-	-	-	729456.2	8493518.5	2650.8
961	C	RC	2	4	-	-	-	729453.6	8493508.9	2647.4
962	C	RC	2	3	582,167.72	582,167.72	582,167.72	729590.3	8493543.5	2657.8
963	C	RC	1	0	40.59	40.59	40.59	729964.3	8494115.7	2768.0
964	C	RC	3	2	96.72	96.72	723.47	729972.8	8494206.2	2785.8
965	A	NO-RC	1	4	484.36	513.12	749.77	729962.2	8494206.3	2782.7
966	C	RC	2	1	359,058.07	359,058.07	359,058.07	729853.8	8494298.2	2789.9
967	C	RC	1	5	28.22	35.39	78.90	729819.4	8494153.2	2767.0
968	C	RC	1	0	10,845.02	12,655.64	18,430.86	729860.8	8494148.9	2767.3
969	C	RC	1	8	850.72	905.38	2,075.01	729841.7	8494148.9	2767.5
970	C	RC	2	3	2,106.81	2,823.26	16,032.67	729836.8	8494133.8	2763.3
971	C	RC	2	5	2,459.73	4,334.76	35,116.38	729823.5	8494120.3	2758.5
972	C	RC	1	4	932.49	1,120.27	1,802.42	729817.1	8494109.4	2757.2
973	C	RC	2	3	2,613.32	3,529.66	16,115.42	729848.8	8494106.1	2757.3
974	A	NO-RC	2	6	5,766.14	7,947.29	15,234.12	729847.8	8494092.7	2755.0
975	C	RC	2	1	1,008.73	2,118.45	5,106.51	729206.0	8491951.5	2454.1
976	C	RC	1	2	2,594.74	46,196.12	46,196.12	729204.3	8491944.9	2453.9
977	C	RC	2	3	195,848.88	195,848.88	195,848.88	729203.3	8491940.8	2454.4
978	A	NO-RC	3	5	355,863.98	355,863.98	355,863.98	729199.7	8491935.9	2453.9
979	A	NO-RC	1	4	76,457.94	76,457.94	76,457.94	729200.9	8491925.6	2454.9
980	C	RC	4	5	27.50	83.23	251.61	729193.2	8491908.2	2453.1
981	C	RC	3	1	119,692.02	141,933.44	106,256.70	729183.5	8491897.9	2449.9
982	C	RC	3	0	-	-	-	729181.8	8491911.2	2450.1
983	C	RC	3	0	539,530.37	539,530.37	539,530.37	729166.8	8491904.3	2445.9
984	C	RC	4	8	8,345.33	8,369.26	8,634.22	729135.4	8491852.4	2443.0
985	A	NO-RC	1	3	20,802.23	20,991.36	20,490.09	729136.2	8491876.9	2442.6
986	A	NO-RC	1	3	0.41	0.85	1.94	729146.0	8491876.5	2444.3
987	A	NO-RC	1	2	2,494.38	2,494.38	2,508.98	729149.3	8491846.3	2444.0
988	A	NO-RC	2	2	41,418.71	41,554.12	41,805.82	729170.3	8491862.2	2446.5
989	C	RC	2	4	971.29	990.59	1,019.78	729159.1	8491882.7	2446.2
990	A	NO-RC	1	3	4.56	4.87	5.35	729167.2	8491873.2	2446.7
991	C	RC	4	5	995,549.11	995,549.11	995,549.11	729358.1	8492705.1	2536.0
992	C	RC	4	10	731,136.81	731,136.81	731,136.81	729351.8	8492696.7	2534.7
993	C	RC	1	0	979.08	1,390.02	2,296.37	729888.2	8493935.1	2725.6
994	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729329.5	8492798.3	2550.5
995	C	RC	3	0	-	-	-	729338.8	8492797.6	2547.5
996	C	RC	3	7	1,888.20	4,142.80	12,789.85	729345.0	8492801.1	2548.0
997	C	RC	3	1	24,197.14	35,923.27	67,825.67	729353.9	8492802.5	2548.2
998	C	RC	1	5	-	-	-	729298.9	8492867.5	2560.9
999	C	RC	2	0	-	-	-	729329.5	8492883.3	2562.4
1000	M	NO-RC	1	0	47,974.29	47,974.29	47,974.29	729356.1	8492899.4	2560.0
1001	C	RC	2	6	40,630.58	43,403.97	50,041.32	729368.3	8492821.9	2550.6
1002	M	NO-RC	1	0	3,651.39	3,343.68	3,530.92	729377.5	8492731.9	2541.5
1003	C	RC	3	5	165,278.77	427,084.43	156,262.92	729376.7	8492605.0	2525.3
1004	C	RC	3	10	452,165.81	452,165.81	452,165.81	729367.4	8492604.1	2524.5
1005	C	RC	3	4	71,487.80	83,916.27	84,331.55	729358.2	8492604.5	2524.2
1006	C	RC	4	10	71,647.70	76,392.75	78,325.56	729349.1	8492603.4	2524.1
1007	C	RC	2	7	-	-	-	729248.5	8492600.0	2527.2
1008	C	RC	3	14	-	-	-	729253.7	8492590.2	2525.7
1009	A	NO-RC	2	19	-	-	-	729268.5	8492586.9	2524.8
1010	C	RC	2	2	985.23	1,208.50	2,329.75	729279.2	8492590.2	2524.9
1011	M	NO-RC	1	5	-	-	-	729248.0	8492607.9	2528.9
1012	A	NO-RC	2	6	-	-	-	729240.8	8492619.4	2529.6
1013	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729237.9	8492628.6	2531.4
1014	C	RC	3	3	24,147.44	25,402.93	31,306.40	729307.8	8492597.0	2523.9
1015	C	RC	3	10	106,100.13	106,576.92	103,563.94	729330.0	8492623.1	2526.0
1016	C	RC	3	6	61,485.92	60,089.40	69,412.41	729332.5	8492599.0	2523.9
1017	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729687.3	8495136.6	2985.2
1018	C	RC	1	0	1,032.87	1,292.97	2,343.76	729918.6	8494751.7	2860.9
1019	A	NO-RC	2	0	1,986.56	2,238.34	2,756.27	729836.5	8494785.4	2876.6
1020	A	NO-RC	1	0	232.00	247.38	320.52	729833.2	8494764.6	2873.9
1021	C	RC	1	0	58,846.66	58,846.66	58,846.66	729882.8	8494399.2	2811.3
1022	A	NO-RC	1	0	17,327.37	17,327.37	17,327.37	729931.5	8494408.3	2814.0
1023	A	NO-RC	1	0	4,969.42	4,969.42	4,969.42	729919.2	8494426.8	2815.3
1024	C	RC	2	5	13,590.05	15,608.50	333,588.82	729989.0	8494264.1	2796.9
1025	C	RC	1	0	2,779.77	77,142.04	77,142.04	729985.2	8494258.5	2794.1
1026	C	RC	1	5	2,040.32	2,083.05	2,236.15	729948.0	8494293.3	2796.3
1027	C	RC	1	0	13,581.43	13,619.31	14,486.84	729926.0	8494292.2	2794.7
1028	C	RC	1	0	38,668.69	38,668.69	38,668.69	729912.6	8494296.8	2793.7
1029	C	RC	1	0	2,605.18	2,570.81	3,230.03	729911.4	8494290.3	2792.8

1030	C	RC	1	5	9,618.57	10,446.23	14,170.79	729920.0	8494173.3	2771.6
1031	A	NO-RC	2	2	-	-	-	729658.1	8493972.2	2720.5
1032	C	RC	1	5	67,415.42	67,415.42	67,415.42	729787.8	8493759.3	2695.5
1033	C	RC	1	0	-	-	-	729492.1	8493562.8	2658.2
1034	C	RC	1	0	80.80	86.25	118.15	729670.0	8493954.2	2719.2
1035	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729655.3	8493953.9	2722.1
1036	C	RC	2	3	-	-	-	729998.6	8494325.4	2807.0
1037	C	RC	1	0	-	-	-	729998.4	8494331.9	2807.9
1038	C	RC	1	0	-	-	-	730008.1	8494333.9	2808.2
1039	M	NO-RC	1	0	-	-	-	730000.5	8494311.7	2804.9
1040	A	NO-RC	1	5	59,351.20	59,351.20	59,351.20	729934.1	8494305.2	2797.0
1041	C	RC	1	0	56,206.89	56,206.89	56,206.89	729881.5	8494324.7	2797.2
1042	C	RC	3	5	563,366.34	563,366.34	563,366.34	729888.6	8494295.1	2793.2
1043	C	RC	2	0	40,904.95	45,304.88	60,218.60	729901.8	8494282.8	2793.1
1044	C	RC	2	4	27,964.34	29,809.71	38,827.19	729901.7	8494221.3	2781.0
1045	C	RC	1	2	946.71	1,012.72	1,807.87	729900.3	8494207.6	2779.5
1046	C	RC	1	2	24,209.78	24,209.78	24,209.78	729916.5	8494208.3	2779.1
1047	C	RC	1	5	-	-	-	729668.0	8494276.8	2774.8
1048	A	NO-RC	1	4	-	-	-	729666.4	8494256.0	2771.5
1049	C	RC	1	9	1,964.64	2,040.80	2,188.66	729648.2	8494227.3	2760.1
1050	C	RC	1	0	448.87	463.63	500.09	729651.1	8494223.1	2759.7
1051	C	RC	1	0	1,279.30	1,318.20	1,619.11	729655.5	8494220.7	2760.2
1052	C	RC	1	5	4,835.00	5,484.01	9,855.58	729673.1	8494216.9	2762.6
1053	C	RC	1	0	2,333.23	2,749.19	4,733.53	729672.4	8494209.0	2762.0
1054	A	NO-RC	1	3	4,336.26	6,430.13	22,055.12	729679.7	8494126.6	2751.5
1055	A	NO-RC	1	0	36.10	54.67	103.44	729713.7	8494062.0	2737.4
1056	A	NO-RC	1	0	1,501.56	1,578.59	2,107.03	729723.9	8494272.7	2768.0
1057	A	NO-RC	1	0	850.04	881.86	1,210.68	729723.9	8494266.8	2768.2
1058	M	NO-RC	1	4	280.30	916.00	2,134.16	729896.1	8494342.6	2801.5
1059	C	RC	2	0	27,421.13	160,467.28	160,467.28	729889.0	8494343.7	2800.6
1060	C	RC	1	3	11.47	11.80	11.80	729967.1	8494098.6	2765.9
1061	C	RC	1	0	187,041.12	187,041.12	187,041.12	729889.9	8494102.2	2758.9
1062	C	RC	1	4	334,544.61	334,544.61	334,544.61	729913.7	8494130.5	2763.5
1063	C	RC	2	4	325,192.53	325,192.53	325,192.53	729893.7	8494138.3	2765.2
1064	C	RC	2	3	344,298.54	344,298.54	344,298.54	729893.3	8494131.3	2763.6
1065	C	RC	1	4	108,542.48	108,542.48	108,542.48	729892.9	8494123.2	2762.4
1066	C	RC	1	0	1,180.92	1,334.04	1,800.02	729887.9	8493939.9	2726.6
1067	C	RC	2	6	-	-	-	729269.8	8492223.4	2483.9
1068	C	RC	3	5	406,970.78	406,970.78	406,970.78	729293.1	8492223.0	2480.6
1069	C	RC	1	2	-	-	-	729268.0	8492209.7	2481.2
1070	C	RC	1	1	3,075.73	3,828.63	4,088.62	729266.9	8492201.7	2477.5
1071	M	NO-RC	1	0	12,206.42	12,206.42	12,206.42	729284.0	8492199.8	2476.3
1072	M	NO-RC	1	0	17,443.48	5,289.71	17,443.48	729273.5	8492192.8	2475.7
1073	C	RC	1	2	10,953.23	10,809.02	14,388.15	729266.8	8492184.5	2474.9
1074	C	RC	3	5	590,426.88	590,426.88	590,426.88	729271.2	8492172.8	2473.6
1075	C	RC	2	5	849,917.94	849,917.94	849,917.94	729018.0	8491756.8	2426.9
1076	C	RC	3	5	-	1,184.77	1,409.51	729031.2	8491766.2	2430.4
1077	A	NO-RC	2	3	60,424.91	64,009.88	64,944.55	729035.2	8491772.1	2429.4
1078	C	RC	2	3	136,377.74	137,686.33	141,682.17	729037.3	8491782.8	2428.5
1079	M	NO-RC	1	0	390.78	411.28	446.25	729038.8	8491791.1	2427.4
1080	A	NO-RC	2	2	4,661.48	8,812.25	9,250.99	729177.1	8492012.9	2456.1
1081	C	RC	3	5	-	62.55	1,526.08	729341.0	8492083.5	2470.5
1082	A	NO-RC	2	1	416.67	349.51	402.08	729307.1	8492080.9	2469.3
1083	A	NO-RC	1	1	275.45	280.67	295.70	729254.2	8492020.3	2462.0
1084	A	NO-RC	1	1	134.45	131.25	131.51	729295.8	8492047.5	2466.8
1085	A	NO-RC	1	0	27,828.85	27,828.85	27,828.85	729257.9	8492089.6	2465.9
1086	C	RC	1	2	10,066.47	10,377.33	11,340.20	729296.9	8492105.4	2470.1
1087	A	NO-RC	1	1	17,888.52	17,888.52	17,888.52	729324.3	8492148.2	2474.0
1088	A	NO-RC	1	2	135.90	218.19	382.68	729311.8	8492150.5	2475.1
1089	A	NO-RC	1	0	3,016.46	3,257.85	3,985.46	729289.1	8492151.9	2473.0
1090	A	NO-RC	1	0	15.48	37.98	111.79	729256.0	8492028.1	2461.3
1091	A	NO-RC	1	0	28,651.31	28,651.31	28,651.31	729185.9	8491961.6	2451.6
1092	A	NO-RC	1	0	7,763.77	7,763.77	7,763.77	729144.8	8491925.4	2447.1
1093	A	NO-RC	1	0	16,963.19	16,963.19	16,963.19	729143.3	8491918.9	2446.5
1094	C	RC	1	0	37,474.29	37,474.29	37,474.29	729126.5	8491901.8	2442.7
1095	C	RC	4	0	195,248.52	200,347.08	215,236.09	729118.0	8491877.1	2442.8
1096	C	RC	1	0	5,463.01	5,709.55	6,460.42	729113.5	8491863.7	2443.7
1097	C	RC	1	0	12,372.64	12,772.09	13,984.21	729122.6	8491862.0	2442.8
1098	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729129.8	8491855.9	2443.1
1099	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729134.4	8491853.6	2442.9
1100	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729143.1	8491867.2	2443.8
1101	A	NO-RC	1	0	32,396.95	32,396.95	32,396.95	729050.7	8491831.8	2434.2
1102	A	NO-RC	1	0	1.85	4.49	101.17	729091.7	8491822.9	2439.5
1103	A	NO-RC	1	0	7,976.44	7,976.44	7,976.44	729068.1	8491817.6	2434.8

1104	A	NO-RC	1	0	28.96	64.83	216.48	729079.6	8491815.9	2436.3
1105	A	NO-RC	1	0	6.08	18.99	78.85	729086.4	8491818.5	2438.7
1106	C	RC	3	0	-	-	-	729054.2	8491768.2	2432.5
1107	C	RC	3	0	177,194.19	206,587.96	175,627.82	728993.9	8491774.2	2424.6
1108	C	RC	4	3	728,500.66	728,500.66	728,500.66	729017.8	8491804.0	2429.1
1109	A	NO-RC	2	3	189,894.94	189,894.94	189,894.94	729030.9	8491817.1	2430.1
1110	A	NO-RC	1	0	30,305.83	30,305.83	30,305.83	729326.5	8492441.8	2508.7
1111	A	NO-RC	1	0	0.14	0.30	1.14	729305.9	8492454.4	2510.1
1112	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729294.0	8492546.4	2521.7
1113	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729284.9	8492550.6	2522.6
1114	A	NO-RC	1	0	808.50	812.96	804.05	729491.7	8492698.4	2544.0
1115	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729355.4	8492124.0	2473.9
1116	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729322.8	8492059.3	2467.9
1117	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729313.6	8492064.9	2468.4
1118	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729311.6	8492057.2	2467.7
1119	C	RC	4	3	-	-	-	729305.3	8492053.8	2467.6
1120	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729342.4	8492054.5	2467.4
1121	A	NO-RC	1	0	-	39.34	225.25	729352.9	8492098.9	2472.0
1122	C	RC	5	5	130,609.57	135,910.54	163,272.72	729268.5	8492081.6	2466.5
1123	A	NO-RC	1	0	13,564.34	13,564.34	13,564.34	729255.9	8492079.2	2464.1
1124	A	NO-RC	1	0	23,204.66	23,204.66	23,204.66	729362.4	8492554.5	2516.9
1125	C	RC	1	0	227.32	219.83	246.01	729328.7	8492752.6	2542.2
1126	C	RC	1	0	0.71	0.74	3.38	729330.9	8492746.5	2540.7
1127	C	RC	1	0	7,987.77	7,992.66	11,009.92	729296.1	8492475.0	2512.6
1128	C	RC	1	0	-	-	-	729254.1	8492604.3	2528.4
1129	C	RC	2	2	-	-	-	729259.7	8492586.4	2524.9
1130	C	RC	4	5	-	-	-	729266.7	8492596.7	2526.8
1131	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729261.6	8492603.3	2528.0
1132	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729246.2	8492631.6	2532.9
1133	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729248.5	8492619.1	2529.6
1134	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729247.6	8492624.1	2530.6
1135	A	NO-RC	2	2	294.15	645.33	1,836.62	729296.3	8492607.9	2525.4
1136	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729277.0	8492611.0	2528.8
1137	C	RC	1	0	-	-	-	729259.5	8492631.5	2533.3
1138	C	RC	5	10	-	-	-	729271.9	8492637.4	2534.5
1139	C	RC	1	2	-	-	-	729258.0	8492620.3	2531.2
1140	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729272.1	8492620.0	2532.0
1141	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729286.0	8492615.7	2527.8
1142	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729292.7	8492617.8	2526.4
1143	A	NO-RC	1	0	272.46	332.03	279.45	729321.4	8492619.7	2525.8
1144	A	NO-RC	1	0	11,284.05	11,090.92	10,349.32	729325.3	8492634.1	2527.7
1145	C	RC	1	0	11,067.22	11,774.82	11,118.89	729331.0	8492613.6	2525.0
1146	C	RC	2	0	45,994.87	46,359.59	50,747.13	729315.7	8492601.6	2524.4
1147	A	NO-RC	1	0	756.42	812.83	1,001.59	729326.2	8492581.7	2523.1
1148	C	RC	1	0	-	-	-	729300.8	8492505.7	2517.2
1149	A	NO-RC	1	0	2,810.48	2,925.99	2,886.34	729347.7	8492619.6	2525.4
1150	A	NO-RC	1	0	22,479.10	22,479.10	22,479.10	729354.6	8492612.8	2524.3
1151	A	NO-RC	1	0	2,753.55	2,771.14	2,715.95	729359.9	8492627.9	2527.8
1152	A	NO-RC	1	0	2,123.06	2,202.80	2,164.70	729373.3	8492623.4	2528.3
1153	A	NO-RC	1	0	7,418.31	7,418.31	7,418.31	729362.8	8492613.8	2524.3
1154	A	NO-RC	1	0	2,517.93	2,522.46	2,542.06	729372.4	8492614.5	2526.5
1155	A	NO-RC	1	0	11,124.66	11,124.66	11,124.66	729375.8	8492632.4	2529.1
1156	A	NO-RC	1	0	16,279.30	16,279.30	16,279.30	729359.6	8492636.1	2529.2
1157	C	RC	3	4	438,635.88	438,635.88	438,635.88	729348.8	8492626.4	2526.4
1158	C	RC	3	0	407,291.33	407,291.33	407,291.33	729365.3	8492620.7	2526.7
1159	A	NO-RC	1	0	1,763.17	1,956.75	1,895.56	729364.7	8492628.8	2528.3
1160	A	NO-RC	1	2	17,609.92	17,609.92	17,609.92	729357.6	8492652.2	2531.0
1161	C	RC	2	2	211,729.74	211,729.74	211,729.74	729356.5	8492659.5	2531.6
1162	C	RC	1	0	2,442.85	2,431.51	2,399.02	729344.4	8492673.4	2531.8
1163	C	RC	1	0	927.80	1,041.98	841.04	729361.5	8492686.0	2535.2
1164	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729315.6	8492674.2	2532.9
1165	C	RC	1	0	-	-	-	729278.2	8492753.5	2548.1
1166	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729288.6	8492648.3	2531.1
1167	C	RC	1	0	41.19	39.41	61.97	729317.1	8492653.0	2529.5
1168	A	NO-RC	1	0	169.51	127.18	239.04	729316.4	8492647.8	2529.0
1169	C	RC	2	0	-	-	-	729294.7	8492686.4	2539.4
1170	A	NO-RC	1	0	15,025.13	15,025.13	15,025.13	729888.6	8494518.5	2826.2
1171	A	NO-RC	1	0	1,021.75	12,392.75	12,392.75	729932.0	8494485.6	2822.3
1172	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729980.5	8494376.3	2812.4
1173	M	NO-RC	1	0	265.77	300.98	408.70	729893.3	8494451.6	2819.7
1174	A	NO-RC	1	0	4,270.10	4,270.10	4,270.10	729932.1	8494416.3	2814.7
1175	A	NO-RC	1	0	7,238.75	7,238.75	7,238.75	729924.4	8494414.9	2813.6
1176	C	RC	4	4	9,283.56	11,173.53	9,249.38	729463.9	8492761.9	2552.5
1177	C	RC	4	3	-	-	-	729472.6	8492764.1	2552.5

1178	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729480.4	8492765.0	2552.1
1179	C	RC	3	4	8,993.79	8,993.79	9,086.21	729486.9	8492772.1	2554.0
1180	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729496.2	8492775.7	2554.5
1181	C	RC	1	2	-	-	-	729504.6	8492777.5	2554.1
1182	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729510.9	8492782.1	2555.3
1183	C	RC	1	2	386.83	434.04	436.96	729517.6	8492784.6	2555.6
1184	C	RC	4	2	-	-	-	729524.7	8492786.4	2556.4
1185	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729514.1	8492806.9	2558.5
1186	A	NO-RC	1	3	9.07	9.88	12.92	729507.8	8492801.8	2557.3
1187	A	NO-RC	2	4	-	-	-	729499.7	8492799.9	2557.2
1188	C	RC	3	4	412.70	425.62	447.46	729489.2	8492794.9	2556.3
1189	C	RC	1	2	298.13	357.54	274.61	729461.3	8492791.5	2555.3
1190	M	NO-RC	1	0	-	-	-	729471.4	8492791.3	2556.2
1191	A	NO-RC	2	1	492.49	503.91	515.41	729532.1	8492817.1	2559.0
1192	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729527.9	8492831.4	2561.8
1193	C	RC	4	4	-	-	-	729524.8	8492840.4	2563.5
1194	A	NO-RC	1	2	54.32	56.84	62.88	729463.5	8492992.1	2580.6
1195	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729505.4	8493019.6	2584.4
1196	A	NO-RC	1	2	35.69	37.00	40.22	729496.9	8493001.4	2582.5
1197	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729589.3	8493057.1	2593.8
1198	A	NO-RC	1	1	-	-	-	729585.3	8493072.7	2594.5
1199	C	RC	1	0	13,874.52	13,933.93	14,112.60	729514.1	8493281.7	2621.6
1200	C	RC	1	0	0.44	1.15	2.53	729547.2	8493373.8	2639.5
1201	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729546.8	8493389.4	2641.7
1202	C	RC	2	2	-	-	-	729552.5	8493371.0	2639.0
1203	C	RC	1	0	174.99	191.93	209.42	729545.4	8493303.3	2629.7
1204	C	RC	1	1	-	-	0.15	729541.6	8493288.0	2626.7
1205	C	RC	1	2	3.09	9.30	26.99	729550.9	8493286.8	2626.4
1206	C	RC	2	2	462.83	501.22	572.07	729543.4	8493349.3	2637.4
1207	C	RC	2	2	1,157.46	1,181.97	1,235.66	729562.1	8493339.9	2635.5
1208	C	RC	2	3	430.83	434.15	454.21	729559.9	8493331.5	2634.1
1209	C	RC	2	0	19,425.50	19,503.42	19,784.62	729999.6	8494250.3	2795.1
1210	C	RC	1	0	218.59	218.59	224.21	729990.8	8494193.0	2787.0
1211	A	NO-RC	1	0	-	-	-	730026.7	8494118.0	2770.8
1212	A	NO-RC	1	0	-	-	-	730027.4	8494096.5	2766.6
1213	A	NO-RC	1	0	-	-	-	730049.3	8494097.8	2765.6
1214	C	RC	1	0	187.61	187.61	187.61	729982.6	8494092.8	2766.4
1215	A	NO-RC	1	0	43.73	44.13	44.13	729985.9	8494045.4	2757.2
1216	A	NO-RC	1	0	5.07	5.57	5.57	730035.4	8494053.1	2758.0
1217	A	NO-RC	1	0	-	-	-	730027.0	8494054.3	2758.6
1218	A	NO-RC	1	0	2.11	2.25	2.25	730018.6	8494052.5	2758.3
1219	A	NO-RC	1	0	26.68	27.18	27.18	730010.4	8494037.5	2756.1
1220	A	NO-RC	1	0	51.37	51.37	51.37	730022.7	8494045.3	2757.1
1221	A	NO-RC	1	0	-	-	-	730009.4	8494047.1	2758.0
1222	C	RC	1	0	0.51	0.51	0.51	730045.7	8494031.6	2755.8
1223	C	RC	1	0	-	-	-	730004.9	8494001.8	2752.5
1224	C	RC	1	2	1,928.09	1,932.10	1,932.10	730024.6	8493941.2	2744.2
1225	C	RC	1	0	3,154.23	3,159.93	3,162.78	730038.9	8493944.6	2744.9
1226	A	NO-RC	1	2	262.27	263.04	262.27	729486.5	8492602.4	2531.2
1227	A	NO-RC	1	0	1.42	1.26	1.36	729479.0	8492606.9	2531.6
1228	C	RC	2	4	8,571.16	8,611.09	8,581.13	729493.6	8492630.4	2533.9
1229	C	RC	1	2	3,414.90	3,459.12	3,418.31	729503.4	8492635.6	2536.2
1230	A	NO-RC	1	2	996.60	1,020.35	1,006.36	729506.6	8492646.6	2537.5
1231	A	NO-RC	1	2	1.35	1.35	1.35	729501.0	8492594.3	2530.9
1232	C	RC	3	4	140.73	140.73	140.73	729505.8	8492604.0	2531.7
1233	A	NO-RC	1	0	12.84	12.96	12.84	729503.3	8492598.3	2531.1
1234	C	RC	3	4	1,469.63	1,469.63	1,469.63	729516.7	8492589.5	2531.3
1235	C	RC	2	3	451.24	451.24	451.24	729528.1	8492586.7	2530.7
1236	C	RC	2	4	14.16	14.16	14.16	729520.0	8492598.2	2532.5
1237	C	RC	2	2	24.89	24.89	24.89	729525.2	8492614.1	2534.4
1238	C	RC	1	2	86.98	86.98	86.98	729529.1	8492622.6	2536.4
1239	C	RC	1	0	-	-	-	729509.5	8492609.7	2532.4
1240	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729510.3	8492619.9	2534.6
1241	A	NO-RC	1	0	157.38	157.85	154.10	729494.8	8492610.2	2531.5
1242	C	RC	2	2	1,024.30	1,024.30	1,029.86	729529.9	8492564.1	2529.2
1243	A	NO-RC	1	4	20.28	20.28	20.28	729516.8	8492569.2	2529.1
1244	C	RC	2	3	43.52	45.05	43.52	729507.4	8492572.7	2528.4
1245	C	RC	1	2	1,665.48	1,667.70	1,665.48	729498.9	8492576.6	2528.1
1246	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729479.7	8492578.2	2529.7
1247	C	RC	2	4	1,438.75	1,443.99	1,438.75	729471.2	8492585.6	2529.3
1248	C	RC	2	2	1,202.54	1,211.73	1,202.54	729484.2	8492553.0	2527.4
1249	C	RC	3	4	1,145.30	1,155.72	1,145.30	729489.6	8492541.8	2526.8
1250	C	RC	2	2	-	-	-	729471.8	8492548.8	2527.1
1251	C	RC	4	4	3,725.12	3,160.53	3,725.12	729466.6	8492571.9	2528.4

1252	A	NO-RC	2	3	699.18	699.18	702.15	729461.0	8492561.2	2527.2
1253	A	NO-RC	1	0	4.71	4.71	4.71	729464.0	8492551.2	2526.6
1254	A	NO-RC	2	1	468.43	468.43	468.43	729550.4	8492633.6	2537.8
1255	C	RC	2	3	1,447.28	1,456.30	1,447.28	729541.0	8492640.9	2537.8
1256	C	RC	3	4	6,391.41	6,413.87	6,391.41	729557.6	8492657.6	2540.9
1257	C	RC	2	3	2,106.32	2,106.32	2,100.19	729561.3	8492673.3	2542.7
1258	A	NO-RC	1	2	143.48	144.32	143.48	729540.5	8492665.1	2541.4
1259	C	RC	3	4	4,374.69	4,374.69	4,374.69	729587.8	8492653.2	2540.9
1260	C	RC	3	7	896.55	896.55	896.55	729589.7	8492682.2	2543.3
1261	C	RC	1	2	-	-	-	729571.9	8492699.5	2546.1
1262	C	RC	3	4	3,116.70	3,116.70	3,116.70	729581.9	8492644.4	2539.1
1263	C	RC	2	3	-	-	-	729603.2	8492639.9	2539.2
1264	C	RC	2	2	501.14	507.73	501.14	729576.0	8492637.4	2537.8
1265	C	RC	2	3	579.13	582.47	579.13	729573.9	8492630.0	2537.1
1266	C	RC	3	4	439.21	443.75	439.21	729572.3	8492622.3	2536.1
1267	C	RC	2	4	264.92	264.92	264.92	729570.3	8492614.1	2535.4
1268	C	RC	3	4	5,941.29	5,941.29	5,941.29	729566.3	8492598.7	2533.2
1269	C	RC	1	0	499.64	499.64	499.64	729577.1	8492597.9	2532.9
1270	C	RC	2	2	94.74	96.34	94.74	729564.6	8492592.2	2532.9
1271	C	RC	2	2	-	-	-	729562.6	8492583.8	2532.6
1272	C	RC	3	4	-	-	-	729560.9	8492566.3	2529.6
1273	C	RC	2	0	81.50	85.64	81.50	729563.6	8492574.1	2531.9
1274	C	RC	6	15	-	-	-	729558.0	8492558.7	2528.5
1275	C	RC	2	3	1,277.87	1,283.08	1,277.87	729524.7	8492541.2	2525.6
1276	C	RC	3	5	483.41	488.44	483.41	729509.8	8492555.2	2526.4
1277	C	RC	3	2	2,484.69	2,492.92	2,484.69	729520.9	8492553.2	2526.6
1278	C	RC	3	2	1,383.09	1,383.09	1,383.09	729507.2	8492531.8	2525.6
1279	C	RC	1	0	33.05	34.15	33.05	729515.3	8492527.4	2524.6
1280	C	RC	3	4	-	-	-	729492.8	8492526.6	2525.5
1281	C	RC	2	4	3,372.88	3,379.97	3,365.79	729515.3	8492498.5	2522.4
1282	C	RC	2	3	255.72	255.72	255.72	729513.5	8492489.6	2520.9
1283	C	RC	1	0	1.19	1.19	1.19	729487.0	8492505.4	2522.9
1284	C	RC	1	0	272.02	269.62	267.22	729498.3	8492501.0	2522.8
1285	C	RC	2	2	-	-	-	729500.6	8492520.3	2524.7
1286	C	RC	3	0	24,982.53	24,982.53	24,982.53	729455.5	8492492.5	2519.9
1287	C	RC	1	0	-	-	-	729480.7	8492472.2	2519.4
1288	C	RC	3	5	4,064.55	4,078.18	4,050.93	729506.7	8492453.6	2516.3
1289	C	RC	3	4	997.25	997.25	990.06	729506.2	8492443.8	2514.8
1290	C	RC	3	5	177.94	177.94	177.94	729504.8	8492437.4	2514.0
1291	C	RC	3	5	724.94	724.94	724.94	729508.3	8492430.1	2513.4
1292	C	RC	2	2	603.64	603.64	603.64	729506.4	8492423.2	2512.7
1293	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729498.4	8492431.6	2513.6
1294	C	RC	3	5	15,274.68	15,312.34	15,312.34	729503.1	8492415.9	2511.9
1295	C	RC	4	5	675.50	675.50	675.50	729501.9	8492409.6	2511.3
1296	C	RC	2	4	2.36	2.36	2.36	729500.4	8492403.4	2510.3
1297	C	RC	2	2	5,429.90	5,429.90	5,429.90	729502.9	8492395.8	2509.3
1298	C	RC	2	2	251.43	251.43	251.43	729499.9	8492388.6	2508.3
1299	C	RC	3	4	56.24	56.24	56.24	729496.8	8492375.6	2506.9
1300	C	RC	2	2	160.76	163.17	160.76	729497.4	8492382.2	2507.7
1301	C	RC	2	0	480.13	486.26	486.26	729488.8	8492449.7	2515.6
1302	C	RC	3	5	-	-	-	729485.3	8492437.6	2514.2
1303	C	RC	3	5	-	-	-	729472.8	8492434.0	2515.2
1304	C	RC	1	0	-	-	-	729478.8	8492430.1	2514.4
1305	C	RC	4	5	49.66	52.63	46.76	729453.1	8492430.4	2513.2
1306	C	RC	2	3	-	-	-	729455.6	8492443.3	2515.1
1307	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729454.5	8492438.3	2514.5
1308	C	RC	3	5	-	-	-	729459.8	8492450.4	2516.2
1309	C	RC	2	0	-	-	-	729473.4	8492460.7	2517.6
1310	C	RC	2	2	-	-	-	729470.9	8492452.5	2516.2
1311	C	RC	2	4	-	-	-	729484.4	8492421.1	2512.8
1312	C	RC	2	2	30.20	30.20	30.20	729487.4	8492428.7	2513.3
1313	C	RC	3	4	-	-	-	729483.3	8492406.6	2511.1
1314	C	RC	3	4	-	-	-	729482.5	8492402.2	2510.6
1315	C	RC	3	4	-	-	-	729480.7	8492412.2	2511.6
1316	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729469.8	8492416.4	2512.3
1317	A	NO-RC	1	2	373.56	375.40	373.56	729460.3	8492405.3	2510.5
1318	C	RC	4	7	212.67	217.88	212.67	729449.2	8492372.8	2507.8
1319	C	RC	2	4	-	-	-	729443.1	8492380.4	2508.1
1320	C	RC	2	4	93.35	95.19	93.35	729447.9	8492386.8	2509.4
1321	C	RC	3	3	10.53	10.53	10.53	729440.0	8492354.8	2505.3
1322	A	NO-RC	2	2	92.83	92.83	92.83	729437.8	8492346.6	2504.4
1323	C	RC	2	3	51.47	51.47	51.47	729436.1	8492332.2	2502.4
1324	C	RC	3	4	-	-	-	729474.8	8492358.7	2506.7
1325	C	RC	3	4	98.79	98.79	98.79	729468.6	8492352.5	2505.5

1326	A	NO-RC	1	0	35.75	35.75	35.75	729449.3	8492346.4	2505.2
1327	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729463.0	8492364.3	2507.9
1328	C	RC	2	4	-	-	-	729448.0	8492366.0	2506.8
1329	A	NO-RC	1	2	-	-	-	729440.4	8492360.9	2506.0
1330	A	NO-RC	1	0	9.71	9.71	9.71	729462.2	8492356.1	2505.9
1331	C	RC	3	0	-	-	-	729474.8	8492363.5	2507.6
1332	C	RC	2	2	-	-	-	729475.2	8492368.9	2508.3
1333	C	RC	2	2	60.34	60.34	60.34	729461.9	8492370.8	2508.3
1334	C	RC	2	2	-	-	-	729477.2	8492374.4	2508.7
1335	C	RC	3	4	62.79	62.79	62.79	729473.3	8492381.7	2509.1
1336	C	RC	1	2	2.89	2.89	2.89	729472.1	8492388.4	2509.4
1337	C	RC	1	2	-	-	-	729481.1	8492396.2	2510.1
1338	C	RC	3	4	-	-	-	729442.7	8492318.9	2501.0
1339	C	RC	3	4	1,923.77	1,923.77	1,923.77	729439.8	8492307.9	2499.3
1340	C	RC	3	2	362.17	365.70	362.17	729438.6	8492313.4	2499.6
1341	C	RC	3	4	-	-	-	729470.3	8492333.7	2503.0
1342	C	RC	5	20	736.00	736.00	736.00	729441.1	8492300.6	2498.8
1343	C	RC	3	5	4,613.51	4,613.51	4,613.51	729435.7	8492291.8	2497.2
1344	C	RC	1	1	-	-	-	729435.7	8492276.7	2496.0
1345	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729414.0	8492245.3	2491.1
1346	C	RC	6	30	-	-	-	729421.5	8492252.1	2492.2
1347	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729406.4	8492230.0	2489.4
1348	A	NO-RC	1	0	-	-	-	729414.7	8492227.4	2489.3
1349	C	RC	3	5	-	-	-	729403.7	8492219.9	2487.6
1350	A	NO-RC	1	3	-	-	-	729402.7	8492198.1	2485.2
1351	A	NO-RC	2	3	-	-	-	729398.8	8492187.1	2483.8
1352	C	RC	5	7	-	-	-	729420.3	8492180.4	2484.6
1353	C	RC	2	3	-	-	-	729419.5	8492196.5	2486.2
1354	C	RC	2	4	55,618.07	204,013.13	204,013.13	729633.7	8493562.5	2663.5
1355	C	RC	2	0	211,425.91	211,425.91	211,425.91	729619.7	8493544.1	2662.4
1356	M	NO-RC	1	0	7,922.67	7,922.67	7,922.67	729623.2	8493551.3	2661.3
1357	A	NO-RC	2	3	175,164.07	175,164.07	175,164.07	729647.6	8493578.0	2665.4
1358	C	RC	1	0	2,914.15	2,928.78	35,070.22	729641.0	8493619.5	2670.1
1359	A	NO-RC	1	0	15,087.63	15,087.63	15,087.63	729663.1	8493599.0	2670.9
1360	A	NO-RC	1	4	57,371.81	57,371.81	57,371.81	729670.0	8493602.3	2671.8
TOTAL			2,354	3,401	65,061,215.65	68,116,296.35	73,275,803.91			

Anexo C. Validación de instrumentos

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación: Propuesta metodológica para la evaluación de riesgos por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones en la microcuenca Sahuanay, Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac

Investigador: Bach. Wilmer Alberto Tuñoque Zela

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos: Sandra Paula Villacorta Chambi

Especialidad: ingeniería Geológica, Riesgo Geológico, Aprovechamiento sostenible de los recursos minerales

Cargo e Institución donde Labora: Investigadora asociada, CSIRO/Universidad de Charles Darwin (Australia)

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Marque con un aspa (X) dentro del cuadro de valoración, solo una vez por cada criterio, el que usted considere su opinión sobre el cuestionario.

1. Muy bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	5. Muy alto
-------------	---------	----------	---------	-------------

Componente	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios			x		
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado				x	
	3. Objetividad	Está expresado en conducta observable				x	
Contenido	4. Actualidad	Es adecuado al avance de la ciencia y la tecnología					x
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad				x	
	6. Intencionalidad	Es para alcanzar los objetivos del estudio				x	
Estructura	7. Organización	Existe una organización lógica					x
	8. Consistencia	Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación educativa				x	
	9. Coherencia	Existe coherencia entre las variables, dimensiones e indicadores				x	

	10. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico						x	
--	-----------------	---	--	--	--	--	--	---	--

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

La tesis ofrece una valiosa contribución al campo de la gestión de riesgos de flujos de detritos. La integración de restricciones de contorno más detalladas, una evaluación localizada y una validación exhaustiva con datos históricos podrían elevar significativamente su aplicabilidad y precisión.

V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO

Procede a su aplicación (x)

Debe corregirse ()

Perth, 03 de Octubre del 2023

Dr Sandra Paula Villacorta Chambi
Adjunct Researcher
CSIRO Postdoctoral Researcher



College of Engineering,
IT & Environment



CHARLES DARWIN UNIVERSITY College of Engineering, IT & the Environment

W: [cdu.edu.au /https://researchers.cdu.edu.au/en/persons/sandra-villacorta-chambi](https://researchers.cdu.edu.au/en/persons/sandra-villacorta-chambi)

DNI: 07521538

Figura 125 — Validación de instrumentos Dr. Sandra Villacorta

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación: Propuesta metodológica para la evaluación de riesgos por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones en la microcuenca Sahuanay, Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac

Investigador: Bach. Wilmer Alberto Tuñoque Zela

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos: Santiago Salvador Montenegro Canario

Especialidad: Doctor en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible

Cargo e Institución donde Labora: Sub Director de Aplicaciones Estadísticas del instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, Docente de Pos Grado.

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Marque con un aspa (X) dentro del cuadro de valoración, solo una vez por cada criterio, el que usted considere su opinión sobre el cuestionario.

1. Muy bajo 2. Bajo 3. Medio 4. Alto 5. Muy alto

Componente	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios					X
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado				X	
	3. Objetividad	Está expresado en conducta observable					X
Contenido	4. Actualidad	Es adecuado al avance de la ciencia y la tecnología					X
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad					X
	6. Intencionalidad	Es para alcanzar los objetivos del estudio					X
Estructura	7. Organización	Existe una organización lógica					X
	8. Consistencia	Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación educativa				X	
	9. Coherencia	Existe coherencia entre las variables, dimensiones e indicadores					X
	10. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico				X	

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Procede con el trabajo de investigación propuesto por el Bach. Wilmer Alberto Tuñoque Zela.

V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO

Procede a su aplicación (X)

Debe corregirse ()

Liam, 30 de setiembre del 2023





COLEGIO DE ESTADISTICOS DEL PERU
CONSEJO NACIONAL 2022 - 2024
Dr. SANTIAGO SALVADOR MONTENEGRO CANARIO
DECAÑO NACIONAL

Sello y Firma del Experto

DNI: 10336395

Figura 126 — Validación de instrumentos Dr. Santiago Montenegro

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación: Propuesta metodológica para la evaluación de riesgos por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones en la microcuenca Sahuanay, Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac

Investigador: Bach. Wilmer Alberto Tuñoque Zela

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos: Dr. Juan Carlos Montero Chirito

Especialidad: Especialista en Gestión del Riesgo de Desastres

Cargo e Institución donde Labora: Director de Gestión de Procesos del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Marque con un aspa (X) dentro del cuadro de valoración, solo una vez por cada criterio, el que usted considere su opinión sobre el cuestionario.

1. Muy bajo	2. Bajo	3. Medio	4. Alto	5. Muy alto
-------------	---------	----------	---------	-------------

Componente	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios					X
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado				X	
	3. Objetividad	Está expresado en conducta observable					X
Contenido	4. Actualidad	Es adecuado al avance de la ciencia y la tecnología					X
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad				X	
	6. Intencionalidad	Es para alcanzar los objetivos del estudio				X	
Estructura	7. Organización	Existe una organización lógica					X
	8. Consistencia	Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación educativa					X
	9. Coherencia	Existe coherencia entre las variables, dimensiones e indicadores					X
	10. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico					X

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Los resultados de cada capítulo desarrollado en la investigación muestran datos muy enriquecedores para el análisis, como son, topografía, hidrología, hidráulica, geotecnia, estos concluyen secuencialmente en la determinación de la susceptibilidad, peligro, vulnerabilidad y finalmente el riesgo, como una estimación de pérdida económica, bajo un enfoque cuantitativo.

V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO

Procede a su aplicación (X)

Debe corregirse ()

Abancay, 10 de octubre del 2023



Sello y Firma del Experto
DNI: 09493599

Figura 127 — Validación de instrumentos Dr. Juan Montero

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación: Propuesta metodológica para la evaluación de riesgos por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones en la microcuenca Sahuanay, Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac

Investigador: Bach. Wilmer Alberto Tuñoque Zela

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y apellidos: ABBON ALEX VASQUEZ RAMIREZ

Especialidad: INGENIERO CIVIL

Cargo e institución donde labora: Director del Departamento Acad. Ingeniería-UTEA.

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Marque con un aspa (X) dentro del cuadro de valoración, solo una vez por cada criterio, el que usted considere su opinión sobre el cuestionario.

1. Muy bajo 2. Bajo 3. Medio 4. Alto 5. Muy alto

Componente	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios					X
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado				X	
	3. Objetividad	Está expresado en conducta observable				X	
Contenido	4. Actualidad	Es adecuado al avance de la ciencia y la tecnología					X
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad					X
	6. Intencionalidad	Es para alcanzar los objetivos del estudio					X
Estructura	7. Organización	Existe una organización lógica					X
	8. Consistencia	Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación educativa					X
	9. Coherencia	Existe coherencia entre las variables, dimensiones e indicadores				X	
	10. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico					X

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

Se recomienda dar a conocer el trabajo realizado...
por el tesista.

V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO

Procede a su aplicación (X)

Debe corregirse (-)

Abancay, 02 de OCTUBRE... del 2023

 Universidad Tecnológica de los Andes
Departamento Académico de la Facultad de Ingeniería

Ph.D. Abbon A. Vásquez Ramirez
DIRECTOR

Sello y firma del Experto

DNI: 06532658

Figura 128 — Validación de instrumentos Ph.D. Abbon Vásquez

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

I. DATOS GENERALES

Título del trabajo de investigación: Propuesta metodológica para la evaluación de riesgos por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones en la microcuenca Sahuanay, Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac

Investigador: Bach. Wilmer Alberto Tuñoque Zela

II. DATOS DEL EXPERTO

Nombres y Apellidos: Washington Gualberto Palomino Canaval.

Especialidad: Ingeniero Civil

Cargo e Institución donde Labora: Analista – Ministerio Público.

III. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Marque con un aspa (X) dentro del cuadro de valoración, solo una vez por cada criterio, el que usted considere su opinión sobre el cuestionario.

1. Muy bajo 2. Bajo 3. Medio 4. Alto 5. Muy alto



Componente	Indicadores	Valoración cuantitativa	Valoración				
			1	2	3	4	5
Forma	1. Redacción	Está redactado considerando los elementos necesarios				X	
	2. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado				X	
	3. Objetividad	Está expresado en conducta observable					X
Contenido	4. Actualidad	Es adecuado al avance de la ciencia y la tecnología				X	
	5. Suficiencia	Evalúa las dimensiones de las variables en cantidad y calidad				X	
	6. Intencionalidad	Es para alcanzar los objetivos del estudio					X
Estructura	7. Organización	Existe una organización lógica				X	
	8. Consistencia	Se basa en aspectos teóricos científicos de la investigación educativa				X	
	9. Coherencia	Existe coherencia entre las variables, dimensiones e indicadores				X	
	10. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico				X	

IV. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLADO, PROYECTA UNA METODOLOGÍA APLICADA, CUANTITATIVA Y DESCRIPTIVA, EXPRESADA EN SUS CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, LA MISMA QUE CONSTITUYE UN ALTO APORTE A DESARROLLAR EN LOS RESULTADOS DE ESTUDIOS Y CONTRIBUIR AL FORTALECIMIENTO DE NUESTRA CULTURA PREVENTIVA EN TODA EL ÁREA DE INFLUENCIA, MOTIVANDO DAR CONTINUIDAD EN REALIZAR ESTUDIOS CON OBJETIVO SIMILAR A TODO EL VALLE DE ABANCAY POR SER DICHA ÁREA GEOGRÁFICA MUY VULNERABLE A LOS PELIGROS CON RECURRENTE AFECTACIÓN Y URGENTE NECESIDAD EN LA EVALUACIÓN DE RIESGOS CON EXTENSIÓN A LA ACADEMIA, ADEMÁS DE SER METODOLOGÍA DE CONSULTA Y EXTENSIÓN A LA CONTRIBUCIÓN NACIONAL.

V. LUEGO DE REVISADO EL INSTRUMENTO

Procede a su aplicación (X)

Debe corregirse ()

Abancay, 02 de octubre del 2023



Washington G. Palomino Canava
INGENIERO CIVIL
REG. CIP. 133885

Sello y Firma del Experto

DNI:31040083

Figura 129 — Validación de instrumentos Mg. Washington Palomino

Validación de instrumentos (Alfa de Cronbach)

Tabla 97 — Validación de instrumentos

Encuestados	Ítems										Suma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Villacorta S	3	4	4	5	4	4	5	4	4	4	41
Montenegro S	5	4	5	5	5	5	5	4	5	4	47
Montero J	5	4	5	5	4	4	5	5	5	5	47
Vásquez A	5	4	4	5	5	5	5	5	4	5	47
Palomino W	4	4	5	4	4	5	4	4	4	4	42
Varianza	0.64	0	0.24	0.16	0.24	0.24	0.16	0.24	0.24	0.24	
Sumatoria de varianzas	2.40										
Varianza de la suma de los ítems	7.36										

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left[1 - \frac{\sum s^2}{S_T^2} \right]$$

Donde,

k = El número de ítems

$\sum s^2$ = Sumatoria de varianzas de los ítems.

S_T^2 = Varianza de la suma de los ítems.

α = Coeficiente de alfa de Cronbach

α :	Coeficiente de Alfa de Cronbach	0.75
k:	Número de ítems	10
$\sum_{i=1}^k S_i^2$:	Sumatoria de las varianzas de los ítems	2.40
S_T^2 :	Varianza de la suma de los ítems	7.36

$$\alpha = \frac{10}{10 - 1} \left[1 - \frac{2.40}{7.36} \right]$$

$$\alpha = 0.75$$

Confiabilidad

$\alpha = 0.75$ se encuentra en el rango de confiabilidad “Alta” realizado para 5 encuestados especialistas (3 civil), (1 geóloga) y (1 estadista metodólogo).

Anexo D. Juicio de expertos



**CHARLES
DARWIN
UNIVERSITY**

Faculty of Science and
Technology, Environment

Perth, 27 de julio de 2023

BC. Wilmer Alberto Tuñoque Zela
Facultad de Ingeniería
UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

Estimado Wilmer,

Luego de revisar la metodología de tu tesis titulada: Propuesta metodológica para la evaluación de riesgos por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones en la microcuenca Sahuanay, Distrito de Tamburco, Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac” reconozco el valor de incorporar redes neuronales artificiales para predecir la susceptibilidad a este tipo de movimientos en masa. La integración de datos geospaciales, como la precipitación, la geomorfología, la geología, el índice de humedad topográfico, la distancia a las carreteras, el aspecto, la curvatura del terreno, la pendiente, la altitud y la cobertura terrestre, demuestra un enfoque integral para capturar los diversos factores que influyen en la ocurrencia de dichos eventos.

La decisión de emplear un área de análisis mayor al seleccionar dos cuencas hidrográficas de nivel 7 de la base de datos HydroSHEDS es muy apropiada. Un área de entrenamiento más amplia permite una mejor generalización del modelo, haciéndolo aplicable más allá del área de estudio. Del mismo modo, el énfasis en el análisis del rendimiento del modelo, incluida la matriz de confusión entre otras reconocidas métricas muestra un enfoque sólido para validar la eficacia del modelo. Además, la aplicación de la clasificación Natural Breaks es una opción inteligente, que proporciona niveles más lógicos en comparación con otros métodos de distribución.

Sin embargo, he identificado algunas áreas que podrían mejorarse para que los resultados reflejen más fidedignamente los niveles de susceptibilidad por flujos de detritos observados en el área de estudio:

- **Inclusión de restricciones de contorno:** Se sabe que los flujos de escombros ocurren predominantemente encauzados. La integración de información espacial relacionada con estas características específicas puede mejorar la precisión del análisis de susceptibilidad efectuado. En tal sentido, sugiero usar modelos digitales de elevación (DEM) de mayor resolución o datos hidrológicos para delinear y dar cuenta de la influencia de los arroyos y canales en el área de estudio.
- **Evaluación localizada:** en lugar de proporcionar niveles de susceptibilidad para toda la microcuenca Sahuanay, podrías considerar dividir el área de estudio en subregiones más pequeñas (por ejemplo, microcuencas de captación o subcuencas). Realizar análisis separados para cada subregión, considerando sus características geológicas y topográficas únicas. Este enfoque captaría los patrones de susceptibilidad localizados con mayor precisión.
- **Validación con Datos Históricos:** Para reforzar la evaluación del desempeño del modelo, recomiendo validar las predicciones con eventos históricos de flujo de detritos en la microcuenca Sahuanay. La comparación de los resultados del modelo obtenido con eventos anteriores proporcionará información sobre su capacidad para capturar con precisión eventos de flujos verificados en el pasado.

Felicitó tu dedicación para refinar la metodología presentada y confío en que, con las mejoras sugeridas, tu propuesta metodológica contribuirá significativamente a mitigar los riesgos asociados con estos eventos en Abancay, así como en otras áreas de características similares.

Deseándote éxitos en el desarrollo de tu investigación me despido cordialmente.

Atentamente,
Dr. Sandra Villacorta
CDU Adjunct Researcher

Figura 130 — Validación de la metodología de la tesis

Extraído de: Dr. Sandra Villacorta, Charles Darwin University – Australia

Perfil de la experta Dr. Sandra Paula Villacorta Chambi (superior), proyectos de investigación en riesgos geológicos y como coordinadora del proyecto “peligros geológicos en la cuenca del río Mariño (Abancay – Apurímac)” (inferior)



VILLACORTA CHAMBI SANDRA PAULA

Doctora en investigación, modelización y análisis del riesgo en medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Madrid (UPM, 2018). Líder de proyectos de investigación con 20 años de experiencia, participando de programas de investigación sobre riesgos de origen geológico, Geomorfología, Geología Ambiental, ingeniería geológica y modelización numérica y análisis mediante SIG de información geoambiental para la prevención de desastres. Experiencia en educación en geociencias, organización de eventos geocientíficos y networking. Desde el 2018, investigador asociado a la Universidad Charles Darwin (Australia), Investigador líder del Servicio geológico del Perú entre el 2002 y 2018. Training en modelación paleohidrológica de flujos de escombros. Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 2017). Especialista en gestión de desastres relacionados con movimientos en masa e inundaciones en el SABO & Landslides Technical Center (Japón, 2015). Especialista en el Análisis y la Gestión de los Riesgos por Avenidas e Inundaciones en la Universidad Castilla La Mancha (España, 2012). Master Internacional en Ciencias con mención en Medio Ambiente en la UPM (2008) Estancia profesional en el IGME (España), 2006 y training en análisis de información Geoambiental mediante SIG en la Facultad de Ciencias de la geoinformación y observación de la Tierra de la Universidad de Twente (Holanda, 2005. Ingeniera Geóloga de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI, 2003). En el 2011 docente asociado a la UNI (Facultad de Ingeniería geológica) en la cátedra de Geología Aplicada y en el 2015 en el curso de Postgrado en Evaluación de Riesgos causados por fenómenos naturales de la Facultad de Ingeniería Civil. Miembro de IUGS-COGE, de la International Geoscience Education Organization y de la Sección peruana de la International Association for Promoting Geoethics. Miembro de la Sociedad Geológica de Australia.



Fecha de última actualización: 10-03-2022

Scopus[®]

Scopus Author ID: 55620089300

ORCID

ORCID ID: 0000-0003-1734-0477

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

Título	Descripción	Fecha de Inicio	Fecha Fin	Inv. Principal	Área OCDE
Peligros Geológicos en la región Apurímac	Proyecto del INGEMMET	Junio 2011	Junio 2012	SANDRA PAULA VILLACORTA CHAMBI	
Riesgo Geológico en la cuenca del río Mala	Tesis de pregrado	Junio 2002	Mayo 2003	SANDRA PAULA VILLACORTA CHAMBI	
Geología, Geomorfología, Peligros Geológicos y Características Ingeniero-geológicas en el área de Lima Metropolitana y la región Callao	Proyecto del INGEMMET	Marzo 2008	Diciembre 2011	SANDRA PAULA VILLACORTA CHAMBI	
Análisis de susceptibilidad por movimientos de ladera en la cuenca Llamínchán, Región de Cajamarca-Perú	Tesis de Máster	Junio 2006	Agosto 2008	SANDRA PAULA VILLACORTA CHAMBI	Ciencias Naturales
Peligros geológicos en la cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac)	Proyecto del INGEMMET	Abril 2014	Diciembre 2015	SANDRA VILLACORTA	
Evolución geomorfológica-hidrológica del abanico de Lima y sus implicancias en el Cambio Climático	Tesis Doctoral	Marzo 2012	Noviembre 2018	SANDRA PAULA VILLACORTA CHAMBI	

Figura 131 — Perfil de la experta Dr. Sandra Paula Villacorta Chambi

Extraído de: Ficha CTI Vitae - CONCYTEC

Anexo E. Fotografías, certificados y solicitudes



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación
en Glaciares y Ecosistemas de Montaña

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"



Firmado digitalmente por CHAVEZ
RODRIGUEZ Claudia Giovanna FAU
2022050404202 soft
Cargo: Responsable De Brindar
Información De Acceso Al Público
Motivo: Soy el autor del documento
20220504 09:00:28 -05:00



BICENTENARIO
PERÚ 2021

Huaraz, 01 de Junio del 2022

CARTA N° D000007-TAIP-PE-INAIGEM-2022

TUÑOQUE ZELA WILMER ALBERTO

URB. LA GRANJA S/N, APURIMAC-ABANCAY-ABANCAY

Asunto : Respuesta a la Solicitud de Imágenes Vuelo Drone Ciudad De Abancay

Referencia : a.-Solicitud S/N (Exp N.º 2022-0000626)

b.- MEMORANDO N° D000169-DIG-PE-INAIGEM-2022
(28MAY2022)

Me dirijo a usted para saludarlo cordialmente, asimismo en atención a la Solicitud de información ingresado con el expediente 2022-0000626 de fecha 18 de mayo del presente año, sobre las Imágenes Vuelo Drone Ciudad De Abancay, adjunto el documento de la referencia b y anexos, remitido por la Dirección de Investigación en Glaciares.

Anexa:

- MEMORANDO N° D000169-DIG-PE-INAIGEM-2022
- INFORME N° D000048-SDRAG-DIG-INAIGEM-2022
- Correo electrónico remitido por el Ing, Juan Torres.

Sin otro particular, quedo de usted

Atentamente,

CLAUDIA GIOVANNA CHAVEZ RODRIGUEZ
Responsable de brindar Información de acceso al público
TRANSPERENCIA Y ACCESO A LA INFORMACION PUBLICA - TAIP

(CCR)
2022-0000626

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sgd.inaigem.gob.pe/validadorDocumental> e ingresando la siguiente clave: 7LRVINH

www.gob.pe/inaigem

Jr. Juan Bautista Mejía Nro. 887
Huaraz - Ancash - Perú Teléfonos: (043) 221766 / 456234
Av. Comandante Espinar 860 - Oficina 301
Miraflores - Lima I Teléfono: (01) 3017443
Av. Industrial Nro1, Mz. N Lt. 1 Urb. Residencial Huancaro
Santiago - Cusco

Figura 132 — Solicitud de información al INAIGEM

Extraído de: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montañas – INAIGEM


Consultas trámite documentario

Consulta el estado de tu trámite

Año:

Código del documento:
[Ver ejemplo](#)

Clave:
[Ver ejemplo](#)

Ingrese el código que se muestra en la imagen:  [Actualizar](#)

Resultado de la búsqueda

Código del documento
000735-2022

Fecha de ingreso
18/05/2022 16:10

Remitente
Wilmer Alberto Tuñoque Zela

Documento
CARTA S/N del 18/05/2022

Asunto
Solicitud de Imágenes Satelitales

#	Area destino	Fecha derivación	Estado
1	CONIDA-TRÁMITE DOCUMENTARIO	18/05/2022 16:10	CONCLUIDO
2	Gerencia General	18/05/2022 16:10	CONCLUIDO

Figura 133 — Solicitud de información a CONIDA

Extraído de: Agencia Espacial del Perú – CONIDA

Expediente N° **2023-0000749** Años **2023** **BUSCAR**

Documento
SOLICITUD N°691415: SOLICITA INFORMACION METEOROLOGICA

EXPORTAR A EXCEL

FECHA ENVÍO	OFENÍA	OBSERVACIONES	OF RECIBE
2023-02-02 10:45:30.0	UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL - VALVERDE BOCANEGRA MANUEL JESUS		UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL - VALVERDE BOCANEGRA MANUEL JESUS
2023-02-03 12:59:00.0	UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL - VALVERDE BOCANEGRA MANUEL JESUS		UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL - MARTINEZ TABRAJ MILAGROS DEL PILAR
2023-02-03 15:33:16.0	UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL - VALVERDE BOCANEGRA MANUEL JESUS		SUBDIRECCION DE GESTION DE DATOS - ALIAGA GRANADOS NATALY PILAR
2023-02-03 18:58:06.0	SUBDIRECCION DE GESTION DE DATOS - ALIAGA GRANADOS NATALY PILAR		SUBDIRECCION DE GESTION DE DATOS - WONG ALZA DORIS CAROLINA
2023-02-10 08:43:33.0	SUBDIRECCION DE GESTION DE DATOS - WONG ALZA DORIS CAROLINA		SUBDIRECCION DE GESTION DE DATOS - ALIAGA NESTARES VANNA JAQUELINE
2023-02-10 14:44:13.0	SUBDIRECCION DE GESTION DE DATOS - ALIAGA NESTARES VANNA JAQUELINE		UNIDAD DE ATENCION AL CIUDADANO Y GESTION DOCUMENTAL - PENARANDA BRICENO TANIA JANET

Figura 134 — Solicitud de información al SENAMHI

Extraído de: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI

INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Estimado(a). Por el presente tengo a bien informarle que su documento ha sido ingresado a nuestra Ventanilla Virtual del INGEMMET con correlativo N° 67765.

Datos del documento:

N° Folios : 6

Asunto : SOLICITUD DE INFORMACION DIGITAL DEL BOLETIN N71 - ABANCAY, APURIMAC

Fecha y Hora de recepcion : 23/09/2022 11:20:31

Usuario Recepciono : JCARDENAS

Sello : 

Av. Canada 1470, San Borja - Lima 41, Peru. | Central Telefonica: 0051-1-6189800

Figura 135 — Solicitud de información al INGEMMET

Extraído de: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET

CONCYTEC FONDECYT

INAIGEM INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y ECOSISTEMAS DE MONTAÑA

CERTIFICADO

Por medio del presente, certificamos que:

WILMER ALBERTO TUÑOQUE ZELA

participó en la

Recopilación de datos de vulnerabilidad ante peligro por aluvión en la ciudad de Abancay - Apurímac en el marco del proyecto GLOP (Lagunas de origen Glaciar en el Perú: Evolución, peligros e impacto del cambio climático).

como:

Voluntario (a)

durante los días 19, 20, 21, 22, 23 y 24 de octubre del 2022.

FIRMA DIGITAL: INAI GEM
Firmado digitalmente por ROJAS GUTIERREZ, Guillermo Arturo FAU 20500494292 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31.10.2023 12:49:05 -05:00

Guillermo Rojas Gutierrez
Gerente General

Proyecto GLOP
Lagunas de origen glaciar en el Perú
Evolución, peligros e impactos del Cambio Climático

FIRMA DIGITAL: INAI GEM
Firmado digitalmente por TORRES LAZARO, Juan Carlos FAU 20500494292 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 08.02.2023 12:15:00 -05:00

Juan Carlos Torres Lázaro
Coordinador de proyecto



Figura 136 — Certificado de participación el proyecto GLOP

Extraído de: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña – INAIGEM

GALERÍA FOTOGRÁFICA



Figura 137 — Vista panorámica del Nevado Ampay



Figura 138 — Laguna Angascocha del Santuario Nacional del Ampay



Figura 139 — Medición de tirantes, ancho y sección de manantiales



Figura 140 — Pendientes altas en el cerro Chuyllurpata



Figura 141 — Estado actual de muros de contención de la quebrada Sahuanay



Figura 142 — Estado actual de muros de contención y almacenamiento



Figura 143 — Empadronamiento de viviendas y recopilación de información



Figura 144 — Ensayo de mecánica de suelos del cerro Chuyllurpata

Anexo F. Declaratoria de originalidad del autor

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Wilmer Alberto Tuñoque Zela, identificado con DNI N° 70668194 bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, con código de estudiante N° 142394, con domicilio en Av. 4 de noviembre s/n – Villa Ampay, distrito de Abancay, provincia de Abancay, departamento de Apurímac.

Declaro bajo juramento:

- La originalidad fiel de la presente investigación de tesis titulada “Riesgo cuantitativo por flujo de detritos desencadenados por precipitaciones pluviales en la microcuenca Sahuanay, distrito de Tamburco – Abancay – Apurímac, 2023”, la cual no cuenta con robo o plagio de otros autores peruanos e internacionales.
- La fidelidad de la recolección y procesamiento de datos en los resultados de la investigación.
- Uso de software con licencia y libres para los cálculos de la investigación.
- Realizar solicitudes por mesa de partes a las instituciones del estado peruano para obtener información y datos (visualizados en los anexos), las cuales se han usado citando la procedencia de estas, sin alterar o manipular maliciosamente en la obtención de resultados.

Abancay, 20 de diciembre de 2023



Wilmer Alberto Tuñoque Zela

DNI N° 70668194