

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**



**TESIS**

“Evaluación de riesgo por flujo de detritos y modelamiento hidrológico de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022”

Presentado por:

**Bach. FRIHZ JOHAN, YUCRA INCA**

Para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Abancay – Apurímac – Perú**

**2023**

## **Tesis**

Evaluación de riesgo por flujo de detritos y modelamiento hidrológico de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022

### **Línea de investigación:**

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible.

### **Asesor:**

PhD. Abbon Alex Vásquez Ramírez



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“EVALUACIÓN DE RIESGO POR FLUJO DE DETRITOS Y MODELAMIENTO  
HIDROLÓGICO DE LA QUEBRADA SAHUANAY EN EL DISTRITO DE  
TAMBURCO, ABANCAY, 2022”**

Presentado por el Bach. **FRIHZ JOHAN YUCRA INCA**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Sustentado y aprobado el 03 de mayo del 2023 ante el jurado

Presidente : Mg. Marco Antonio Gálvez Quintana  
Primer miembro : MSc. Angel Maldonado Mendivil  
Segundo miembro : Ing. Milson Moran Moreno  
Asesor : Ph.D Abbon Alex Vázquez Ramírez

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico de todo corazón a mi mamá Antonia, por ser mi fuente de inspiración, gracias a su amor incondicional, paciencia y enseñanzas, junto a mi padre Pedro, me han educado de la mejor manera.

A mis hermanos: Henry, Fidel, Yoselyn por aportar siempre buenas enseñanzas en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme tener tan buenas experiencias de aprendizaje durante la etapa universitaria, a mis docentes por ser quienes me llenaron de conocimiento y apoyo durante toda esta etapa de mi formación profesional.

A mi asesor Ph.D Abbon Alex Vásquez Ramirez por su compromiso y oportunidad de compartir sus conocimientos conmigo, por su paciencia, comprensión y soporte para el desarrollo y finalización de esta Tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
POSPORTADA .....	ii
PÁGINA DE JURADOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	xvii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xxi
ACRÓNIMOS.....	xxiii
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT.....	xxv
INTRODUCCIÓN.....	xxvi
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1 Realidad problemática .....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	3
1.2.1 <i>Formulación de problema</i> .....	3
1.2.2 <i>Problema general</i> .....	3
1.2.3 <i>Problemas específicos</i> .....	3
1.3 Justificación de la investigación.....	4
1.4 Objetivos de la investigación .....	4
1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	4
1.4.2 <i>Objetivo Específicos</i> .....	5
1.5 Delimitación de la investigación.....	5

1.5.1	<i>Espacial</i> .....	5
1.5.2	<i>Temporal</i> .....	5
1.5.3	<i>Social</i> .....	5
1.5.4	<i>Conceptual</i> .....	6
1.6	Viabilidad de la investigación.....	6
1.7	Limitaciones.....	7
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>		<b>8</b>
2.1	Antecedentes de la investigación .....	8
2.1.1	<i>A nivel internacional</i> .....	8
2.1.2	<i>A nivel nacional</i> .....	13
2.1.3	<i>A nivel regional y local</i> .....	19
2.2	Bases teóricas .....	21
2.2.1	<i>Movimientos en masa</i> .....	21
2.2.1	<i>Flujo de detritos</i> .....	24
2.2.2	<i>Propiedades mecánicas del del flujo de detritos</i> .....	29
2.2.3	<i>Factores que desencadenan los flujos de detritos</i> .....	30
2.2.4	<i>Reología de los flujos de detritos</i> .....	32
2.2.5	<i>Modelamiento hidrológico</i> .....	33
2.2.6	<i>Evaluación de riesgos</i> .....	35
2.3	Marco conceptual .....	46
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>		<b>49</b>
3.1	Hipótesis .....	49
3.1.1	<i>Hipótesis general</i> .....	49
3.1.2	<i>Hipótesis específicas</i> .....	49
3.2	Método.....	50

3.3 Tipo de investigación .....	50
3.4 Nivel o alcance de investigación .....	51
3.5 Diseño de investigación .....	51
3.6 Operacionalización de variables .....	52
3.7 Población, muestra y muestreo .....	53
3.7.1 Población.....	53
3.7.2 Muestra .....	53
3.8 Técnicas e instrumentos .....	53
3.8.1 Técnicas .....	53
3.8.2 Instrumentos.....	54
3.9 Consideraciones éticas.....	54
3.10 Procesamiento de estadísticos.....	55
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>56</b>
4.1 Resultados.....	56
4.1.1 Ubicación y descripción del área de estudio.....	56
4.1.2 Precipitación.....	58
4.1.3 Hidrología .....	59
4.1.4 Modelo hidrológico de la micro cuenca Sahuanay .....	74
4.1.5 Simulación del flujo de detritos en la quebrada Sahuanay .....	113
4.1.6 Características del área de estudio .....	120
4.1.7 Determinación del nivel de peligrosidad .....	142
4.1.8 Determinación del nivel de vulnerabilidad .....	150
4.1.9 Determinación del nivel de riesgo.....	168
4.2 Discusión de resultados.....	171
4.3 Prueba de hipótesis .....	174



Conclusiones.....	180
Recomendaciones.....	181
Bibliografía.....	182
Anexos.....	186

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de movimientos en masa según Cruden y Varnes (1996).</i> .....	22
Tabla 2. <i>Escala de velocidades según Varnes (1958), (1996)</i> .....	23
Tabla 3. <i>Valores de deposición del flujo de detritos.</i> .....	29
Tabla 4. <i>Aspectos físicos modificado por Supúlveda (1998)</i> .....	30
Tabla 5. <i>Operacionalización de variables.</i> .....	52
Tabla 6. <i>Instrumentos que se utilizó en la investigación.</i> .....	54
Tabla 7. <i>Clasificación según tamaño</i> .....	61
Tabla 8. <i>Unidades hidrográficas y orden en relación del área y perímetro.</i> .....	63
Tabla 9. <i>Forma de la cuenca hidrográfica mediante el coeficiente de compacidad o índice de gravelius</i> .....	64
Tabla 10. <i>Rangos aproximados del factor de forma, establecidos por Pérez en 1979.</i> .....	66
Tabla 11. <i>Elevaciones con su respectivo porcentaje de superficie</i> .....	67
Tabla 12. <i>Topográfica adoptada por una cuenca según rangos aproximados de su pendiente media.</i> .....	69
Tabla 13. <i>Clasificación del escurrimiento mediante el tipo de corriente</i> .....	70
Tabla 14. <i>Relación de bifurcación de la micro cuenca Sahuanay</i> .....	73
Tabla 15. <i>Coordenadas de la red de estaciones virtuales de la micro cuenca Sahuanay</i> .....	76
Tabla 16. <i>Registro de precipitación máxima de 24 horas de la estación Sahuanay</i> .....	77
Tabla 17. <i>Valores para una muestra con un nivel de significando de 10%.</i> .....	79
Tabla 18. <i>Precipitación máxima anual de 24 horas de la estación Sahuanay.</i> .....	80

Tabla 19. <i>Cálculo de la media (<math>\bar{Y}</math>), desviación estándar (<math>S_y</math>) y el coeficiente de asimetría (<math>C</math>) de los datos de precipitación máxima de 24 horas de la estación Sahuanay.</i>	81
Tabla 20. <i>Parámetros estadísticos de las precipitaciones máximas de 24 horas.</i>	82
Tabla 21. <i>Cálculo del tiempo de reporto para las precipitaciones máximas de 24 anuales de la estación virtual Sahuanay</i>	84
Tabla 22. <i>Resumen estadístico de 24 horas distribución normal</i>	86
Tabla 23. <i>Cálculo de la distribución normal y log normal de las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación Sahuanay.</i>	86
Tabla 24. <i>Resumen estadístico de 24 horas distribución Gumbel.</i>	87
Tabla 25. <i>Cálculo de la distribución Gumbel de las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación Sahuanay.</i>	88
Tabla 26. <i>Resumen estadístico de 24 horas distribución Pearson tipo II</i>	89
Tabla 27. <i>Cálculo de la distribución Pearson tipo III y log Pearson tipo III de las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación Sahuanay.</i>	90
Tabla 28. <i>Valores críticos del delta teórico (<math>d</math>) para la prueba de Smirmov Kolmogorov</i>	92
Tabla 29. <i>Calculo y análisis del delta tabular de las precipítatenos máximas de 24 horas de la estación Sahuanay.</i>	93
Tabla 30. <i>Resumen de los valores del delta teórico de las 8 diferentes distribuciones</i>	94
Tabla 31. <i>Cálculo de las precipitaciones máximas anuales de 24 horas para diferentes tiempos de retorno.</i>	95
Tabla 32. <i>Regionalización y parámetros para la estación virtual Sahuanay.</i>	100

Tabla 33. <i>Precipitaciones y intensidad para diferente tiempo (t) según el método IILA-SENAMHI-UNI de la estación Sahuanay</i> .....	101
Tabla 34. <i>Precipitaciones máximas de diseño para diferentes tiempos de retorno de la estación Sahuanay</i> .....	102
Tabla 35. <i>Intensidades de diseño para diferentes tiempos de retorno de la estación Sahuanay</i> .....	103
Tabla 36. <i>Precipitaciones máximas para distintos tiempos (t) para un retorno de 100 años</i> .....	106
Tabla 37. <i>Estimación del número de curva de la micro cuenca Sahuanay</i> .....	108
Tabla 38. <i>Caudal total en cada uno de las sub-cuencas de la micro cuenca Sahuanay</i> .....	112
Tabla 39. <i>Resultados del estudio de mecánica de suelos de la quebrada Sahuanay</i> .....	114
Tabla 40. <i>Propiedades de la matrices de flujo de lodo según la clasificación de O'brien</i> .....	115
Tabla 41. <i>Comportamiento del flujo en función de Cv</i> .....	116
Tabla 42. <i>Población distrital</i> .....	121
Tabla 43. <i>Población distrital según grupo etario</i> .....	122
Tabla 44. <i>Material predominante en paredes</i> .....	123
Tabla 45. <i>Material predominante en techos</i> .....	124
Tabla 46. <i>Tipo de abastecimiento de agua</i> .....	125
Tabla 47. <i>Tipo de servicios higiénicos</i> .....	126
Tabla 48. <i>Tipo de alumbrado</i> .....	127
Tabla 49. <i>Tipo de seguro</i> .....	128
Tabla 50. <i>Actividad económica</i> .....	129

Tabla 51. <i>Caracterización de lluvias extremas según sus precipitaciones</i> .....	141
Tabla 52. <i>Ponderación de parámetros y descriptores desarrollados por L. Saaty</i> .....	142
Tabla 53. <i>Valores de índice aleatorio para diferentes “n” (Aguarón y Moreno- Jimenes,2011)</i> .....	143
Tabla 54. <i>Matriz de comparación de pares para magnitud de movimientos en masa.</i> .....	144
Tabla 55. <i>Matriz de comparación de pares para geomorfología.</i> .....	144
Tabla 56. <i>Matriz de comparación de pares para geología</i> .....	145
Tabla 57. <i>Matriz de comparación de pares para pendientes</i> .....	145
Tabla 58. <i>Matriz de comparación de pares para frecuencia</i> .....	146
Tabla 59. <i>Matriz de comparación de pares para precipitación</i> .....	147
Tabla 60. <i>Matriz de comparación de pares para geomorfología, pendiente del cauce y geología</i> .....	147
Tabla 61. <i>Factores de evaluación del peligro en la quebrada la quebrada Sahuanay.</i> .....	148
Tabla 62. <i>Niveles de peligro</i> .....	149
Tabla 63. <i>Estratificación de los niveles de peligro en el área de estudio</i> .....	149
Tabla 64. <i>Matriz de comparación de pares para antigüedad de edificaciones</i> ....	151
Tabla 65. <i>Matriz de comparaciones de pares para grupo etario.</i> .....	152
Tabla 66. <i>Matriz de comparación de pares para condiciones del propietario</i> .....	152
Tabla 67. <i>Matriz de comparación de pares de organizaciones vecinales</i> .....	153
Tabla 68. <i>Matriz de comparación de pares de componentes de actitud frente al riesgo</i> .....	154

Tabla 69. <i>Matriz de comparación de pares para los parámetros de afiliación seguro y salud.</i> .....	154
Tabla 70. <i>Matriz de comparación de pares para la fragilidad de la dimensión social</i> .....	155
Tabla 71. <i>Matriz de comparación de los parámetros de resiliencia social.</i> .....	156
Tabla 72. <i>Matriz de comparación de pares en material de construcción de muros</i> .....	156
Tabla 73. <i>Matriz de comparación de pares para ubicación de las viviendas.</i> .....	157
Tabla 74. <i>Matriz de comparación de pares para cobertura de techo.</i> .....	157
Tabla 75. <i>Matriz de comparación de pares para la dimensión social.</i> .....	158
Tabla 76. <i>Matriz de comparación de pares para ingresos económicos por familia.</i> .....	159
Tabla 77. <i>Matriz de comparación de pares para ingresos económicos por familia.</i> .....	159
Tabla 78. <i>Matriz de comparación de pares para ocupación de lote.</i> .....	160
Tabla 79. <i>Matriz de comparación de pares para la resiliencia económica.</i> .....	160
Tabla 80. <i>Matriz de comparación de pares para área de conservación del cauce.</i> .....	161
Tabla 81. <i>Matriz de comparación de pares para contaminación del cauce.</i> .....	162
Tabla 82. <i>Matriz de comparación de pares para factores antropogénicos de modificación del cauce.</i> .....	162
Tabla 83. <i>Matriz de comparación de pares para fragilidad ambiental.</i> .....	163
Tabla 84. <i>Matriz de comparación de pares para centros de atención de emergencias.</i> .....	164

Tabla 85. <i>Matriz de comparación de pares para conservación de entorno ambiental.</i>	164
Tabla 86. <i>Matriz de comparación de pares para conocimiento de la normativa ambiental.</i>	165
Tabla 87. <i>Matriz de comparación de pares para la resiliencia ambiental.</i>	165
Tabla 88. <i>Niveles de vulnerabilidad.</i>	166
Tabla 89. <i>Estratificación de los niveles de vulnerabilidad.</i>	167
Tabla 90. <i>Cálculo del riesgo.</i>	168
Tabla 91. <i>Niveles de riesgo.</i>	168
Tabla 92. <i>Estratificación de los niveles de riesgo por flujo de detritos.</i>	169
Tabla 93. <i>Análisis comparativo de la evaluación de riesgo por flujo de detritos.</i>	171
Tabla 94. <i>Análisis comparativo de simulación de flujo de detritos con municipalidad provincial de Abancay (2016).</i>	172
Tabla 95. <i>Análisis comparativo de la peligrosidad.</i>	173
Tabla 96. <i>Análisis comparativo de la vulnerabilidad por flujo de detritos.</i>	174
Tabla 97. <i>Muestra simulación numérica de la velocidad del flujo de detritos.</i>	175
Tabla 98. <i>Datos para la peligrosidad - precipitación.</i>	177
Tabla 99. <i>Datos para la vulnerabilidad – carácter social.</i>	178
Tabla 100. <i>Matriz de consistencia.</i>	188
Tabla 101. <i>Elevaciones con sus respectivas superficies de la microcuenca Sahuanay.</i>	198
Tabla 102. <i>Creación de la red de estaciones virtuales de la microcuenca Sahuanay.</i>	199

Tabla 103. <i>Subdivisión del territorio en zona y subzonas pluviométricas y valores de los parámetros <math>k'g</math> y <math>\varepsilon g</math> que definen la distribución de probabilidades de <math>hg</math> en cada punto.....</i>	209
Tabla 104. <i>Valores de los parámetros <math>a</math> y <math>n</math>, junto con <math>K'</math>, definen las curvas de probabilidad pluviométrica en cada punto de las subzonas. ....</i>	210



## ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. <i>Tipos de movimientos de remociones en masa Highland (2004).</i> .....	23
Imagen 2. <i>Flujos canalizados y flujo de pendiente abierta</i> .....	24
Imagen 3. <i>Ruta del flujo de detritos</i> .....	25
Imagen 4. <i>Vista panorámica del deslizamiento de arranque del flujo de detrito del evento del 2012 en la cabecera de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco.</i> .....	26
Imagen 5. <i>Viviendas afectadas por la inundación del flujo de detritos</i> .....	27
Imagen 6. <i>Vista panorámica del estadio Maucacalle donde se acumuló casi el 80% del material del flujo, la altura aproximada del depósito es de 3 metros en la parte más profunda, evento del 2012 en el distrito de Tamburco.</i> .....	28
Imagen 7. <i>Daños originados por flujo de detritos generando grandes pérdidas..... económicas.</i> .....	31
Imagen 8. <i>Clasificación de peligros</i> .....	36
Imagen 9. <i>Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales.</i> .....	37
Imagen 10. <i>Parámetros para la identificación y caracterización del peligro</i> .....	38
Imagen 11. <i>Factores condicionantes del peligro</i> .....	40
Imagen 12. <i>Factores desencadenantes</i> .....	40
Imagen 13. <i>Viviendas expuestas y susceptibles a inundación de detritos en el sector de Podocarpus en Abancay marzo 2012.</i> .....	43
Imagen 14. <i>Tipo de construcción de viviendas en las riberas del cauce de la quebrada Sahuanay, Tamburco.</i> .....	44
Imagen 15. <i>Mapa de ubicación de la quebrada Sahuanay del distrito de Tamburco</i> .....	57

Imagen 16. <i>Delimitación de la micro cuenca Sahuanay con los softwares HEC-HMS v-4.10 y ARCMAP v-10.5</i> .....	60
Imagen 17. <i>Área y perímetro de la micro cuenca Sahuanay calculadas del software ARC-MAP v-10.5</i> .....	61
Imagen 18. <i>Longitud del cauce principal de la micro – cuenca Sahuanay</i> .....	62
Imagen 19. <i>distancia en línea recta entre el punto de salida o aforo hasta el punto más alejado de donde recorrerá la gota de agua</i> .....	65
Imagen 20. <i>Análisis hipsométrico, representado por Campos 1998</i> .....	66
Imagen 21. <i>Modelos de drenajes más frecuentes de la red de cauces</i> .....	71
Imagen 22. <i>La micro cuenca Sahuanay muestra un tipo drenaje dendrítico</i> .....	71
Imagen 23. <i>Orden de corrientes de la micro cuenca Sahuanay</i> .....	72
Imagen 24. <i>Estaciones virtuales de cada uno de los centroides de las subcuencas de la micro cuenca Sahuanay</i> .....	76
Imagen 25. <i>Regionalización del Perú según la metodología elaborada por IILA-SENAMHI-UNI-1993</i> .....	99
Imagen 26. <i>Uso del suelo en la micro cuenca Sahuanay</i> .....	108
Imagen 27. <i>Reconocimiento del hietograma de la micro cuenca Sahuanay y el caudal máximo en el punto de aforo mediante el HEC-HMS v 4.10</i> .....	111
Imagen 28. <i>Umbrales máximos y mínimos de caudales calculados por el software HEC-HMS</i> .....	111
Imagen 29. <i>Caudal total en el punto de aforo de la micro cuenca Sahuanay para un retorno de 100 años</i> .....	112
Imagen 30. <i>Ubicación de las calicatas</i> .....	114
Imagen 31. <i>Parametros reologicos para el modelo numerico en HEC - RAS</i> .....	116

Imagen 32. <i>Histograma de velocidades y alturas máximas del flujo de detritos... extraído de los resultados del software HEC-RAS v 6.1</i> .....	117
Imagen 33. <i>Velocidad en el terreno en el tramo 01+100 y 01+200 km</i> .....	118
Imagen 34. <i>Umbral máximo del flujo de detritos en la quebrada Sahuanay</i> ..	119
Imagen 35. <i>Velocidades del flujo de detritos en la quebrada Sahuanay</i> .....	119
Imagen 36. <i>Mapa de geología de la quebrada Sahuanay</i> .....	130
Imagen 37. <i>Depósitos del grupo Mitú al frente de la caseta de SERNANP</i> .....	131
Imagen 38. <i>Depósito de material coluvial originados por efecto de la gravedad</i> .	132
Imagen 39. <i>Material detrítico depositado en el canal y al alrededor de la quebrada</i> .....	132
Imagen 40. <i>Mapa de unidades geomorfológicas de la quebrada Sahuanay</i> .....	133
Imagen 41. <i>Depósito de material no consolidado, evidencia generada por el fenómeno natural ocurrido en el 2012</i> .....	134
Imagen 42. <i>Ladera de la quebrada Sahuanay</i> .....	135
Imagen 43. <i>Cauce de la quebrada Sahuanay en épocas de lluvia</i> .....	136
Imagen 44. <i>Pendientes del cauce Sahuanay mayores a 35%</i> . .....	136
Imagen 45. <i>Depósitos de material no consolidados en el cauce del canal</i> .....	137
Imagen 46. <i>Ladera de quebrada mayor al 30°</i> .....	137
Imagen 47. <i>Ladera de quebrada de creación antrópica que presenta una pendiente mayor a 30°</i> .....	138
Imagen 48. <i>Depósito de material no consolidado acumulados alrededor del cauce</i> .....	138
Imagen 49. <i>Construcción de obras provisionales sin ningún diseño adecuado</i> . .	139
Imagen 50. <i>Viviendas ubicadas en los límites del canal en la urbanización Maucacalle</i> .....	139

Imagen 51. Viviendas ubicadas en los límites del canal en la urbanización Sahuanay.....	140
Imagen 52. Quebrada Sahuanay, urbanización Maucacalle .....	140
Imagen 53. Mapa del nivel de riesgo de la quebrada Sahuanay parte baja.....	170
Imagen 54. Mapa del nivel de riesgo de la quebrada Sahuanay parte alta.....	170
Imagen 55. Rectificación del DEM de la quebrada Sahuanay.....	193
Imagen 56. Georeferenciación del DEM en el software HEC-HMS.....	194
Imagen 57. Creación del flujo de acumulación y el flujo de dirección en el software HEC-HMS.....	195
Imagen 58. Identificación del punto de salida o punto de aforo de la micro cuenca Sahuanay.....	196
Imagen 59. Exportación de la delimitación al software ArcMap. ....	196
Imagen 60. Cálculo de la curva hipsométrica por medio del software ArcMap. ..	197
Imagen 61. Regionalización del Perú según la metodología elaborada por IILA-SENAMHI-UNI-1993.....	208

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. <i>Histograma de precipitación máxima anual de la estación de Granja San Antonio</i> .....	58
Gráfico 2. <i>Curva hipsométrica de la micro cuenca Sahuanay</i> .....	67
Gráfico 3. <i>Polígono de frecuencias altimétricas de la micro cuenca Sahuanay</i> ...	68
Gráfico 4. <i>Histograma de precipitación máxima de 24 horas</i> . ....	80
Gráfico 5. <i>Límite de los umbralas máximos y mínimos del análisis de datos dudosos de la estación virtual Sahuanay</i> .....	83
Gráfico 6. <i>Precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes tiempos de retorno</i> . .....	96
Gráfico 7. <i>Valores de los parámetros a, n y k según la regionalización del Perú</i> . 98	
Gráfico 8. <i>Curva de intensidad duracion y frecuencia para un tiempo de retorno de 100 años</i> .....	104
Gráfico 9. <i>Hietograma de precipitaciones para un tiempo de 1 hora para un periodo de retorno de 100 años</i> .....	107
Gráfico 10. <i>Diagrama de la población distrital</i> .....	121
Gráfico 11. <i>Diagrama de población distrital según grupo etario</i> .....	122
Gráfico 12. <i>Diagrama del material predominante en paredes</i> .....	123
Gráfico 13. <i>Diagrama del material predominante en techos</i> .....	124
Gráfico 14. <i>Diagrama de tipo de abastecimiento</i> .....	125
Gráfico 15. <i>Diagrama del tipo de servicios higiénicos</i> . ....	126
Gráfico 16. <i>Diagrama de tipo de alumbrado</i> .....	127
Gráfico 17. <i>Diagrama de tipo de salud</i> . ....	128
Gráfico 18. <i>Diagrama de actividad económica</i> .....	129
Gráfico 19. <i>Eloboración de la campana Gauss para el 95% - simulación</i> .....	176
Gráfico 20. <i>Eloboración de la campana Gauss para el 95% - peligrosidad</i> .....	177
Gráfico 21. <i>Eloboración de la campana Gauss para el 95% - vulnerabilidad</i> .....	179

Gráfico 22. <i>Precipitaciones máximas para distintos tiempos de retorno. ....</i>	211
Gráfico 23. <i>Resultados de la simulación numérica del flujo de detritos por medio del software HEC-RAS parte alta de la quebrada Sahuanay. ....</i>	216
Gráfico 24. <i>Resultados de la simulación numérica del flujo de detritos por medio del software HEC-RAS parte alta de la quebrada Sahuanay. ....</i>	217
Gráfico 25. <i>Resultados de la simulación numérica del flujo de detritos por medio del software HEC-RAS parte media de la quebrada Sahuanay. ....</i>	218
Gráfico 26. <i>Resultados de la simulación numérica del flujo de detritos por medio del software HEC-RAS parte media de la quebrada Sahuanay. ....</i>	219
Gráfico 27. <i>Resultados de la simulación numérica del flujo de detritos por medio del software HEC-RAS parte baja de la quebrada Sahuanay. ....</i>	220
Gráfico 28. <i>Resultados de la simulación numérica del flujo de detritos por medio del software HEC-RAS parte baja de la quebrada Sahuanay. ....</i>	221

## **ACRÓNIMOS**

ANA. - Autoridad nacional del agua.

SINAGERD. - Sistema nacional de gestión de riesgo de desastres.

INGEMMET. - Instituto geológico, minero y metalúrgico del Perú.

CENEPRED. - Centro nacional de estimación, prevención y reducción de riesgo de desastres.

SENAMHI. - Servicio nacional de meteorología e hidrológica del Perú.

EVAR. - Evaluación de riesgos de desastres.

PAJ. - Proceso de análisis de proceso jerárquico Saaty.

DEM. - Modelo digital de elevación.

HEC-HMS. - Hydrologic Engineering center – hydrologic modeling system.

INEI. - Instituto nacional de estadística e informática.

SIGRID. - Sistema de información para la gestión del riesgo de desastres.

SENAMHI. - Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal la determinación de los niveles de riesgo ante la ocurrencia de un flujo de detritos (movimiento en masa) en la quebrada Sahuanay, teniendo en cuenta que en los últimos años la ocurrencia de lluvias extremas y continuas presentes anualmente en los meses de diciembre a abril, generarían daños inminentes a las viviendas que se encuentran a lo largo y alrededores del cauce del canal de la quebrada en casos de crisis climática, se obtuvo un caudal máximo de  $24.30 \text{ m}^3/\text{s}$  mediante el software HEC-HMS v 4.10, se simuló el flujo mediante el software HEC-RAS 6.1 usando el método de O'Brien, dándonos magnitudes de velocidades máximas que llegan hasta los  $8 \text{ m/s}$  y umbrales máximos de  $1.5 \text{ m}$ , se realizó el análisis de las condiciones urbanas, aspectos físicos, socioeconómicos, ambientales, sociales entre otros y también se calculó los niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y finalmente los niveles de riesgo por medio del proceso del análisis jerárquico (PAJ), se realizó los respectivos mapas de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo de la zona de evaluación, determinando los predios con riesgo **MUY ALTO, ALTO, MEDIO Y BAJO** ante la ocurrencia de un flujo de detritos.

**Palabras claves:** Simulación numérica, estimación del riesgo, análisis de la vulnerabilidad.



## ABSTRACT

The present investigation had as its main objective the determination of the levels of risk before the occurrence of a debris flow (mass movement) in the Sahuanay ravine, taking into account that in recent years the occurrence of extreme and continuous rains present annually in the months of December to April, would generate imminent damage to the houses that are along and around the bed of the channel of the ravine in cases of climate crisis, a maximum flow of 24.30 m<sup>3</sup>/s was obtained through the HEC-HMS software v 4.10, the flow was simulated using the HEC-RAS 6.1 software using the O'Brien method, giving us magnitudes of maximum speeds that reach up to 8 m/s and maximum thresholds of 1.5 m, the analysis of urban conditions was carried out, physical, socioeconomic, environmental, social aspects among others and also the levels of danger, vulnerability and finally the level of risk were calculated through the process of hierarchical analysis (PAJ), the respective maps of danger, vulnerability and risk of the evaluation zone, determining the properties with VERY HIGH, HIGH, MEDIUM and LOW risk in the event of a debris flow.

**Keywords:** Numerical simulation, risk estimation, vulnerability analysis.

## INTRODUCCIÓN

Según el servicio nacional de geología y minería (SERNAGEOMIN), describe que los flujos de detritos son una masa móvil suspendida en agua, está compuesta por una mezcla de rocas, sedimentos, agua y gases, donde el 50 % al 80 % es material sólido, esta ligado a ambientes de morfología montañosa donde la disponibilidad de material detrítico suelto se satura por la rápida incorporación del agua generalmente originada precipitaciones extremas.

La presente tesis realizo la evaluación de riesgo por flujo de detritos a la urbanización Maucacalle – Sahuanay, ubicada en el distrito de Tamburco, el cual se encuentra en un nivel de riesgo muy alto, se usó la metodología del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales del CENEPRED.

La presente investigación se divide en 4 capítulos, donde:

CAPITULO I.- Se realizo el planteamiento del problema, descripción de la realidad problemática, justificación de la investigación, objetivos, delimitación de la investigación y limitaciones.

CAPITULO II.- Se realizo la descripción del marco teórico, antecedentes de la investigación, bases teóricas y marco conceptual.

CAPITULO III.- Se realizo la hipótesis, el método, tipo de investigación, nivel o alcance de la investigación, diseño de la investigación, operacionalización de variables, población, muestra, técnicas e instrumentos, consideraciones éticas, procedimiento estadístico.

CAPITULO IV.- Se realizo los resultados, discusión de resultados y prueba de hipótesis.

## **Capítulo I: Planteamiento del problema**

### **1.1 Realidad problemática**

La región andina es un territorio muy sensible a la aparición de flujo de detritos y deslizamientos, los flujos de detritos son un proceso de movimiento en masa más destructivo en el mundo. Se presentan en zonas húmedas en los valles interandinos de Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia; Aunque en los cuatro países hay registro de impactos asociados con deslizamientos y flujo de detritos, la pérdida de vidas e infraestructura es comparativamente mayor en Colombia y Perú.

Diferentes movimientos en masa han impactado la ciudad de Abancay y más al distrito de Tamburco, debido a que la zona presenta una abrupta topografía, la presencia de antiguos movimientos en masa que se encuentra depositados en la cabecera de la población que frecuentemente son reactivados por lluvias intensas y continuas que se presentan anualmente entre los meses de diciembre a abril en

toda la ciudad de Abancay. De acuerdo con los datos del instituto nacional de defensa civil (INDECI) y del inventario nacional de peligros geológicos, “se han identificado en la cuenca del río Mariño 141 peligros de geodinámica externa, los cuales se puede desglosar una mayor ocurrencia de deslizamientos, caída de rocas y flujo de detritos (en especial avalanchas)”. INGEMMET, (2019, p. 69). El 18 de febrero de 1951 un flujo de lodo afecto al poblado de Tamburco llegando hasta la ciudad de Abancay, debido a las fuertes lluvias continuas sobresaturaron los depósitos de material sedimentario no consolidado. El depósito de material acumulado por la avalancha de detritos del cerro Chuyllurpata de 1951, produjo un nuevo tipo de fenómeno natural denominado un flujo de detritos (avalancha de detritos) el 18 de marzo del 2012, en su avance por la quebrada Sahuanay el flujo de detrito fue incorporando material coluvial resultado de la erosión lateral de su cauce, provocando derrumbes que incrementaron el volumen del flujo hasta un máximo de 1.8 (millones de m<sup>3</sup>), el evento descrito en el transcurso de su avance fue afectando terrenos de cultivo, sistema de desagüe, vías de comunicación secundarias y sobre todo a las viviendas ubicadas en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay. (INGEMMET, 2019, p. 72,74)

“En los meses de diciembre a abril se presentan lluvias extremas y continuas que la rápida incorporación del agua podría crear una reactivación de dicho fenómeno natural ya registrado anteriormente en los años 1951 y 2012”. INGEMMET, (2019, p. 136). En respuesta a esta necesidad en nuestro país se viene impulsando la formulación y adopción de políticas públicas para la gestión de riesgos de desastres, consecuencia de la cual se aprobó la Ley 29664, Ley de creación del sistema nacional de gestión de riesgos de desastres (SINAGERD). La presente investigación tomará como guía el manual para la evaluación de riesgos

originados por fenómenos naturales del CENEPRED, dicho manual presenta una metodología que analiza los parámetros de evaluación de los fenómenos y la susceptibilidad de estos, así como la vulnerabilidad de los elementos expuestos al fenómeno en función a la exposición, fragilidad y resiliencia.

## **1.2 Planteamiento del problema**

### **1.2.1 *Formulación de problemas***

El crecimiento desordenado de la población a lo largo y a los alrededores del cauce del canal de la quebrada Sahuanay, se encontrarían en un nivel de riesgo por flujo de detritos ante la ocurrencia de precipitaciones extremas y continuas en los periodos de diciembre a abril que se presentan anualmente, la presencia de antiguos movimientos en masa que se encuentran depositados en la cabecera de la población, material de relleno no consolidado que frecuentemente son reactivados por la rápida incorporación de agua y la topografía abrupta de la zona, pueden generar un fenómeno natural en este caso un flujo de detritos, que afectaría directamente a las viviendas ubicadas a lo largo y a los alrededores del cauce del canal de la quebrada Sahuanay limitando el área de estudio en el distrito de Tamburco tomando como población en estudio a la urbanización C.P.Maucacalle Sahuanay.

### **1.2.2 *Problema general***

¿Es posible que la zona de estudio presente un nivel de riesgo por flujo de detritos, donde el nivel de peligrosidad de los factores condicionantes y desencadenantes afectaría directamente a los niveles vulnerabilidad de los elementos expuestos que se encuentran en los alrededores de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022?

### **1.2.3 Problemas específicos**

- a) ¿De qué manera se puede aplicar el modelamiento de simulación numérica para la interpretación e identificación de los niveles de riesgo ante la ocurrencia de un flujo de detritos en los alrededores de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022?
- b) ¿Cómo se puede determinar los niveles de peligrosidad ante la ocurrencia de un flujo de detritos en los alrededores de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022?
- c) ¿En qué forma se puede realizar el análisis de los niveles de vulnerabilidad ante la ocurrencia de flujo de detritos en los alrededores de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022?

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

Esta investigación se justifica como un instrumento de gestión de riesgos de desastres, es por consiguiente el presente estudio tubo como propósito generar posibles mapas de riesgo por flujo de detritos y a través de estos conocer las zonas afectadas, lo cual beneficiara a una adecuada toma de decisiones por parte de las autoridades competentes o interesados en temas de gestión de riesgos de desastres (GRD) y un adecuado proceso de respuesta de los habitantes ante una eventualidad de este tipo de fenómeno natural denominado flujo de detritos y así evitando pérdidas humanas, económicas y daños estructurales.

### **1.4 Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar los niveles de riesgo por flujo de detritos en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.

### **1.4.2 Objetivo Específicos**

- a) Aplicar el modelamiento de simulación numérico para la identificación de los niveles de riesgo ante la ocurrencia de un flujo de detritos en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.
- b) Identificar y cuantificar los niveles de peligrosidad ante la ocurrencia de un flujo de detritos en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.
- c) Realizar el análisis de los niveles de vulnerabilidad ante la ocurrencia de un flujo de detritos en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.

## **1.5 Delimitación de la investigación**

### **1.5.1 Espacial**

Esta investigación está comprendida dentro de la ciudad de Abancay en el distrito de Tamburco a lo largo y a los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay tomando como población en muestra a la urbanización CP. Maucacalle Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco, donde se realizó los estudios pertinentes para obtener los resultados.

### **1.5.2 Temporal**

El periodo de estudio corresponde al año 2022.

### **1.5.3 Social**

Esta investigación tomo como población en muestra a la urbanización CP Maucacalle Sahuanay en el distrito de Tamburco.

#### **1.5.4 Conceptual**

La presente investigación, realizó estudios de riesgos ante la ocurrencia de un fenómeno natural denominado flujo de detritos en los alrededores de la quebrada Sahuanay y el modelamiento de simulación numérica para la identificación de las zonas de **MUY ALTO, ALTO, MEDIO** y **BAJO** riesgo, dicho esto si la ocurrencia de un fenómeno natural en este caso un flujo de detritos, estarían propensos a este tipo de riesgo los habitantes que se encuentran a lo largo y a los alrededores de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco.

#### **1.6 Viabilidad de la investigación**

El presente estudio realizó la evaluación de riesgo por flujo de detritos y el modelamiento hidrológico de la quebrada Sahuanay, el cual se evaluó teniendo en cuenta la disponibilidad económica, social y técnica.

**Viabilidad económica** La presente investigación es viable porque no se requirió exuberantes recursos económicos, ya que el estudio que se realizó es no experimental porque nos basamos en un fenómeno natural ya ocurrido en dos ocasiones anteriormente.

**Viabilidad social** Se ha podido realizar un adecuado censo a los pobladores de la zona e inventarios u otra información de carácter social a la urbanización CP. Maucacalle Sahuanay, lo cual dicha información se obtuvo de la municipalidad distrital de Tamburco e instituciones técnicas científicas como INEI, SUNARP, EMUSAP etc. Instituciones encargadas de realizar censos e inventarios a la población.

**Viabilidad técnica** La presente investigación es viable porque cuenta con un inventario de información confiable de diferentes estudios realizados por la municipalidad del distrito de Tamburco e instituciones técnicas científicas,



INGEMMET, CENEPRED, PREDES, debido a que el fenómeno natural (flujo de detritos) tiene dos ocurrencias pasadas en 1951 y 2012. Ya que la zona presenta una topografía abrupta, la presencia de material coluvial no consolidado, material no eliminado por las obras públicas e privadas y la presencia de antiguos movimientos de masa que

frecuentemente son reactivados por las lluvias continuas que se presentan anualmente en los meses de diciembre a abril.

### **1.7 Limitaciones**

**Limitaciones técnicas:** Referente a las entidades competentes en materia de gestión de riesgos de desastres, así como la municipalidad u otros, no cuentan con información técnica e historia confiable, de las intervenciones en cuanto a los peligros de fenómenos de remoción u transporte en masa en este caso un flujo de detritos.

Es limitado la disposición de la data de precipitaciones máximas mensuales de la estación Granja San Antonio solicitada a la entidad del SENAMHI, ya que la entidad no brindó la información solicitada en el cumplimiento de los plazos requeridas para la elaboración de este trabajo de investigación lo cual dificultó en cierta medida al proceso de investigación.

## Capítulo II: Marco teórico

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 A nivel internacional

(Lecaros, 2021), en su investigación propone evaluar la susceptibilidad a la generación de procesos de remoción tipo flujos de detritos y/o barro en la localidad de el tránsito, cuya población de 133 hogares se encuentran susceptible a la generación de ocurrencias de remoción de flujo de detritos, la metodología utilizada permitió evaluar factores condicionantes teniendo en cuenta la características geológicas – geotécnicas, geomorfológicas, vegetación, clima de la zona, por otra parte los factores condicionantes de la humedad y saturación , se analizó principalmente a través de imágenes satelitales, modelos de elevación (DEM), cartas geológicas y la generación de mapas de pendientes ArcGIS, en la hidrología e hidrogeología se analizó principalmente para identificar los cauces y quebradas teniendo en cuenta los quiebre abruptos en las pendientes de los ejes hidráulicos que responderían como agentes de disminución de energía durante eventos de remoción, el índice de susceptibilidad resulta de la suma de cada valor asignado de un rango de 0% a 100 % definiendo el valor de la susceptibilidad (IS)  $\geq 50\%$  es altamente susceptible a la generación de flujos de  $25\% \leq IS \leq 50\%$  medianamente susceptible y un valor de  $IS < 25\%$  no es susceptible, en relación los resultados obtenidos se observa que las zonas de mayor susceptibilidad corresponden a las zonas de alteración hidrotermal área que presenta una alta meteorización y desagregabilidad sumando con las características geológicas evidencia zonas altas pendientes  $> 25^\circ$ , por otra parte las zonas de baja susceptibilidad son depósitos semi consolidados de área gruesas a grava y bloques con pendientes ( $15^\circ - 17^\circ$ ),

en conclusión se determinó los principales materiales con cierto grado de susceptibilidad a ser movilizados, depósitos no consolidados como : Depósitos aluviales recientes, depósitos coluviales, depósitos aluviales antiguos, etc. Por otra parte, define que las precipitaciones son el factor desencadenante de estos procesos de remoción sin embargo resulta dificultoso determinar un umbral de precipitaciones crítico para la generación de flujo de detritos, sin un estudio detallado.

(Acero, 2019), en su investigación propone una metodología para calcular la amenaza por distintos movimientos en masa y avenidas torrenciales en Colombia, la población en estudio se encuentra en Labranzagrande en Boyacá, un total de 1500 habitantes aproximadamente se encuentra construida sobre un abanico aluvial que posiblemente este en un alto riesgo. Para la predicción del flujos de detritos se usó el modelamiento de la susceptibilidad generando un modelo estocástico por el método Máxima Entropía (MAXENT) desarrollado por el Centro para la biodiversidad y conservación del museo de historia natural de los Estados Unidos en el cual el software crea un modelo de predicción de ocurrencia de eventos aleatorios a partir de variables independientes correspondientes a la características del terreno y datos de entrada como factores ambientales, datos morfométricos , inventario de movimientos en masa, usando como curva construida por el método de la Características Operativa del Receptor ROC (Hosmer & Lemeshow, 2000), para completar el análisis se caracterizó la lluvia como detonante utilizando dos enfoques: el análisis de la precipitación real máxima en 24 horas de las estaciones cercanas y así encontrando las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia creadas a partir del ajuste de datos a la distribución Gumbel y en segundo el análisis de las series de datos de estimaciones de precipitaciones

diaria del satélite Climate Hazards group Infrared Precipitation With Station data (CHIRPS) desarrollado por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Para la zonificación de la amenaza se utilizó un paquete de software GITS de la Universidad de Cataluña, el modelo crea mapas de distribuciones y velocidades de flujo de detritos. Los resultados muestran velocidades máximas para movimientos en masa en las vertientes de la cuenca que fue de 47 m/s y las velocidades mínimas antes de detenerse a la altura de la vía de Labranzagrande se encuentra en un rango entre 2 m/s a 7 m/s, en cuanto a la predicción de los eventos más probables que puedan suceder en el Valle de la quebrada Grande de manera más frecuente la ocurrencia de lluvias en 24 horas superan el valor de 45 mm, que genera sobresaturación del subsuelo y las unidades superficiales lo que desencadenaría en la ocurrencia masiva de movimientos en masa de distintos tipos (deslizamientos rotacionales y flujos), que descenderían por las laderas de manera canalizada, la transformación de la lluvia podría alcanzar un caudal limite suficiente para el arrastre del material que ha descendido sobre esta área. En conclusión, se logró elaborar el modelo de predicción de ocurrencia futura de movimientos en masa lo cual cuenta con una capacidad de predicción aceptable medido según la curva ROC la susceptibilidad alta y muy alta comprende principalmente en la zona norte de la cuenca, concluye que este tipo de métodos Máxima Entropía funciona satisfactoriamente en contextos colombianos.

(Bucarey, 2018), en su investigación propone la evaluación de la susceptibilidad de flujo de detritos en las quebradas de Carrizalillo y De Meléndez, tomando como área de estudio correspondiente a la quebrada Hornillas, el área de estudio corresponde a la subcuenca De Meléndez y Carrizalillo en la comuna de la Tierra Amarilla, es una zona con alto riesgo de inundación y ocurrencia de aluviones

(flujos de detritos y barro), se recopiló información sobre la comuna. Revisando cartas geológicas que abarcan la zona, lo cual se realizó el mapeo geomorfológico de las cuencas de estudio para realizar la caracterización geológica y geomorfológica del área utilizando como guía y manual “la metodología para evaluar el peligro de flujo de detritos y ambientes montañosos” (Sepúlveda, 1998). Lo cual los resultados al evaluar la susceptibilidad en la cuenca Carrizalillo, los mapas de vulnerabilidad indican de 0% a 25% una susceptibilidad baja, 25% a 50% una susceptibilidad moderada y 50% a 75% alta, indicando la susceptibilidad en mayor parte de la cuenca es moderada las mayores pendientes a 25° es la clave para el factor condicionante topografías altas. Por otra parte, en la cuenca De Meléndez la susceptibilidad indica valores de 0% a 25% una susceptibilidad baja, 25% a 50% una susceptibilidad moderada, indicando la susceptibilidad en mayor parte de la cuenca es moderada las mayores pendientes a 25° es la clave para el factor condicionante para la generación de flujo de detritos. En conclusión la metodología permitió generar mapas de susceptibilidad que indican zonas con distintos grados de susceptibilidad, la quebrada Carrizalillo es altamente susceptible a generar nuevos flujos de detritos, removilizando material presente en las quebradas y así transportando material por otra parte la quebrada Meléndez presenta laderas con rocas y eso podría aportar a otros eventos de remoción en masa con caída de roca, deslizamientos rotacionales o translaciones por lo que lo considera como susceptibilidad moderada.

(Sepúlveda & Patiño, 2016), en su investigación propone una metodología para la evaluación de riesgo ante la ocurrencia de un flujo de detritos denotados por lluvias, tomando como área de estudio la cuenca de la quebrada la Negra y el municipio de Útina, pertenecientes al departamento de Cundinamarca en Colombia,

en este territorio desde hace más de 40 años se han venido presentando eventos asociados a flujo de detritos y deslizamientos. La evaluación de riesgo se plantea en función de la amenaza, vulnerabilidad y el costo asociado a los elementos expuestos. La amenaza en la cuenca hidrográfica partió del análisis de susceptibilidad determinando las zonas que sean más propensas a la ocurrencia de flujo de detritos elaborando mapas de susceptibilidad a partir del tratamiento bajo SIG de la información satelital, empleando el sistema de información geográfica ARGIS para la integración de los factores condicionantes. Para el cálculo caudal líquido se realizó con la metodología Soil Conservation Service, tal metodología requiere el cálculo de lluvia máxima en 24 horas, el tiempo de retardo, el número de curva (CN) y conocer las características geomorfológicas de la cuenca. La estimación del volumen de detritos y el caudal total del flujo de detritos lo aplicaron según los desarrollos teóricos de O'Brien (2009), para el modelamiento del tránsito del flujo de detritos lo realizó a través del programa FLO-2D lo cual te permite simular flujo de fluidos no newtonianos. La vulnerabilidad se planteó en las edificaciones del casco urbano determinando índices de Exposición y de Resistencia, el índice de Exposición lo determina a partir de la modelación del flujo de detritos para así definir la posición de los elementos expuestos y el nivel de interacción del flujo de detritos con la estructura, el índice de Resistencia lo establece con base a las características de las edificaciones. Los resultados del análisis de susceptibilidad y amenaza de la cuenca, muestran que el mapa de pendientes del área de estudio varía entre 0 y 56° siendo pendientes mayores a 35° las que muestran mayor asociación con el flujo de detritos, los mapas de susceptibilidad muestran que el 83.30% de los movimientos en zona susceptible alta, 14.53% en susceptibilidad media y el 2.17 % en susceptibilidad baja, los resultados de la calibración del

modelo numérico mostraron que hay una influencia directa del coeficiente de rugosidad de Manning sobre la profundidad y la velocidad del flujo de detritos quiere decir que al aumentar el coeficiente de Manning la altura del flujo incrementa pero la velocidad disminuye. Los resultados de la evaluación de la amenaza definen que el 35.2 % del casco urbano de Utica se encuentra en zona de amenaza media y el 64.8% del casco urbano en amenaza baja. En conclusión, el estudio de la metodología para la evaluación de riesgo por flujo de detritos denotados por lluvia es una herramienta de gran ayuda e guía para ser utilizados para realizar estudios de riesgos a escala local y detallada de las cabeceras de los centros poblados. (Gutierrez, 2021)

### **2.1.2 A nivel nacional**

(Gutiérrez, 2021), propone estimar los riesgos por flujo de detritos en la quebrada San Jerónimo empleando el modelamiento de simulación numérica. Los niveles de peligrosidad y el análisis de la vulnerabilidad, la población en estudio consta con un total de 1090 habitantes y 551 viviendas según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) por lo tanto 182 habitantes y 60 viviendas se encuentran asentadas en las fajas marginales del cauce originado por el flujo de detritos en el anexo de San Jerónimo, cada indicar que la investigación siguió el Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 2da versión (2014) del CENEPRED por ello se analizó los factores de fragilidad y resiliencia lo cual se prosiguió con el levantamiento catastral, toma de datos respecto al uso de suelo, tipo de material construido en las viviendas, número de pisos, realizando el levantamiento de información de las viviendas se observó un total de 60 lotes afectadas, el procesamiento de información para la estimación de riesgo así como también el modelamiento de simulación numérica de flujo de

detritos los cálculos generados por los software (Excel, ArcGIS, AutoCAD Y Laharz, cuyos datos estadísticos obtuvo de la plataforma SIGRID e INEI, en tanto a los mapas temáticos de peligro y vulnerabilidad se generó con el ArcGIS 10.3. Los resultados muestran los rangos vulnerabilidad muy Alta de  $0.260 < V \leq 0.503$  , Alta de  $0.134 < V \leq 0.260$ , Media  $0.068 < V \leq 0.134$  y por último la vulnerabilidad baja que varía desde  $0.035 < V \leq 0.068$  por tanto la exposición a la fragilidad y resiliencia se obtuvo un valor de 0.379 correspondiente a una vulnerabilidad muy alta, en conclusión la simulación numérica del flujo cálculo un volumen de 40000 m<sup>3</sup> de flujo de detrito, afectando a 24 viviendas ubicadas dentro del área de influencia a la simulación, muestra que también se ve afectado la Vía principal (carretera Cañete Yauyos) 45 metros lineales un valor aproximado de 1.52 ha de cultivo por parte baja de la quebrada de estudio, los riesgos identificados en el área de estudio indican que el área urbana que se encuentra alrededor del cauce de la quebrada de estudio se encuentra en un nivel de muy alto y alto riesgo ante la ocurrencia de un flujo de detritos.

(Salgado, 2020), es su investigación propone determinar la vulnerabilidad originado por un posible flujo de detritos en la quebrada Chacrasana en el distrito de Lurigancho en Chosica, Lima. Cuya población en muestra es de 875 habitantes con un total de 175 viviendas, en tanto de obtuvo la información de la identidades pertinentes CENEPRED, INDECI, INEI, COFOPRI y la Municipalidad de Chosica, se hace un recorrido para la identificación de las características físicas de la edificaciones para conocer su estado actual no se pudo hacer una encuesta por la coyuntura que vive el país con medio de la pandemia, pero se obtuvo la base de datos del INEI y COFOPRI, se elaboró distinta matrices, cuadros empleados median la metodología del CENEPRED usando la escala de Satty, utilizando



parámetros para evaluar la vulnerabilidad, el nivel de fragilidad y resiliencia en la zona de estudio , se elaboró mapas de vulnerabilidad ante la ocurrencia de un flujo de detritos así como las características físicas de las viviendas con herramientas como el AutoCAD y ArcGIS, los resultados mostrados en los mapas de vulnerabilidad representan un total de 17 predios de muy alta , 9 predios alta, 11 predios Media, 5 pedios Baja en total un de 42 manzanas, en conclusión el grado fragilidad aplicando el análisis (AHP) de determino el índice de 0.090 y 0.554 y el grado de resiliencia en la población por el flujo de detritos muestra un grado de resiliencia social de 0.201 , la vulnerabilidad originado por el flujo de detritos en la quebrada Chacrasana aplicando el multicriterio (AHP) se determinó el valor de la vulnerabilidad de 0.261, de acuerdo a la escala propuesta por el Manual del CENEPRED presenta un nivel alto de vulnerabilidad para la quebrada de Chacrasana.

(Luna, 2019), en su investigación plantea identificar y determinar los niveles de riesgo originados por lluvias intensas tanto por flujo de detritos como por erosión por escorrentía pluvias en el áreas de estudio, pertenecientes a los distritos de Paucarpata y Mariano Melgar de la provincia de Arequipa, la población en muestra ,estima un total de 512 habitantes de los cuales 177 corresponden al distrito de Paucarpata y 335 habitantes al distrito de Marino Melgar, se realizó la recopilación de información de las instituciones técnico científicas (INGEMMET, INEI, CENEPRED, SANAMHI Y ANA), prosiguiendo con el levantamiento topográfico del área mediante vuelo de dron así mismo se recopiló información catastral de las municipalidades de Paucarpata y Mariano Melgar, se delimito la subcuenca Huarangal, mediante la topografía obtenida del satélite ALOS – PALSAR, en cuanto a las precipitaciones de obtuvieron de las estaciones de Pampilla, Chiguata,

Puquina y Salinas se calculó las máximas precipitaciones diarias correspondientes a la subcuenca prosiguiendo a determinar la precipitación diaria correspondiente a un tiempo de retorno de 100 años, obtenido el caudal máximo empleando la fórmula del Método Racional Modificado de Témez, por lo cual se hizo el Modelamiento Hidrológico para la elaboración de los mapas de peligros por flujo de detritos, prosiguiendo con el análisis de los niveles de Vulnerabilidad y determinando la Peligrosidad y finalmente el Riesgo de la zona de evaluación siguiendo con la metodología descrita del Manual EVAR – CENEPRED, en conclusión el Riesgo por Flujo de Detritos llegan a presentar niveles Altos en los alrededores de la quebrada identificando dichos predios en las Manzanas A,B,J,K, en caso de los demás predios presentan un nivel de riesgo medio, en cuanto al caso de riesgo por erosión de escorrentía Superficial se determinaron niveles de riesgo alto y muy alto en las manzanas H, M, N, L y D, se recomienda notificar a la población de las zonas de alto y muy alto riesgo ante el riesgo por lluvias intensas , activar la ordenanza municipal sobre prohibición de arrojar basura y escombros , elaborar el plan de prevención y reducción del riesgo de desastres en los distritos ante diversos fenómenos.

(Ccama, 2018), en su investigación propone establecer mapas de peligro de flujo de detritos ante escenarios extraordinarios para la hoya y cono de deyección de la quebrada Llocllamayo abarcando áreas de transporte en la infraestructura Vial en el km 295+350 , el corredor vial IIRSA sur tramo 4 del km (295+350) presentan depósitos sobre la infraestructura debido a la ocurrencia de movimientos en masas en especial del tipo flujo de detritos así interrumpiendo la transpirabilidad y seguridad de los usuarios de la vía, para lo cual se utilizó materiales de información cartografía para la delimitación de la quebrada lo cual se

obtuvo del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en cuanto a la información fotogramétrica se obtuvo del Digital Globe (Google Earth) en cuanto a la información topográfica se obtuvo del elipsoide utilizando World Geodesic System 1984 (WGS84), en tanto a la recolección y análisis de datos geológicos se utilizó la Carta Geológica del Perú del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) en cuanto a registro de las precipitaciones se obtuvo de la estación meteorológica "San Gabán) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y por ultimo los volúmenes de eliminación de derrumbes se obtuvo del ente regular (OSITRAN) que recaba los volúmenes de remoción y eliminación de material dendrítico, a través del reporte del (MEmer), luego se hizo el modelamiento matemático a través del software FLO – 2D lo cual determina las áreas afectadas por flujo de detritos este modelo ayuda a estimar potenciales peligros para diferentes periodos de retorno (Pr:Tr) , los resultados muestra, para un Tr:50 años presenta un caudal de flujo de detritos de 36.0 m<sup>3</sup>/s con una altura de sedimentación que varía de 0.3 a 1.2 m las velocidades que alcanzan varían de 0.9 a 2.1 m/s, para un Tr:100 años se presenta con un caudal de flujo de detritos de 50.8 m<sup>3</sup> con una altura de sedimentación que varía de 1.5 a 0.8 m con velocidades alcanzadas de 0.8 a 1.9 m/s, en conclusión define que el tramo de la carretera Llocllamayo, frente a lluvias intensas, deslizamientos y/o huaycos es considerado un grado de PELIGRO ALTO basándonos en el análisis del modelo FLO – 2D basándonos en el modelo reológico cuadrático de Bingham.

(Zambrano & Santuyo, 2019), en su investigación propone alternativas de mitigación para el flujo de detritos en la zona de descarga de la quebrada Quirio, Chosica. Cuya población de Nicolas de Piérola cuya muestra de 227 muestra material de 154,825.90 m<sup>3</sup> de flujo de detritos afecta directamente a la zona de descarga

de la quebrada Quirio lo cual presenta una área de 140 ha, se analizó las características del suelo se extrajeron por medio de 02 calicatas luego en cuanto a la topografía se delimito de la quebrada Quirio con un área superficial de 12.15 km<sup>2</sup> cuya área estaría representada a una cuenca muy pequeña de 14.3km de perímetro, el modelamiento numérico del fluido no newtoniano se desarrolló a través del programa RAMMS utilizando datos que se obtuvieron de instituciones del estado, la imagen obtuvo del satélite PerúSat-1 luego para ser procesada en PCI GEOMATIC, en cuando a la hidrología se recolecto datos de precipitaciones de estaciones aledañas para el cálculo del caudal en distintos tiempos de retorno (Tr) del flujo de detritos, utilizando el análisis multicriterio SAATY para el cálculo de los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo en la zona de estudio cumpliendo el manual del CENEPRED, los resultados muestran, alturas máximas del lugar donde realizo la toma de máxima altura de flujo de detritos entre 6 a 7.26 m como primer calibración, el segundo rango de alturas máximas de flujo de detritos es de 6 a 6.5 m lo cual se encuentra a 600 m por arriba del cauce principal de la quebrada Quirio, en la tercera calibración las alturas máximas del flujo de detritos mostro 1.81 a 2.5 m done las alturas máximas bajan considerablemente debido a la perdida de energía a lo largo del cauce de la quebrada Quirio y por último la cuarto calibración muestra alturas máximas del flujo de detritos 0.70 a 1.00 m lo cual se encuentra a 1420 m hacia abajo del cauce principal de la quebrada Quirio, en conclusión esta investigación permitió proponer alternativas de mitigación ante la presencia de flujo de detritos en la quebrada Quirio, lo cual consiste en la colocación de 5 barreras geodinámicas que permitan retener una cantidad de 7,568.81 m<sup>3</sup> de material solido lo cual se lograda mitigar un total de 140 ha, la población de Nicolas de Piérola se

encuentra sentada sobre una zona de riesgo alto 69% y muy alto 31% lo cual afecta directamente a 26 manzanas de peligro alto.

### **2.1.3 A nivel regional y local**

(Dirección de geología ambiental y riesgo geológico INGEMMET, 2019), propone generar información temática sobre los peligros geológicos que afectan la ciudad de Abancay, el área de estudio comprende de la cuenca del Rio Mariño que es altamente susceptible a la ocurrencia de distintos fenómenos de movimientos de masa las principales condiciones es la abrupta topografía, la presencia de antiguos movimientos en masas que frecuentemente son reactivados por la infiltración del agua y la circulación de flujo subsuperficiales durante épocas de lluvias continuas y por último la alta meteorización del sustrato rocoso que facilita la tendencia a la fracturación y creación de cavidades, en cuanto a la recolección de información, se tomó como base de imagen satelital de WorlView – 3 y GeoEye – (2015) donde se identificaron las unidades de relieve, en cuanto a las características hidrológicas se desarrolló un análisis de la litología de las diferentes formaciones geológicas existentes en el área según el grado de permeabilidad, la geofísica de desarrollo atreves del método de Resistividad – Tomografía Eléctrica 2D, a fin de determinar el espesor del material de remoción en masa, la simulación numérica de flujo de detritos se desarrolló mediante el modelo bidimensional FLO – 2D (O’Brien, 2004), de acuerdo a los resultados en el Vaso de las Tres Lagunas Principales Angas’qocha, Uspa’qocha y Wilcacochoa se observa infiltración, en agua el laguna Angas’qocha infiltra con velocidades entre 0.37 m/día a 2.11 m/día, en cuanto la laguna Uspa’qocha con velocidades de 0.84 n/día y por último la laguna Wilcacochoa con velocidades de 1.29 m/día y 1.479 m/día , la microcuenca de rio Mariño presenta un potencial recurso hídrico subterráneo, en conclusión el sector de la

laguna Uspa'qocha se registraron zonas de baja resistividad que corresponde a materiales morrénico, en conclusión los eventos mostrados en el transcurso del tiempo (1951 y 2012) flujo de detritos por lo que se asume que es una reactivación del mismo aunque de menor tamaño a fin de actuar frente a este peligro latente de flujo de detritos en la quebrada Sahuanay se construyó una infraestructura hidráulica de 4m de ancho con el fin de canalizar y controlar futuros eventos similares por ello se considera que el diseño ha sido inadecuado ya que no se tuvieron en cuenta la dimensión del volumen que podría mobilizarse con una nueva avalancha de detritos de gran dimensión en un evento de crisis climática.

(Municipalidad Provincial de Abancay, 2016), el presente proyecto presenta el cumplimiento de la Meta 27 que es “ Actualización de la información para la Gestión de Riesgos de Desastres en las Municipalidades de las Ciudades Principales Tipo B del Programa de Incentivos a la Mejora de la Gestión Municipal del año 2016, cuya población en muestra se encuentra en los alrededores del quebrada Chinchichaca los cuales son las Urbanizaciones de las Américas, Vallecito el Olivo I y II etapa, Chinchichaca, Virgen del Carmen, Micaela Bastidas, Patibamba Alta, Cercado, La Victoria, Magisterial, Manuel Escorza, Vallecito el Olivo y las Palmeras en el Distrito de Abancay, el área de estudio comprende 6.073 Has, cuya población en estudio en los alrededores de la quebrada Chinchichaca es un total de 1,153 habitantes, se recopiló información de las instituciones técnicas científicas, por siguiente se hizo el levantamiento topográfico, trabajos de campo y por último la generación de los mapas de peligro, para lo cual se desarrolló mediante el método matemático Thomas L. Saaty (1980), en cuanto a los resultados muestran diferentes rangos de los niveles riesgo en las distintas Urbanizaciones, define como riesgo muy Alto  $0.067 \leq R < 0.233$ , riesgo Alto  $0.016$

$\leq R > 0.067$ , Riesgo Medio  $0.015 \leq R > 0.016$  y por ultimo un Riesgo Bajo  $R < 0.015$ , los resultados definen al Riesgo de nivel Muy Alto correspondería a las laderas empinadas, litológicamente compuesto por depósitos morrénico, el ancho del cauce es menor a 5m, la pendiente es menor a 10% se infraestructuras en Alto Riego, en cuanto a las precipitaciones son mayores a 50 mm/24hr con pedido de retorno de 50 y 100 años, y en cuanto al Riesgo Alto corresponde a laderas de montaña, litológicamente compuesto por depósitos aluviales, la altura del cauce esta entre 5 a 7 m, la pendiente entre 10 a 20 % , las precipitaciones están entre 40 a 50 mm/24hr con periodos de retorno mayores a 100 años, en conclusión se logró el cumplimiento de la meta 27°, actualizar la Información para la Gestión de Riesgo de Desastres, encontrando resultado de acuerdo a la ponderación de los factores condicionantes y desencadenantes define que la quebrada Chinchichaca para las Urbanizaciones que se encuentran a los alrededores de dicha quebrada, un nivel Muy Alto de riesgo.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 *Movimientos en masa***

Hauser (1993), define que los movimientos en masa son procesos de movilización lenta o rápida de un cierto volumen de suelo, roca o ambos, en varias proporciones, generados por varios factores, corresponden intrínsecamente a procesos gravitacionales, donde una parte del terreno se desplaza hasta una cota menor o nivel inferior, se pueden clasificar en flujos, deslizamientos de tierras, volcamientos, etc. Sepúlveda (1998, p. 7)

**Tabla 1***Tipos de movimientos en masa según Cruden y Varnes (1996).*

Tipo	Subtipo
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)
	Volcamiento de roca (bloque)
Volcamiento	Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento lateral por licuación (rápida)
	Propagación lateral lenta
Propagación lateral	Propagación lateral por licuación (rápida)
	Flujo de detritos
	Crecida de detritos
	Flujo de lodo
	Flujo de tierra
	Flujo de turba
Flujo	Avalancha de detritos
	Avalancha de rocas
	Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
	Reptación de suelos
Reptación	Soliflucción, geliflucción (en permafrost)
Deformaciones gravitacionales profundas	

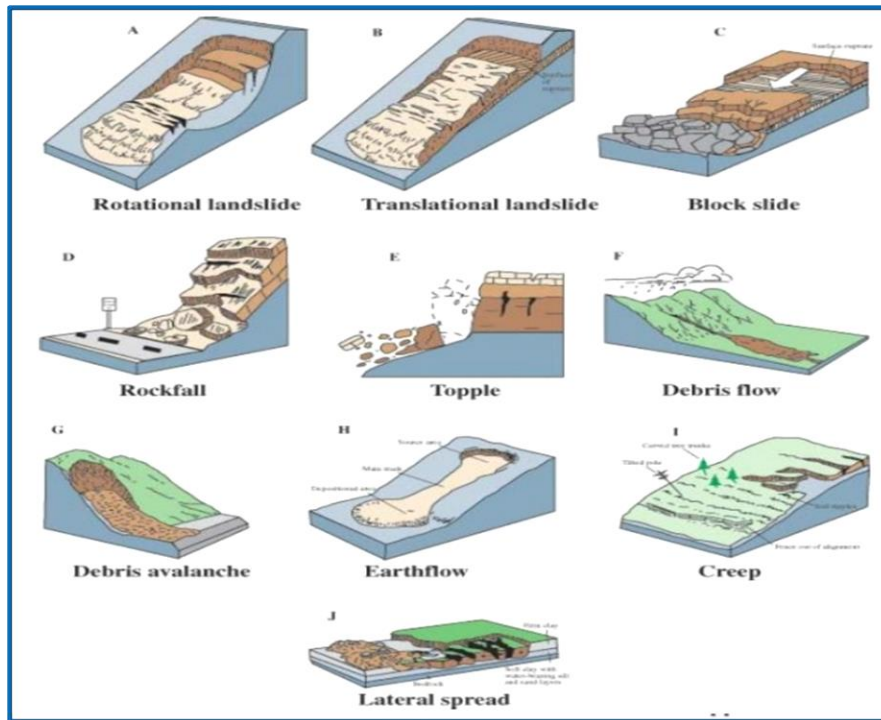
*Fuente: (Servicio nacional de geología y minería, p. 15)*

Se puede apreciar en la imagen (1), los diferentes tipos movimientos en masas más comunes, para nuestra investigación nos concentramos principalmente en lo que es el flujo de detritos (flujo de detritos canalizados).



## Imagen 1

*Tipos de movimientos de remociones en masa Highland (2004).*



*Fuente: (Zambrano & Santuyo, 2019, p. 22)*

## Tabla 2

*Escala de velocidades según Varnes (1958), (1996).*

Clases de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/s)	Velocidad típica	Poder destructivo
7	Extremadamente rápido	$5 \times 10^3$	5 m/s	Catástrofes de violencia mayor, edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes, escape improbable.
6	Muy rápida	$5 \times 10^1$	3 m/min	Algunas pérdidas de vidas, velocidades demasiado altas para permitir a todas las personas escapar.
5	Rápida	$5 \times 10^{-1}$	1.8 m/h	Escape posible, estructura, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderada	$5 \times 10^{-3}$	13 m/mes	Alguna estructura temporales y poco sensitivas pueden mantenerse temporalmente. Construcciones remediabiles pueden llevarse a cabo durante el movimiento.
3	Lenta	$5 \times 10^{-5}$	1,6 m/año	Algunas estructuras sensitivas pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	Muy Lenta	$5 \times 10^{-7}$	16 mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente Lenta	$<5 \times 10^{-7}$	$<16 \text{ mm/año}$	Imperceptibles sin instrumentos, construcciones posibles, pero deben tenerse precauciones.

*Fuente: (Muñoz, 2018, p. 5)*

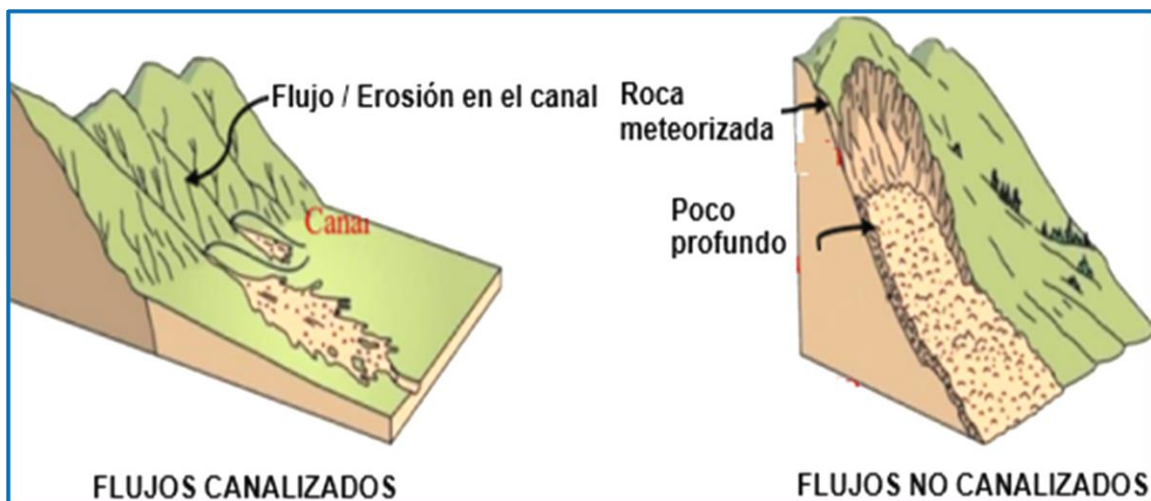
### 2.2.1 Flujo de detritos

El servicio nacional de geología y minería (SERNAGEOMIN), enfatiza que el flujo de detritos es una masa móvil suspendido en agua, que está compuesta por una mezcla de rocas, sedimentos, agua y gases, donde el 50 y el 80% de este material es sólido, cae debidamente a la influencia de la gravedad, tiene un avance rápido y gran capacidad destructiva. (Gutierrez, 2021, p. 29)

VanDine (1996), Cruden & Varnes (1996), define, flujo de detritos de pendiente abierta y flujo de detritos canalizados, ver imagen (2). Los flujos de detritos de pendientes abiertas o conocidos también como no canalizados, crea su propio camino en las pendientes, depositando material detrítico en pendiente menores, en cambio los flujos de detritos canalizados siguen canales naturales existentes como quebradas, ríos y otros tipos de depresiones topográficas. (Ccama, 2018, p. 25)

#### Imagen 2

*Flujos canalizados y flujo de pendiente abierta*



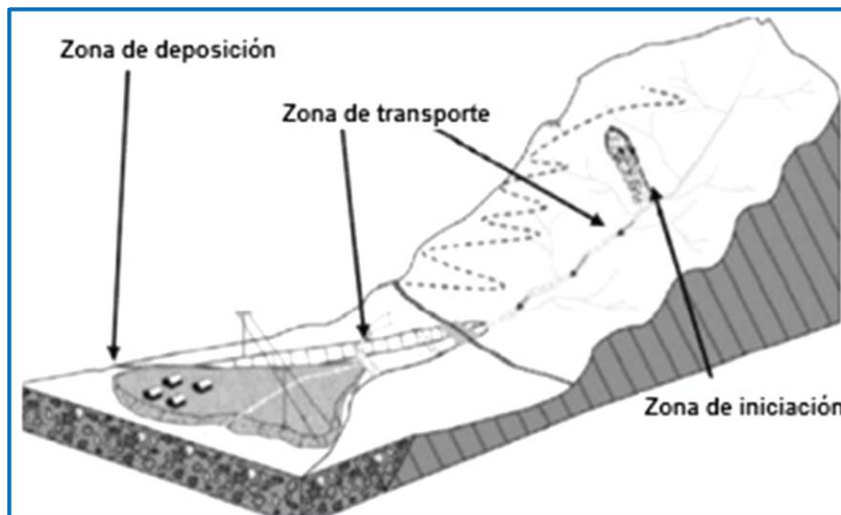
*Fuente: (Ccama, 2018, p. 25)*

Hungr, Evans, Bovis & Hutchinson (2001), describen que, el flujo de detritos, es un flujo muy rápido a extremadamente rápido (índice de plasticidad menor al 5%), que transitan en un canal confinado de pendiente pronunciada, estos

flujos causan daños considerables al descenso alcanzando áreas con infraestructura civil, este fenómeno presenta 3 fases ver imagen (3); la iniciación en una pendiente pronunciada, su propagación en las zonas de transporte y finalmente su detención depositados en abanicos de detritos. (Ccama, 2018, p. 26)

### Imagen 3

*Ruta del flujo de detritos*



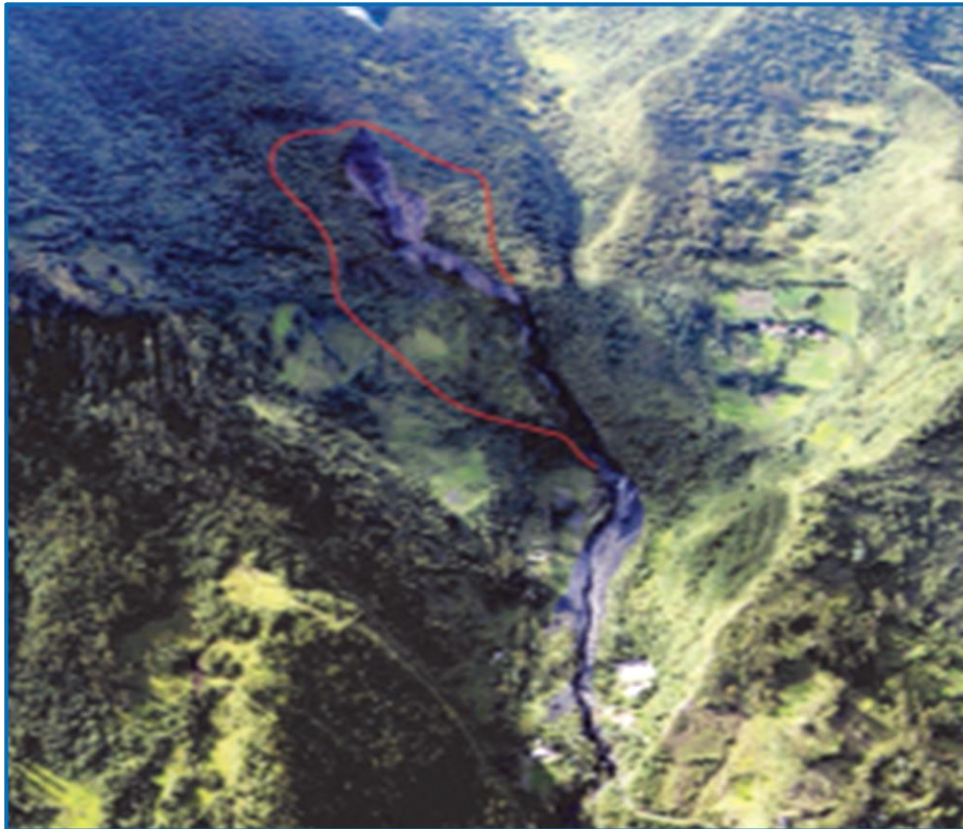
*Fuente: (Luna, 2019)*

#### a. Zona de iniciación

Hungr O. (2013), McDougall, & Bovis (2005), enfatiza que los flujos de detritos pueden iniciarse como uno o varios deslizamientos de tierra, avalancha de detritos, todo ello en la cabecera de la cuenca, por ser una zona de elevada pendiente o por inestabilidad de taludes laterales del cauce en canales de pendientes fuertes y eventualmente se formara un flujo de detritos que comenzara a moverse en el canal empinado ver imagen (4). (Ccama, 2018, p. 26)

#### **Imagen 4**

*Vista panorámica del deslizamiento de arranque del flujo de detrito del evento del 2012 en la cabecera de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco.*



*Fuente: (INGEMMET, 2019, p. 73)*

#### **b. Zona de Transporte**

McDougall, & Bovis (2005), Iverson (2014), señala que, las masas de detritos comúnmente crecen en tamaño al arrastrar suelos saturados, agua superficial y diversos desechos a medida que descienden por el canal en pendientes de más de  $10^{\circ}$  -  $20^{\circ}$ ; El arrastre puede ocurrir por la erosión del material de fondo o el colapso de las orillas del canal, mientras que el volumen de deslizamiento iniciador es insignificante, esto causa que el volumen de un flujo de

detritos se multiplique por diez o más, antes de que la deposición comience en un terreno plano aguas abajo. La magnitud de los flujos de detritos, dependen principalmente de las características del canal. (Ccama, 2018, p. 28)

### **Imagen 5**

*Viviendas afectadas por la inundación de flujo de detritos del cerro Chuyllurpata en el evento del 2012 en el distrito de Tamburco.*



*Fuente: (INGEMMET, 2019, p. 77)*

### **c. Zona de Deposición**

Las posibles razones para la deposición de detritos en el abanico son obstrucciones dentro del canal. Pérdida de momento en las curvas o disminución en la altura del canal y demás parámetros; lo que hace que el flujo sea menos confinado. Es más probable que esta zona tenga elementos en riesgos de ser golpeados por los depósitos de flujo de detritos como puentes carreteras propiedades y de más infraestructuras civiles. (Ccama, 2018, p. 33)

## Imagen 6

*Vista panorámica del estadio Maucacalle donde se acumuló casi el 80% del material del flujo, la altura aproximada del depósito es de 3 metros en la parte más profunda, evento del 2012 en el distrito de Tamburco.*



*Fuente: (INGEMMET, 2019, p. 75)*

Hungr, McDougall, & Bovis (2005), enfatizan que los flujos de detritos más pequeños y los eventos de avalanchas de detritos pueden depositarse en ángulos más abruptos que un evento mayor. El contenido de promedia de agua, la composición y el tamaño de partículas del flujo juegan un papel importante. (Ccama, 2018, p. 32)

**Tabla 3**

*Valores de deposición del flujo de detritos.*

<b>Autor</b>	<b>Pendiente de deposición</b>
Slaymaker (1988)	5° - 12°
Hutter et al (1996)	-3°
Benda e Cundy (1990)	1° - 10°
Bathurst et al. (1997)	10°
Hungr et al. (1984)	8° - 14°
Cenderelli e kite (1998)	5° - 10°
Armento et al. (2008)	7°

*Fuente: (Ccama, 2018, p. 34)*

### **2.2.2 Propiedades mecánicas del del flujo de detritos**

Sepúlveda en 1998, modifica los aspectos físicos importantes que se relacionan con el comportamiento mecánico del fluido de detritos tales como la velocidad, la viscosidad y la energía de impacto.

**Tabla 4****Aspectos físicos modificado por Supúlveda (1998)**

Tópico	Descripción y ecuaciones
Velocidad	<p>El rango típico de velocidades de los flujos de detritos es entre 1 y 12 m/s, pero se han registrado eventos de hasta 18 m/s. La velocidad de un flujo de detritos puede estimarse en zona de curva del canal. En estos sectores, la superficie del flujo alcanza una altura superior en el lado externo de la curva que en el interno. Esto queda reflejado en los depósitos laterales o marcas de olas. La velocidad en estos casos se puede estimar como:</p> $V = (r \times g \times \cos\beta \times \tan\delta)^{1/2} \text{ (Selby, 1993)}$ <p>r: radio de curvatura g: gravedad β: pendiente del canal δ: inclinación entre las cimas de los levées externo e interno.</p> <p>Asumiendo que las pérdidas por fricción son despreciables en superficies orientadas perpendicularmente a la trayectoria del flujo, se puede calcular su velocidad como:</p> $V = (2 \times g \times \Delta h)^{1/2} \text{ (Modificada por Pierson, 1982)}$ <p>g: gravedad Δh: diferencia de altura de flujo.</p> <p>Para <math>C_v</math> entre 20 y 50%, la densidad del flujo varía entre 1,33 y 1,80 g/cm<sup>3</sup>, mientras la viscosidad puede alcanzar hasta 200 poise. El régimen de escurrimiento en este rango es de transición turbulento – laminar. Cuando las concentraciones superan el 50%, la densidad puede variar entre 1.80 y 2.30 g/cm<sup>3</sup> y la viscosidad puede superar largamente los 200 poise. Se puede estimar la densidad y viscosidad de un flujo de detritos a partir de la <math>C_v</math> de la forma:</p>
Viscosidad y densidad	$\eta_d = \eta_w \times (1 + 2.5 C_v) \text{ (Einstein, 1909)}$ $\rho_d = \rho_w \times (1 - C_v) + \rho_s \times C_v \text{ (Solís, 1995)}$ <p>η<sub>d</sub>: viscosidad de la mezcla η<sub>w</sub>: viscosidad del agua C<sub>v</sub>: concentración volumétrica ρ<sub>d</sub>: densidad de la mezcla ρ<sub>w</sub>: densidad del agua ρ<sub>s</sub>: densidad de sedimentos</p>

Fuente: (Muñoz, 2018, p. 21)

### 2.2.3 Factores que desencadenan los flujos de detritos

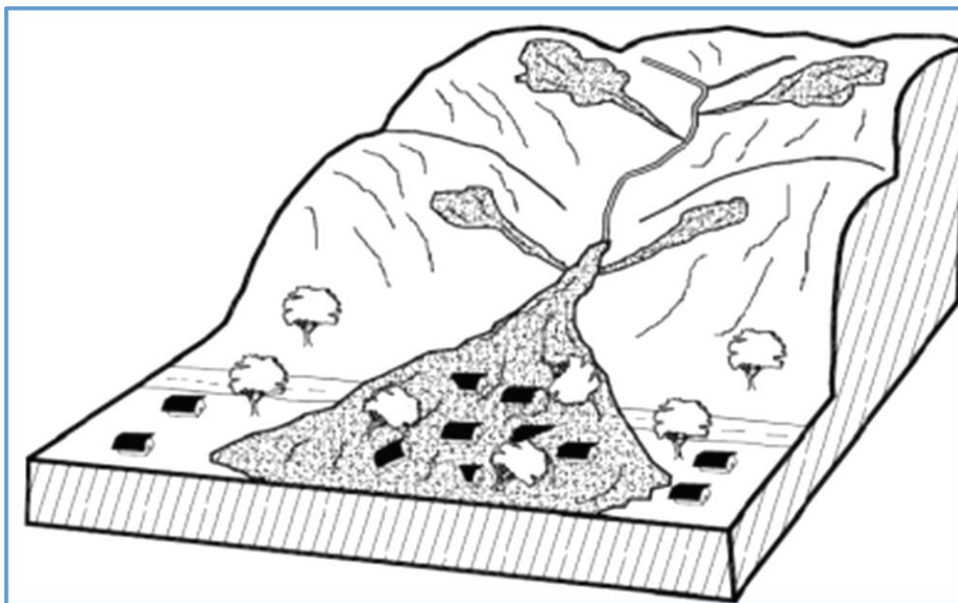
Takahashi (1981), indica que los flujos de detritos se generan cuando los factores de disponibilidad de sedimento, aporte de agua y pendiente de ladera se combinan de forma crítica generando deslizamiento traslacional y causando daño en su recorrido.



Suárez (2001), indica que cuando se genera un evento anormal en forma de lluvias extraordinarias, pueden causar deslizamientos de tierra o erosión, los cuales reúnen cierta cantidad de sedimento o partículas por encima de las laderas o cauces. El desplazamiento de los flujos de detritos se activa con la precipitación, debido a la pérdida de resistencia por el decrecimiento de la succión al saturarse el material o por el incremento de las fuerzas causadas por el movimiento del agua. Los daños originados por el flujo de detritos concentran áreas aproximadamente grandes. (Gutierrez, 2021, p. 43)

### **Imagen 7**

*Daños originados por flujo de detritos generando grandes pérdidas económicas.*



*Fuente: (Gutierrez, 2021, p. 44)*

#### **2.2.3.1 Área de la cuenca de recepción.**

Castillo (2006), puntualiza que, a mayor área, mayor será la cantidad de agua que captará y mayor el volumen del flujo. (Gutierrez, 2021, p. 44)

### **2.2.3.2 Pendiente.**

Castillo (2006), menciona que, a mayor pendiente, mayor será la velocidad del flujo y habrá mayor posibilidad de erosión e inestabilidad de la zona. (Gutierrez, 2021, p. 44)

### **2.2.3.3 Clima.**

Castillo, (2006), menciona que, donde se produzca intensas precipitaciones se activará la quebrada y el flujo de escombros será el desenlace. (Gutierrez, 2021, p. 44)

### **2.2.3.4 Tipo de suelo.**

Depende del tipo del suelo (presencia de material fino y grueso), la capacidad de resistir el efecto erosivo, la permeabilidad, la cobertura vegetal que serán factores para contribución de un flujo de detritos. (Gutierrez, 2021, p. 44)

## **2.2.4 Reología de los flujos de detritos**

Los flujos de detritos se comportan mecánicamente como un fluido no permanente, ya que la cantidad de sólidos transportados aumenta, la mezcla sobrepasa la densidad del agua, por tanto, la resistencia a la deformación crece, en cambio el flujo newtoniano su comportamiento es lineal es permanente.

Solís (1995), enfatiza que la transformación reológica se produce por la acción del fluido intersticial y las colisiones entre partículas que condicionan las leyes constituyentes de la mezcla, si la concentración de finos (limo o arcilla) supera el 10% el fluido intersticial lubrica los granos por tanto controla la dinámica de la mezcla por otro lado si el tamaño de los granos es pequeño la viscosidad domina la mecánica del fluido. La reología es una ciencia que estudia la respuesta de los materiales al esfuerzo de deformación, tanto líquido como sólido, por ello establecen la ecuación constitutiva que derivan de los principios básicos.

Sotelo Avila (1997), Shames (1995), señala a los llamados fluidos newtonianos donde el fuerza tangencial que se produce entre dos laminas separadas una distancia ( $d_y$ ), y que se desplaza de acuerdo al perfil parabólico de velocidades ( $v$ ) y  $(v+(a_v/a_y) dy)$ . (Ccama, 2018, p. 33)

En cambio, los no newtonianos también son materiales viscosos en los cuales el esfuerzo cortante está relacionado con la tasa de corte ( $a_v/a_y$ ). La ley de potencia es una forma de describir el comportamiento de materiales viscosos.

$$\tau = k(a_v/a_y)^n$$

Para un fluido newtoniano  $k=\mu$  y  $n=1$ , para otros valores de  $n$  se tendría un fluido no newtoniano.

### **2.2.5 Modelamiento hidrológico**

Valderrama (2006), define que los flujos de detritos son un tipo de movimiento complejo, que debido a sus características no pueden presentarse por métodos que generalmente se aplican a fluidos newtonianos como el agua, este es debido a la concentración volumétrica que hace que el fluido actúe como un fluido no permanente, para que el fluido se ponga en movimiento es necesario que el esfuerzo superior actúe sobre el esfuerzo crítico. (Gutierrez, 2021, p. 46)

Chen & Lee (2000), refiere que, los diferentes métodos numéricos para modelar el comportamiento de parámetro de salida de los detritos de deslizamientos incluyen principalmente modelos mecánicos fluidos y métodos de elementos distintos. El enfoque más común y utilizado para estos métodos se basa en la mecánica de la continuidad, los modelos de mecánica de fluidos en continuo utilizan las ecuaciones de conservación de masa, momento y energía que describen el movimiento dinámico de los escombros, y un modelo reológico para describir el comportamiento material de los detritos, el tránsito de dos dimensiones



g: Aceleración de la gravedad

$S_f$ : Pendiente de fricción

V: Velocidad

El software HEC-RAS requiere datos de entrada para la simulación del flujo no permanente requiere el caudal de diseño, las condiciones de borde, el coeficiente de rugosidad para considerar los parámetros de aguas arriba y aguas abajo respectivamente.

### **2.2.6 Evaluación de riesgos**

El centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres (CENEPRED), considera que la evaluación de riesgos es un procedimiento técnico del análisis de riesgos, el cual permite calcular y controlar los riesgos, previa identificación de los peligros y análisis de las vulnerabilidades, recomendando medidas de prevención y/o reducción del riesgo de desastres.

En la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales se identifican tres tipos de informes.

#### **I Informe cualitativo de la evaluación de riesgos**

Para la evaluación de riesgos implica el conocimiento de los peligros, de los elementos expuestos y de sus vulnerabilidades, basado en la experiencia y observación de campo debido a la inexistencia de información (registros históricos, estadísticas, estudios técnicos, etc.) del fenómeno de origen natural sobre el área geográfica de estudio.

#### **II Informe semi cuantitativo de evaluación de riesgos**

implica el conocimiento de los peligros, de los elementos expuestos y de sus vulnerabilidades, basado en estudios técnicos anteriores que tiene relación directa o indirecta con el fenómeno de origen natural.

### III Informe cuantitativo de evaluación de riesgo

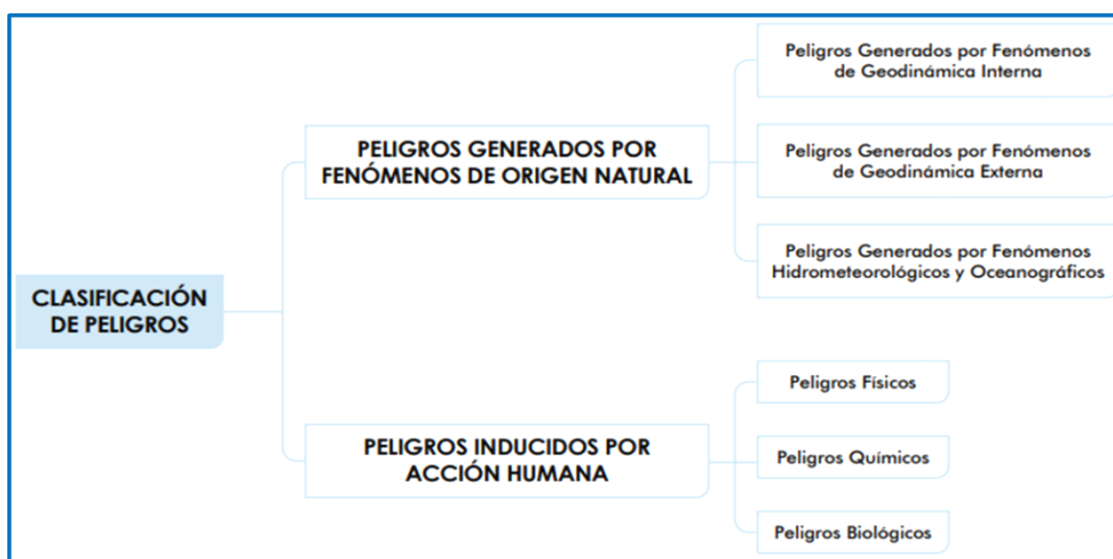
implica el conocimiento preciso de los peligros, de los elementos expuestos y de sus vulnerabilidades, basado en información del ámbito geográfico del estudio debido a la ejecución de diversos estudios técnicos in situ (estudios de suelos, inventarios de fenómenos, estudios geológicos, estudios hidrometeorológicos, mediciones instrumentales de campo, etc.) que genera información actualizada (uso de análisis estadístico y probabilístico, etc.) que ayuda al conocimiento de los peligros, las vulnerabilidades y los riesgos. Esto con participación de las entidades técnico-científicas y el gobierno local competente.

#### 2.2.6.1 Clasificación de peligros originados por fenómenos de origen naturales.

El peligro según su origen puede ser de dos clases: los generados por fenómenos de origen natural; y, los inducidos por la acción humana, en la Figura 8 y 9 se han agrupado según su origen.

#### Imagen 8

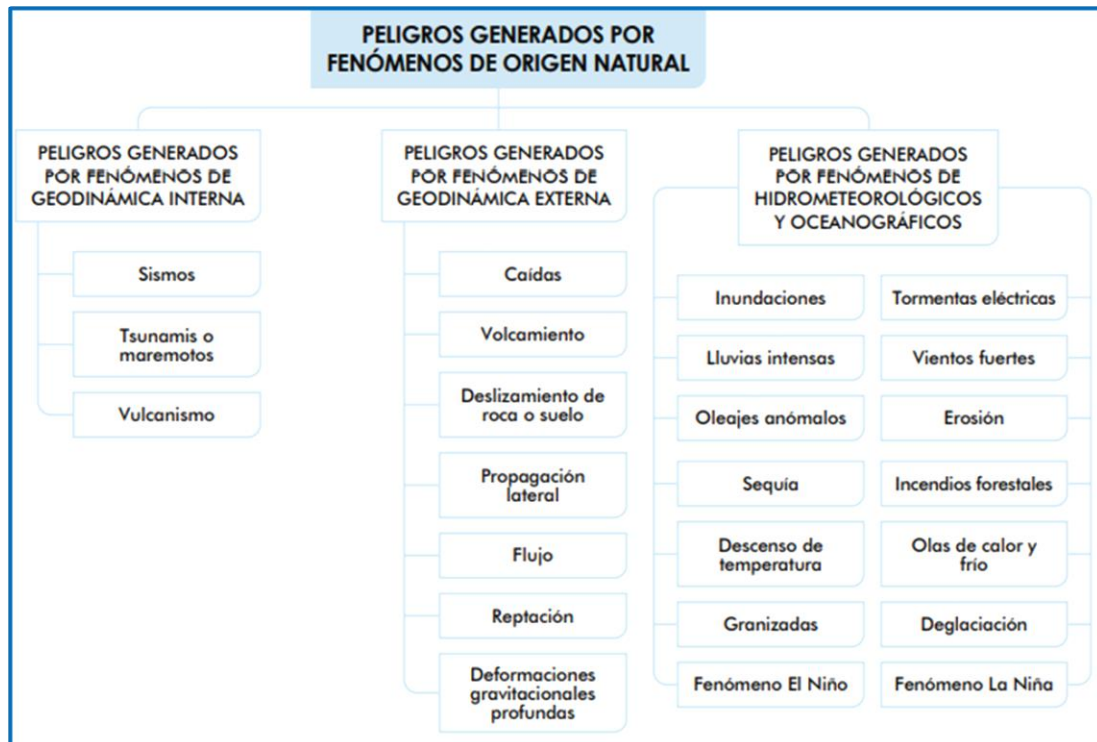
Clasificación de peligros



Fuente: (CENEPRED, 2015, p. 21)

## Imagen 9

Clasificación de peligros originados por fenómenos naturales.



Fuente: (CENEPRED, 2015, p. 22)

### 2.2.6.2 Análisis de la peligrosidad

Evaluar el peligro es estimar o valorar la ocurrencia de un fenómeno con base en el estudio de su mecanismo generador, es riesgo de sucesos (las características y dimensión del fenómeno) en el tiempo y el ámbito geográfico determinado.

- Recopilación de información.
- Identificación de probable área de influencia del fenómeno en estudio.
- Parámetro de evaluación del fenómeno.
- Análisis de la susceptibilidad
- Análisis de elementos expuestos en zona susceptible.
- Definición de escenarios
- Estratificación del nivel de peligrosidad de acuerdo a umbrales

- Elaboración del mapa del nivel de peligrosidad

### 2.2.6.2.1 **Identificación de probable área de influencia del fenómeno de estudio.**

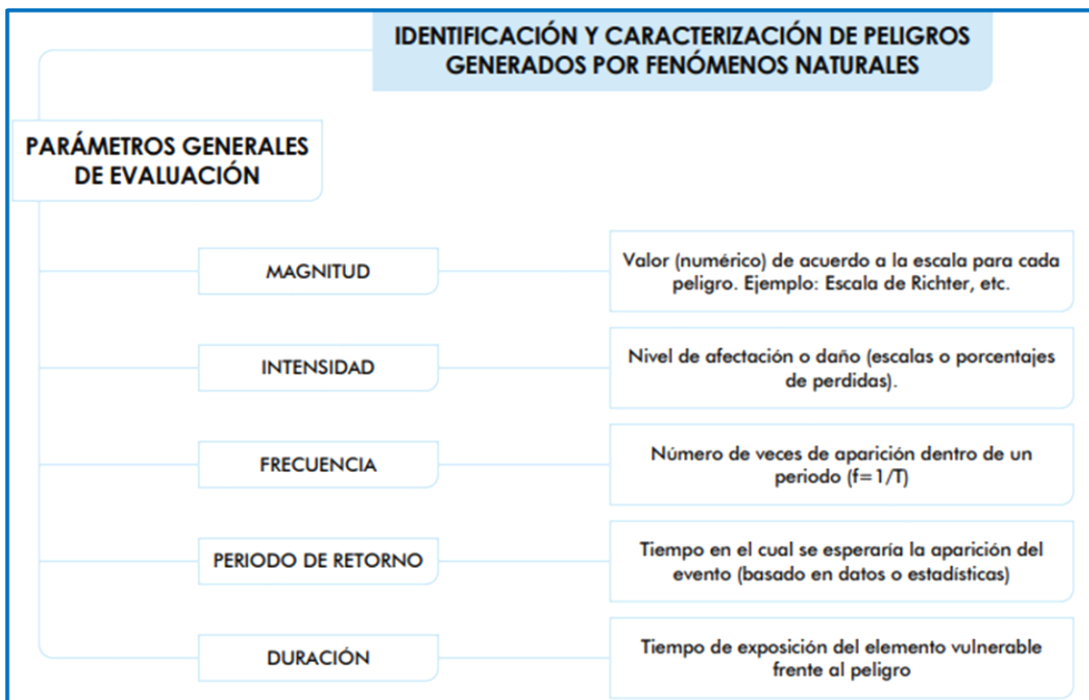
Se basa en el conocimiento histórico de los impactos producidos anteriormente en áreas expuestas, básicamente mediante una combinación de toda a la información recopilada (geográficamente, urbanística e infraestructura básica y servicios esenciales). (CENEPRED, 2015, p. 32)

### 2.2.6.2.2 **Peligros generados por fenómenos de origen natural**

Una vez identificado el área expuesta generado por un fenómeno de origen natural es necesario evaluar los parámetros que intervienen en el mecanismo generador. (CENEPRED, 2015, p. 33)

#### **Imagen 10**

*Parámetros para la identificación y caracterización del peligro*



Fuente: (CENEPRED, 2015, p. 33)



### **2.2.6.2.3 Parámetros de evaluación del fenómeno**

El (cenepred) en su manual, recomienda que cada parámetro tenga un mínimo de 5 descriptores, El peso ponderado para cada parámetro es un valor que debe ser calculado mediante el proceso de análisis jerárquico (SAATY); la suma de los pesos ponderados debe ser igual a 1 y el mayor peso es asignado al parámetro considerado más importante para el evaluador, así en orden de importancia los parámetros menos importantes. (Zambrano & Santuyo, 2019, p. 56)

### **2.2.6.2.4 Análisis de la susceptibilidad**

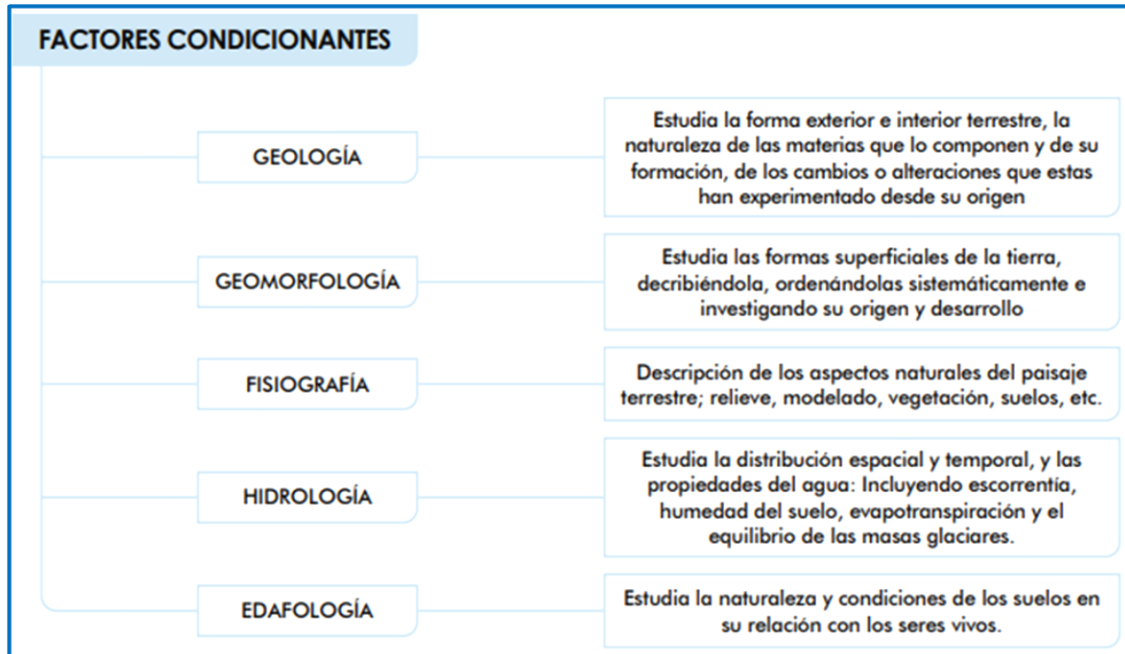
La susceptibilidad esta referida a la mayor o menor predisposición a que un evento suceda, depende de los factores condicionantes y desencadenantes del fenómeno en su respectivo ámbito geográfico. (CENEPRED, 2015, p. 106)

Teniendo en cuenta el area de estudio, las características geologicas, hidrologicas, climaticas, etc. Informacion historica de eventos pasados causando daños, para determinar la susceptibilidad se considera los factores de condicionantes y desencadenantes. (Zambrano & Santuyo, 2019, p. 41)

- **Factores condicionantes**

**Imagen 11**

*Factores condicionantes del peligro*

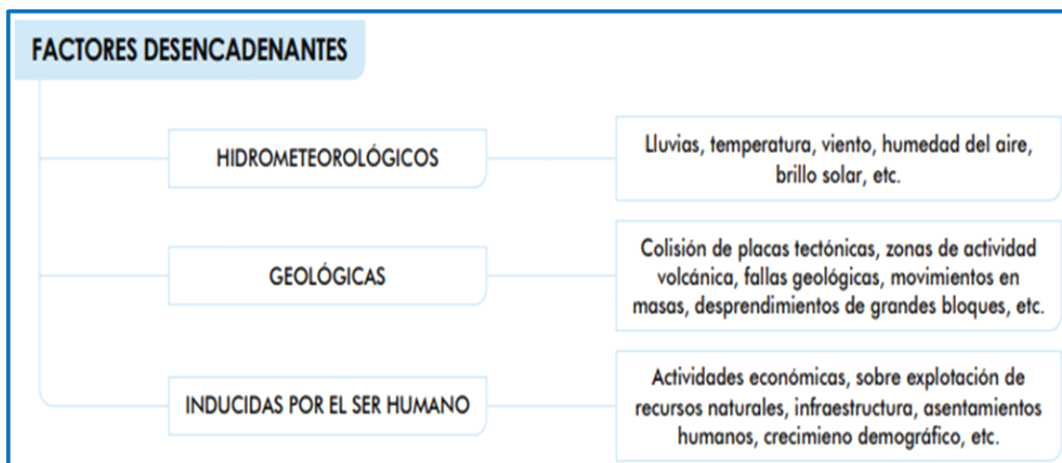


*Fuente: (CENEPRED, 2015, pág. 106)*

- **Factores desencadenantes**

**Imagen 12**

*Factores desencadenantes*



*Fuente: (CENEPRED, 2015, p. 107)*

#### **2.2.6.2.5 Estratificación del nivel de peligrosidad**

Una vez obtenida los parámetros de evaluación con sus respectivos descriptores se procede a aplicar el método de análisis multicriterio SAATYA para así establecer los niveles de peligro (Bajo medio, alto y muy alto) con sus respectivos valores. (Zambrano & Santuyo, 2019, p. 41)

#### **2.2.6.2.6 Mapa de peligros**

El mapa de peligro permite determinar la zona potencial de impacto al peligro, se debe identificar los elementos expuestos que serían afectados en los sectores sociales, económicos y ambientales. (Zambrano & Santuyo, 2019, p. 41)

#### **2.2.6.3 Análisis de la vulnerabilidad**

La ley N° 29664, ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), aprobada por el Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, define la vulnerabilidad como “la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza”.

##### **2.2.6.3.1 Vulnerabilidad social**

Vélez, 2005, enfatiza que este tipo de vulnerabilidad contiene todos los factores económicos, sociales, políticos, ideológicos, culturales, educativos, institucionales en factores sociales o la denominada vulnerabilidad social, alegando que ella depende de los recursos económicos, la capacidad para organizarse, los niveles de autonomía e incapacidad de gestión y negociación ante los actores externos, las imágenes conceptos o prejuicios, sentido de identidad, propósito común y pertenencia de los individuos en sus comunidades y a los ecosistemas donde se localizan, la no correspondencia entre contenidos y métodos educativos y prácticas que requieren para participar activamente en su comunidad, adaptación

de la comunidad a la realidad y una rápida y adecuada respuesta de las instituciones en caso de desastres. (Gutierrez, 2021, p. 59)

#### **2.2.6.3.2 Vulnerabilidad económica**

Los niveles de vulnerabilidad económica se determinan en las actividades económicas y de infraestructura expuesta dentro del ámbito de estudio del fenómeno de origen natural, conociendo los elementos expuestos vulnerables y no vulnerables, para luego incorporar en el análisis de fragilidad y resiliencia económicas. (CENEPRED, 2015, p. 129)

#### **2.2.6.3.3 Vulnerabilidad ambiental**

Para la identificación de los niveles de vulnerabilidad ambiental, se establece los recursos naturales renovables y no renovables expuestos dentro del área de influencia del fenómeno de origen natural, identificando los recursos naturales vulnerables y no vulnerables, para a continuación incorporar el análisis de la fragilidad ambiental y resiliencia ambiental. (CENEPRED, 2015, p. 135)

#### **2.2.6.3.4 Análisis de los factores de vulnerabilidad**

##### **a) Exposición**

Las decisiones y prácticas que ubican al ser humano y sus medios de vida en zona de impacto de un peligro. Los procesos no planificados de crecimiento demográfico como las migraciones desordenadas, asentamiento de población sin un adecuado planeamiento territorial y/o políticas de desarrollo económico no sostenible suman como elementos expuestos, a mayor exposición mayor será la vulnerabilidad.

### **Imagen 13**

*Viviendas expuestas y susceptibles a inundación de detritos en el sector de Podocarpus en Abancay marzo 2012.*



*Fuente: INGEMMET*

#### **b) La fragilidad**

esta referida a las condiciones de desventaja o debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro, está centrada a las condiciones físicas de una comunidad o sociedad como las formas de construcción, no seguimiento de la normatividad vigente sobre construcción y/o materiales, en tanto a mayor fragilidad mayor vulnerabilidad. (CENEPRED, 2015, pág. 122)

## Imagen 14

*Tipo de construcción de viviendas en las riberas del cauce de la quebrada Sahuanay, urbanización Maucacalle Sahuanay.*



*Fuente: Elaboración propia*

### c) **Resiliencia**

La Resiliencia, esta referida al nivel de asimilación o capacidad de recuperación del ser humano y sus medios de vida frente a la ocurrencia de un peligro. Está asociada a condiciones sociales y de organización de la población. A mayor resiliencia, menor vulnerabilidad. (CENEPRED, 2015, p. 123)

#### **2.2.6.3.5 Mapa de vulnerabilidad**

Para elaborar el mapa de vulnerabilidad es necesario que el mapa se considere los siguientes elementos: coordenadas (UTM y geográfica) norte, leyenda (simbología de ser el caso), membrete escala numérica, escala gráfica, mapa de ubicación y matriz de niveles de vulnerabilidad. (Zambrano & Santuyo, 2019, p)

#### **2.2.6.4 Cálculo del riesgo**

Carreño et. al. (2005), establece que, siendo el riesgo el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales asociadas a uno o varios fenómenos peligrosos. El expresar los conceptos de peligro (amenaza), vulnerabilidad y riesgo, ampliamente aceptada en el campo técnico científico Cardona (1985), Fournier d'Albe (1985), Milutinovic y Petrovsky (1985b) y Coburn y Spence (1992), está fundamentada en la ecuación adaptada a la Ley N° 29664 Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, mediante la cual se expresa que el riesgo es una función f() del peligro y la vulnerabilidad. (CENEPRED, 2015, p. 147)

$$R (t= f (P_i \times V_e))_t$$

R: Riesgo

F: En función

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

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

### 2.3 Marco conceptual

- **Movimiento en masa:** Los movimientos en masa son procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores. Hauser, (1993)
- **Reología:** La reología se refiere al flujo y a la deformación, de las sustancias y en particular a su comportamiento en la zona transitoria entre sólidos y fluidos. Además, la reología intenta definir una relación entre la tensión que actúa sobre un material dado y la deformación y/o flujo resultante que tiene lugar. Barbosa G.V, (2005)
- **Modelamiento hidrológico:** Un modelo hidrológico es pues una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica. Dueñas, (1997)
- **Modelamiento numérico:** Son aquellos modelos que resuelven ecuaciones matemáticas y con ello logran describir un fenómeno en estudio. Uno de los fenómenos que han logrado simular es la del transporte de sedimentos, donde distintas ecuaciones proporcionan resultados muy diferentes. El resultado del modelo numérico dependerá de que tipo de ecuaciones este utilizando, porque si en caso los resultados son distintos queda en decisión del proyectista interpretar dicho comportamiento, Manual RAMMS Bartelt et al. (2003)
- **Prevención:** La prevención es la media o conjunto de medidas diseñadas para proporcionar protección contra los efectos de un desastre. Incluye medidas de ingeniería, de legislación sobre el uso de la tierra, del agua y el ordenamiento urbano. Vílchez, (2004)



- **Desastre:** Conjunto de daños y pérdidas en la salud, fuentes de sustento, hábitat físico, infraestructura, actividad económica y medio ambiente, que ocurre como efecto ante un evento natural, cuya intensidad genera graves alteraciones en el funcionamiento de las unidades sociales, sobrepasando la capacidad de respuesta regional y local para atender eficazmente sus consecuencias, pudiendo ser de origen natural o inducido por acción humana. CENEPRED, (2015)
- **Peligro:** Probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico con una cierta intensidad y en un periodo de tiempo y frecuencia definidos. CENEPRED, (2015)
- **Vulnerabilidad:** La vulnerabilidad está definida también como la susceptibilidad de la población, la estructura física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro. Esta definición puede ser explicada de manera adecuada por dos factores fragilidad y resiliencia” (CENEPRED, 2015)
- **Precipitaciones:** Es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, pero no virga, neblina ni rocío, que son formas de condensación y no de precipitación, Fattorelli & Fernandez (2007)
- **Escorrentía directa:** Es el flujo superficial que pasa por los cauces de la quebrada. Generalmente dicha escorrentía genera infiltraciones en ciertas partes de la cuenca, ello dependerá de las condiciones del terreno. Fattorelli & Fernandez (2007)
- **Tiempo de Concentración:** Tiene 2 definiciones que están muy bien aceptadas. En primer lugar, el tiempo requerido para que una partícula de agua fluya

hidráulicamente desde la parte más lejana de la cuenca hasta la zona de descarga o zona de diseño.

- **Curva Hipsométrica:** Es la demostración de la acumulación entre la elevación y el área de los intervalos de elevación. Se utiliza frecuentemente con el propósito de comparar redes de valles, debido a que la escorrentía directa tiene más energía cinética, el suelo se corta más rápido, eso quiere decir que la curva de elevación frente al área cae mucho más rápida, Gribbin (2007).

- **Evaluación de riesgo:** Tiene por finalidad conocer el nivel de riesgos en un área específica, el cual contribuye a prevenir y reducir los riesgos de desastres y el cual nos permitirá poder interpretar resultados y tomar decisiones para los procesos de preparación y rehabilitación, CENEPRED (2015).

### **Capítulo III: Metodología de investigación**

#### **3.1 Hipótesis**

##### **3.1.1 *Hipótesis general***

Si elaboramos una correcta evaluación de los niveles de riesgo ante la ocurrencia de un flujo de detritos en el área de estudio, entonces podremos proponer que este informe sirva como sustento técnico para la declaración positiva o negativa de las áreas de riesgo que ponen en peligro la vida de los pobladores que se encuentran a lo largo y a los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco, Provincia de Abancay 2022.

##### **3.1.2 *Hipótesis específicas***

- a) En la medida que se aplique el modelamiento de simulación numérica de flujo de detritos podemos realizar la identificación de las diferentes zonas de riesgo que se encuentran en los alrededores de la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay 2022.

- b) Si se identifica los niveles de peligrosidad, entonces podremos determinar la susceptibilidad de los factores condicionantes y desencadenantes en el ámbito de estudio ante la ocurrencia de flujo de detritos en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay 2022.
- c) Si se realiza los análisis de vulnerabilidad, entonces podremos determinar los niveles de vulnerabilidad de los elementos expuestos en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco, provincia de Abancay 2022.

### **3.2 Método**

Para la evaluación de riesgos originados por fenómenos de origen natural se identifican tres tipos de métodos de evaluación (cualitativo, semi – cuantitativo y cuantitativo) que se encuentran en el manual de evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales EVAR – CENEPRED. Para la elaboración de este proyecto de investigación aplicaremos el **Método Cuantitativo**.

Este método implica el conocimiento preciso de los peligros, de los elementos expuestos y de sus vulnerabilidades, basado en información del ámbito geográfico de estudio (escala de trabajo adecuada) debido a la ejecución de diversos estudios técnicos como estudios hidrometeorológicos, mediciones instrumentales de campo, estudios hidrológicos, etc. Que genera información actualizada (uso de análisis estadístico y probabilístico) que ayude al conocimiento de los peligros, las vulnerabilidades y los riesgos. (CENEPRED, 2015, p. 19)

### **3.3 Tipo de investigación**

El presente proyecto de investigación reúne las condiciones metodológicas de una investigación de tipo aplicada.

La investigación aplicada es un tipo de investigación que aprovecha los conocimientos logrados por investigación e informaciones existentes y anteriores para el conocimiento y solución de problemas inmediatos. (Sánchez, Reyes, & Mejía, 2018, p. 78)

### **3.4 Nivel o alcance de investigación**

La investigación se concentrará en un nivel de investigación de carácter **DESCRIPTIVO**, pues describe las posibles situaciones, contexto y sucesos de manera de cómo se manifiesta los flujos de detritos en la quebrada Sahuanay en el distrito de Tamburco, realizando un diagnóstico del tema o problema de investigación. (Hernández et al, 2014, p. 30)

### **3.5 Diseño de investigación**

Según el propósito del estudio, el diseño es **NO EXPERIMENTAL** porque tomamos en cuenta un escenario pasado dónde se desarrolló el fenómeno para así poder realizar la simulación bajo un modelo numérico. El diseño no experimental se aplicará de manera transversal, puesto que se recolectará datos en un solo momento, en un tiempo único durante el proceso del estudio de la investigación lo cual el propósito será describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. (Gutierrez, 2021, p. 63)

### 3.6 Operacionalización de variables

Tabla 5

*Operacionalización de variables.*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
<b>Independiente</b>					
Modelo numérico de flujo de detritos.	Predicción mediante métodos estadísticos y numéricos para la predicción del fenómeno natural.	Herramientas de modelado hidrológico de cuencas hidrográficas.	Magnitud del movimiento del flujo de detritos.	Velocidad del flujo de detritos (m/s) y los umbrales (m).	Software's HEC-RAS V 6.1
Peligrosidad.	Probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas.	Se realiza una matriz, el cual nos permita estructurar de una forma visual la peligrosidad de la zona de estudio.	Susceptibilidad de los factores desencadenantes y condicionantes.	Unidad hidrológica, geomorfológica, geológica, pendiente, precipitación, frecuencia.	Información de instituciones técnico-científicas SENAMHI, INGEMMET, INCEDI, CENEPRED, INEI, etc.
Vulnerabilidad.	La susceptibilidad de los elementos expuestos, la estructura física o las actividades socioeconómicas, sufren daños por acción de un peligro.	Se realiza una matriz, el cual nos permita estructurar de una forma visual la vulnerabilidad de los elementos expuestos.	Exposición, fragilidad y resiliencia (social, económica y ambiental).	Grupo etario, material de construcción de muros, ubicación de viviendas y contaminación del cauce, factores antropogénicos de modificación del cauce.	Censo, inventario Información del INEI. Fichas de registro de datos.
<b>Dependiente</b>					
Evaluación de riesgo por flujo de detritos.	Movimiento en masa, catástrofe de violencia mayor, edificios destruidos por el impacto, muchas muertes.	Determinar la peligrosidad y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, se toma como guía el manual de evaluación de riesgo originados por fenómenos naturales CENEPRED.	Peligrosidad, Vulnerabilidad de los elementos expuestos.	Mapa de niveles de riesgo por flujo de detritos (muy alto, alto, medio, bajo)	ARC MAP V 10.5 (ARC GIS).

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.7 Población, muestra y muestreo**

#### **3.7.1 Población**

La población o universo de estudio para este proyecto de investigación, está conformado por el distrito de Tamburco con un total de 10,861 habitantes y 2,183 viviendas según el INEI en el 2018

#### **3.7.2 Muestra**

La muestra de estudio será una muestra probabilística según (Hernández et al, 2014, pág. 177) , dicha muestra corresponde a la población e infraestructuras que se encuentran en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay, que se encontrarían a un nivel riesgo ante la ocurrencia de un fenómeno natural en este caso un flujo de detritos.

### **3.8 Técnicas e instrumentos**

#### **3.8.1 Técnicas**

Las técnicas para este proyecto de investigación serán los siguientes:

**Cuestionarios:** Los cuestionarios se realizarán para poder obtener información de la población que se encuentran a los alrededores de la quebrada Sahuanay, información respecto a los servicios básicos que cuentan ellos, si cuentan con conocimientos de gestión de riesgos, si conocen como evacuar ante un evento de fenómeno de flujo de detritos, todo esto para poder determinar los niveles de vulnerabilidad.

**Observación:** Esta técnica se utilizó por que se necesitó observar las condiciones del terreno como; uso de terrenos, material depositado por la ocurrencia de dichos fenómenos anteriormente denotados por lluvias continuas de la zona, y se corroborará con el plano catastral del distrito de Tamburco.

**Documentos y registros:** se examinó la información encontrada de los institutos técnicos científicos como: INEI, CENEPRED, INGEMMET, GEOCATMIN, SIGRID Y otros referidos a la evaluación de riesgos por fenómenos naturales.

la información brindada por las instituciones técnicas científicos es de acceso libre y gratuita, se puede encontrar en sus respectivas bases de datos brindados por dichas instituciones.

### 3.8.2 Instrumentos

**Tabla 6**  
*Instrumentos que se utilizó en la investigación.*

Instrumentos	Cantidad
Cámara fotográfica	1
Laptop ASUS i7 de 11 generación	1
Impresora hp Ink 575	1
Computadora de escritorio	1
Navegador GPS Garmin trex 10	1
Calculadora científica hp prime	1

Fuente. Elaboración propia

### 3.9 Consideraciones éticas

Por tratarse de una investigación descriptiva, el cual tiene como objetivo recoger información tal como se muestra en la realidad, a través de encuestas, entrevistas y observaciones; según Helsinky y la resolución 008430 del año 1993, es una investigación sin riesgo. La población seleccionada no se considera vulnerable, ya que solo nos remitiremos a la observación y la entrevista relacionado con la evaluación de riesgo por flujo de detritos, la privacidad y la confiabilidad de los datos proporcionados por la población en estudio es totalmente garantizado por lo que la información será solo de uso exclusivo del investigador para fines de la investigación, así mismo estos serán salvaguardados en nuestra base de datos confidencial. El grado de riesgo es mínimo o casi nulo tanto de que la investigación



misma, como de la población que estará sujeta a investigación, ya que con la investigación se obtendrán datos muy importantes que servirán como base de datos en la toma de decisiones de las autoridades competentes.

### **3.10 Procesamiento de estadísticos**

Guerrero y Zapata (2017), señalan que, el uso de los softwares científicos son herramientas fundamentales para el análisis de los datos de una investigación, la recolección y el procesamiento de datos en una forma automática.

Como primer paso es realizara un análisis estadístico (datos dudosos) para la verificación de los datos de precipitación máximas mensuales, si se encuentran en dichos límites de dicho análisis estadístico, para luego realizar la prueba de Smirnov-kolmogorov para así elegir una distribución teórica las más usadas en hidrología, eso es los datos del registro histórico de precipitaciones máximas mensuales.

Para la demostración de la hipótesis específicos se desarrolló por medio de las diferentes tablas brindadas por la estadística clásica que son la (tstudent y la tabla Z) en cual es recomendable para una muestra que supere los 30 datos como también que no superen los 30 datos.

## **Capítulo IV: Resultados y discusión**

### **4.1 Resultados**

#### **4.1.1 *Ubicación y descripción del área de estudio***

La quebrada Sahuanay se encuentra dentro del distrito de Tamburco en la urbanización Maucacalle, presenta un cauce principal definido de dirección de Norte a Sur, el tramo de estudio abarca una extensión de 3.6 km aproximadamente, se halla en la zona 18 S, inicia en la coordenada UTM WGS-84 (8492588 norte 7293850 este, a los 2620 m.s.n.m) y termina en las coordenadas (8494604 norte 7298690 este, a los 2830 m.s.n.m).

La microcuenca Sahuanay, corresponde a una microcuenca húmeda, denominada así por encontrarse por encima de los 2830 m.s.n.m, donde la precipitación pluvial es un aporte efectivo al escurrimiento superficial. El escurrimiento superficial de la quebrada Sahuanay es originada por las precipitaciones que se presentan en las sub-cuencas altas de la microcuenca

Sahuanay, las cuales se presentan concentradas durante los meses de diciembre a abril anualmente.

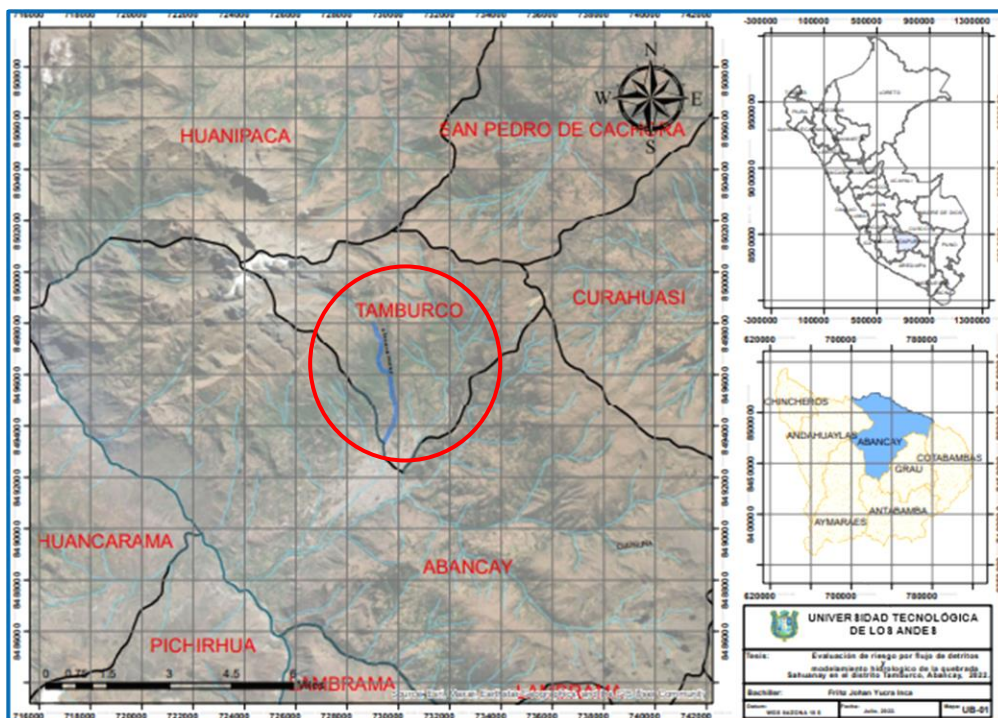
El régimen natural de la quebrada Sahuanay presenta periodos definidos; uno de avenidas, que abarca los meses de diciembre a abril y la descarga del 90% del volumen total anual: y el otro es el estiaje, que inicia en el mes de mayo y concluye a finales de noviembre (Yucra Inca F. J, pág. 12. ALMM)

#### 4.1.1.1 Ubicación política

La quebrada Sahuanay se encuentra localizada en el departamento de Apurímac, provincia de Abancay, distrito de Tamburco en la urbanización Maucacalle Sahuanay.

### Imagen 15

Mapa de ubicación de la quebrada Sahuanay del distrito de Tamburco



Fuente: Elaboración propia

El distrito de Tamburco se encuentra al norte de la ciudad de Abancay y limita por el Norte con los distritos de San Pedro de Cachora y Huanipaca, por el Sur con el distrito de Abancay, por el Este con el distrito de Curahuasi.

#### 4.1.1.2 Ubicación geográfica

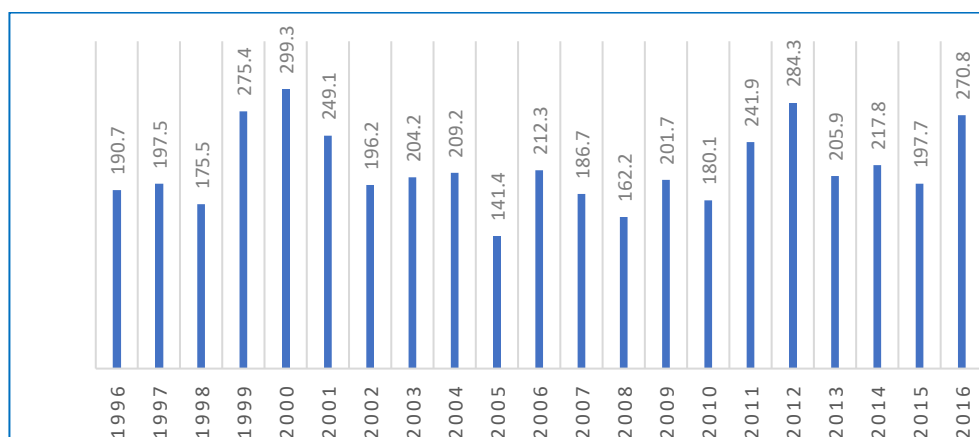
El distrito de Tamburco se encuentra a una altura promedio de 2595 m.s.n.m a una altitud Sur 13.622448° y una latitud Oeste 72.872792°, a unos 2.25 km de la plaza de armas de Abancay. (Maldonado, 2021, p. 78)

#### 4.1.2 Precipitación

La precipitación en la hidrología es el término que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmosfera y depositadas en la superficie de la tierra, como la lluvia, el granizo, la helada etc. En el siguiente histograma nos muestra que en los últimos años se encontraron precipitaciones máximas de 299.3 mm y una precipitación mínima de 141.4 mm, por otro lado, como dato histórico resaltamos de la ocurrencia del fenómeno natural denominado (avalancha de flujo de detritos) en el año 2012, presento una precipitación máxima de 284.3 mm este dato histórico.

#### Gráfico 1

*Histograma de precipitación máxima anual de la estación de Granja San Antonio*



Fuente: Elaboración propia

### **4.1.3 Hidrología**

#### **4.1.3.1 Información cartográfica**

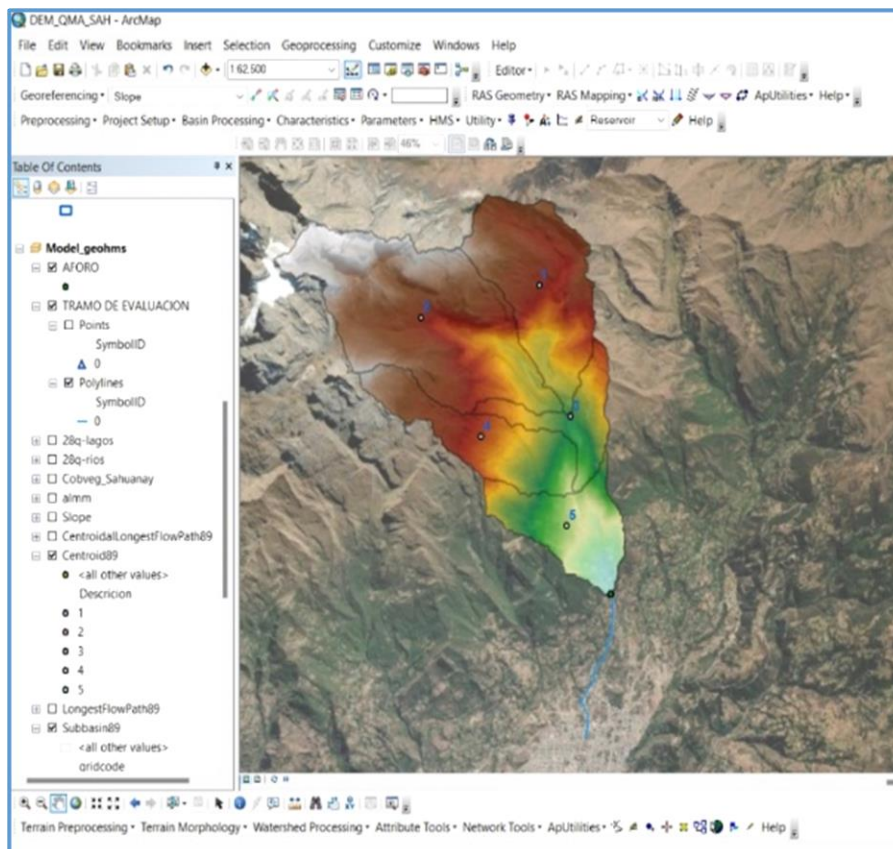
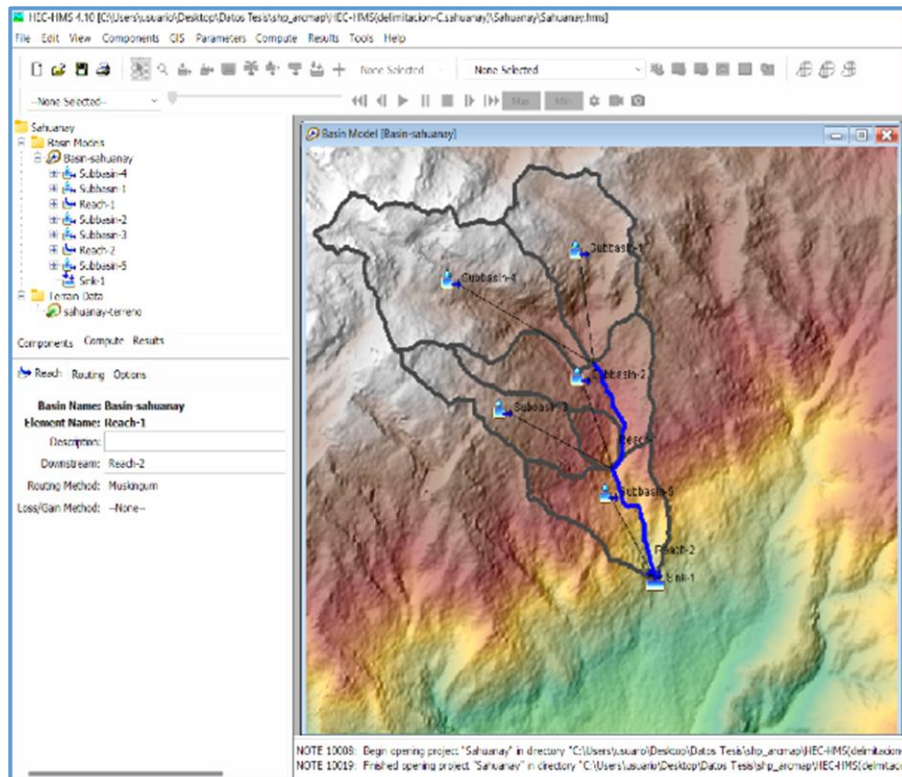
La información con la que se realizó el proyecto fue con ayuda de una modelo digital de elevación (DEM), ALOS – PALSAR, obtenidas del Alaska Satellite Facility (ASF), 2022, que cuenta con una precisión de 12.5 metros, también se utilizó las cartas nacionales 28-q4 obtenidas del GEOCATMIN (sistema de información geológica y catastral minero del Perú) cuyo procesamiento de datos se realizó en los softwares HEC-HMS v-4.10 y HEC-GEOHMS una extensión del ARCMAP v-10.5 cuya fin es la delimitación de la cuenca y la identificación del cauce principal en todo su recorrido para lo cual nos ayudara a calcular el Tc (tiempo de concentración, el tiempo de la gota de agua que recorre desde el punto más alto que viene a ser el origen de la naciente de la cuenca hasta el punto más bajo del cauce o punto de aforo).

#### **4.1.3.2 Delimitación de la cuenca Hidrográfica**

La delimitación de la cuenca se realizó con la ayuda del software HEC-HMS v-4.10 y el software ARCMAP v-10.5 con una de sus extensiones el HEC-GEOHMS, (ver anexo 3 a). Cuyo propósito es la elaboración de los parámetros geomorfológico de la microcuenca delimitada.

## Imagen 16

*Delimitación de la microcuenca Sahuany con los softwares  
HEC-HMS v-4.10 y ARCMAP v-10.5*



*Fuente: Elaboración propia*

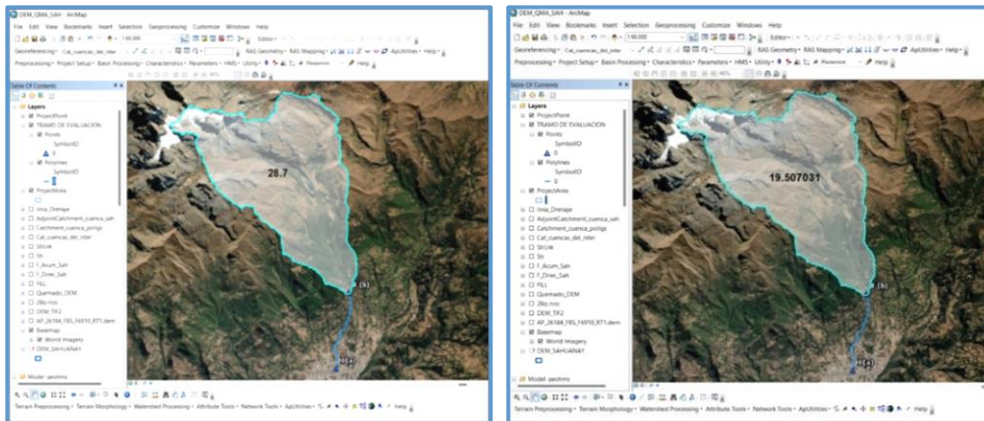
### 4.1.3.3 Características físicas de la microcuenca

#### 4.1.3.3.1 Área y perímetro

La cuenca delimitada anteriormente con los softwares HEC-HMS y ARCMAP de la quebrada Sahuanay contempla un área de 19.51 km<sup>2</sup> y un perímetro de 28.70 km.

#### Imagen 17

Área y perímetro de la microcuenca Sahuanay calculadas del software ARC-MAP v-10.5.



Fuente: Elaboración propia

La cuenca delimitada para la quebrada Sahuanay responde a una cuenca muy pequeña por presentar un área menor de 25 km<sup>2</sup>, Te Chow (ver tabla 7).

**Tabla 7**

*Clasificación propuesta para cuencas propuestas*

Tamaño de la cuenca (km <sup>2</sup> )	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia pequeña
500 a 2,500	Intermedia grande
2,500 a 5,000	Grande
> 5,000	Muy grande

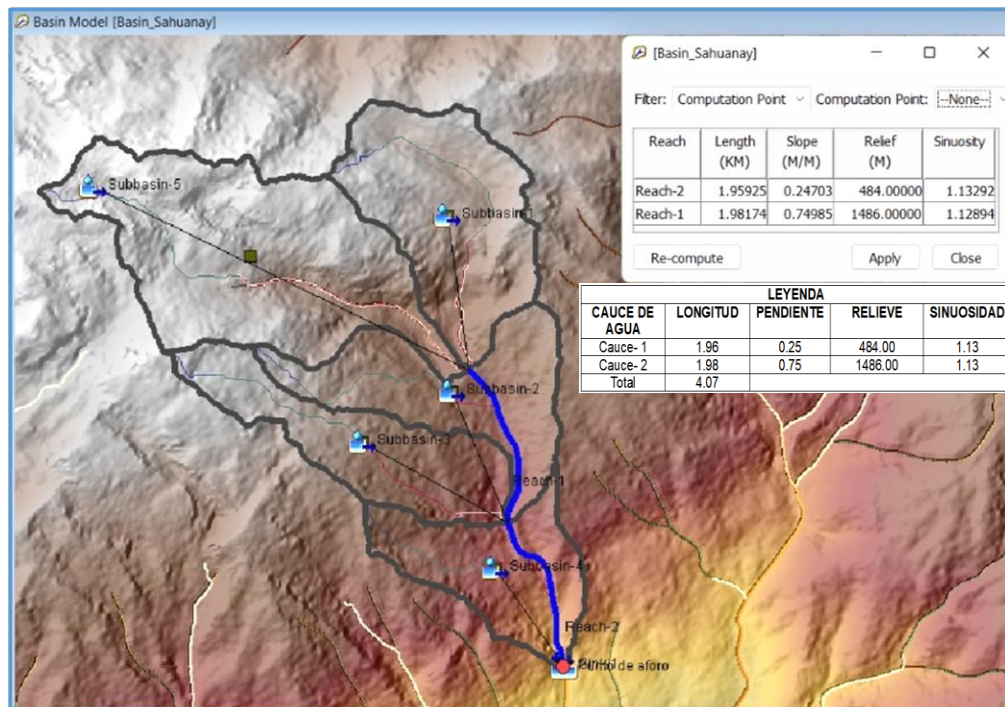
Fuente: (Campos, 1998, p. 61)

#### 4.1.3.3.2 Longitud del cauce principal

El cálculo de la longitud total del cauce principal de la cuenca, hasta llegar al punto de aforo o salida, se obtuvo del software HEC-HMS (ver imagen 18), mostrando como resultado una longitud total de 4.07 km.

#### Imagen 18

*Longitud del cauce principal de la micro – cuenca Sahuanay*



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.3.4 Características geomorfológicas

Las características geomorfológicas son la forma, el relieve y el funcionamiento de la microcuenca delimitada Sahuanay.

##### 4.1.3.4.1 Forma de la cuenca

La forma de la cuenca está en relación del área, perímetro y la longitud del cauce, la cuenca para la quebrada Sahuanay presenta un área de 19.51 km<sup>2</sup> según la clasificación de Ven Te Chow es una microcuenca (pequeña) de orden 1° a 2° ,



por consiguiente, se denomina la microcuenca Sahuanay, para el mejor entendimiento y viabilidad de la investigación.

**Tabla 8**

*Unidades hidrográficas y orden en relación del área y perímetro.*

<b>Clasificación de las unidades de una micro - cuenca</b>		
<b>Unidad hidrográfica</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>N° de orden del río</b>
Microcuenca (Pequeña)	10 – 100	1°, 2°, 3°
Sub cuenca (mediana)	100 – 700	4° y 5°
Cuenca (grande)	700 – 6000	6° a mas
<b>Rangos de orden</b>	<b>Clases de orden</b>	<b>Rangos de orden</b>
1 – 2	Bajo	1 – 2
2 – 4	Mediano	2 – 4
4 – 6	Alto	4 – 6

*Fuente: (Ven Te Chow, 1994, pág. 96)*

#### **4.1.3.4.2 Ancho promedio de la cuenca**

El ancho promedio de la microcuenca Sahuanay, está en relación del área y la longitud del cauce principal.

$$A_p = \frac{A}{L} \quad \text{Ecuación 1: Ancho promedio de la cuenca.}$$

Donde:

A<sub>p</sub>.- Ancho promedio de la cuenca (km)

A.- Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

L.- Longitud del cauce principal (km)

$$A_p = \frac{19.51}{4.07} = 4.79 \text{ km}$$

#### **4.1.3.4.3 Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad**

$$K_c = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Ecuación 2: Coeficiente de compacidad.}$$

Donde:

K<sub>c</sub>.- Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

P.- Perímetro de la cuenca (Km)

A.- Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

$$K_c = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \times \frac{28.70}{\sqrt{19.51}} = 1.83$$

La microcuenca Sahuanay, presenta un índice de compacidad de 1.83 que resulta mayor que el kc establecido, definiendo como casi rectangular (alargada), por otro lado, definen, “que si el kc se acerca a 1 toma una forma redonda y si se aleja del valor toma la forma alargada”. (Gaspari et al, 2012, pág. 6),

**Tabla 9**

*Forma de la cuenca hidrográfica mediante el coeficiente de compacidad o índice de Gravelius*

Coeficiente de compacidad (K <sub>c</sub> )	Clasificación
1.00 a 1.25	Casi redonda a oval – redonda
1.25 a 1.50	Oval redonda a oval - oblonga
1.50 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Casi rectangular oblonga (alargada)

*Fuente: (Gaspari et al, 2012, pág. 6)*

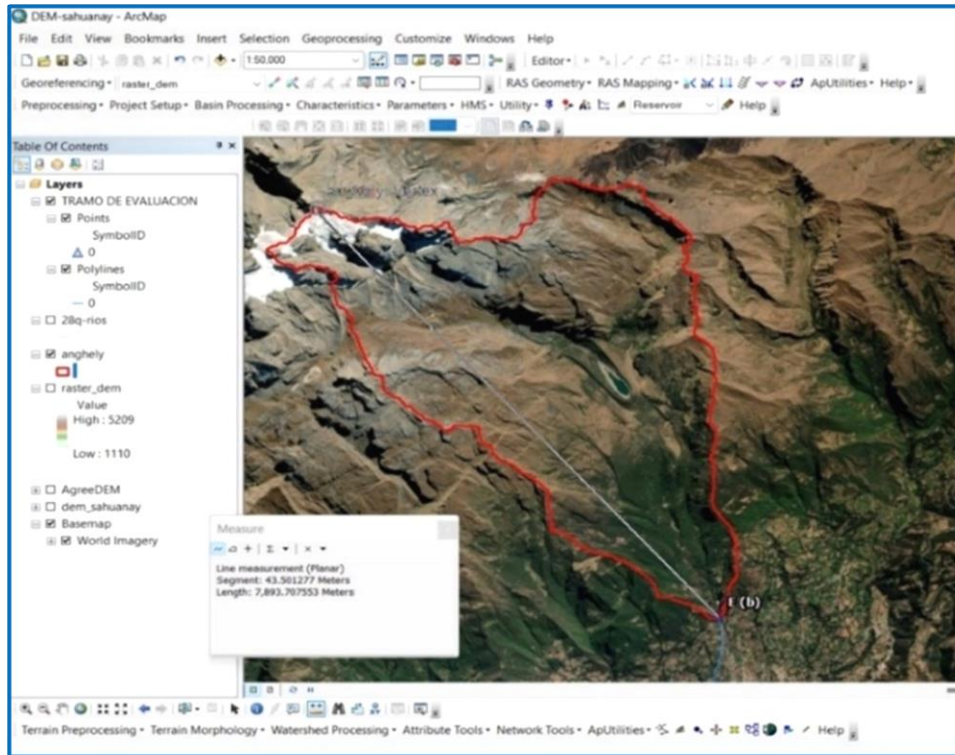
#### **4.1.3.4.4 Factor de forma**

El factor forma explica de mejor forma elongación de una cuenca, en este caso la micro – cuenca Sahuanay, que se expresa como la relación entre el área y la longitud, en esta investigación se toma uno de los criterios, “la selección de la longitud de la cuenca, la distancia en línea recta entre el punto de salida o aforo hasta el punto más alejado de donde recorrerá la gota de agua”. (Campos, 1998)

El cálculo de la longitud del cauce de donde recorre a la gota de agua más alejada en la micro – cuenca Sahuanay hasta el punto de salida o aforo, mencionada por Campos, se usó el software ARCMAP dando como resultado una longitud de 7.893 km en línea recta.

## Imagen 19

*Distancia en línea recta entre el punto de salida o aforo hasta el punto más alejado de donde recorrerá la gota de agua.*



*Fuente: Elaboración propia*

$$F_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Ecuación 3: Factor forma.}$$

Donde:

$F_f$ .- Factor de forma

A.- Área de la cueca  $\text{Km}^2$

L.- Longitud del cauce principal de la cueca en  $\text{Km}^2$  en línea recta

$$L = 7893.72 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad L = 7.89 \text{ km}$$

$$F_f = \frac{19.51}{7.89^2} = 0.31 \quad \longrightarrow \quad F_f = 0.31$$

La micro – Cuenca Sahuanay, muestra un valor de factor de forma de 0.31, clasificándose como una micro – cuenca de forma ligeramente alargada.

**Tabla 10**

*Rangos aproximados del factor de forma, establecidos por Pérez en 1979.*

Factor de forma (valores aproximados)	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

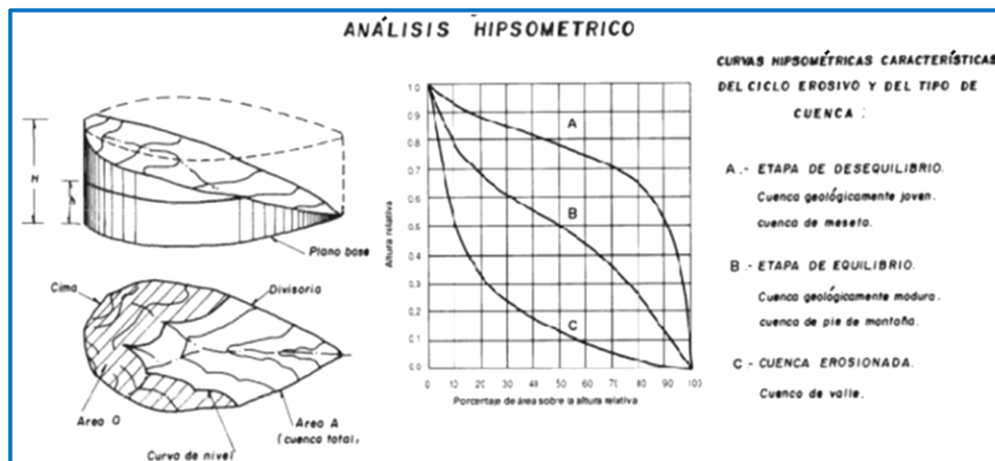
*Fuente: (Pérez, 1979, p.87)*

#### 4.1.3.4.5 Curva hipsométrica

“Es la representación gráfica del relieve o topografía de una cuenca, representa la variación de la elevación del terreno en función de las superficies correspondientes”. (Campos, 1998, pág. 62)

#### Imagen 20

*Análisis hipsométrico, representado por Campos 1998*



*Fuente: (Campos, 1998, pág. 62)*

La construcción de la curva hipsométrica de la microcuenca Sahuanay, se obtuvo por medio del software Arc Gis 10.5 para luego hacerlos cálculos debidos en el programa Excel, (ver anexo 3 b).

**Tabla 11**

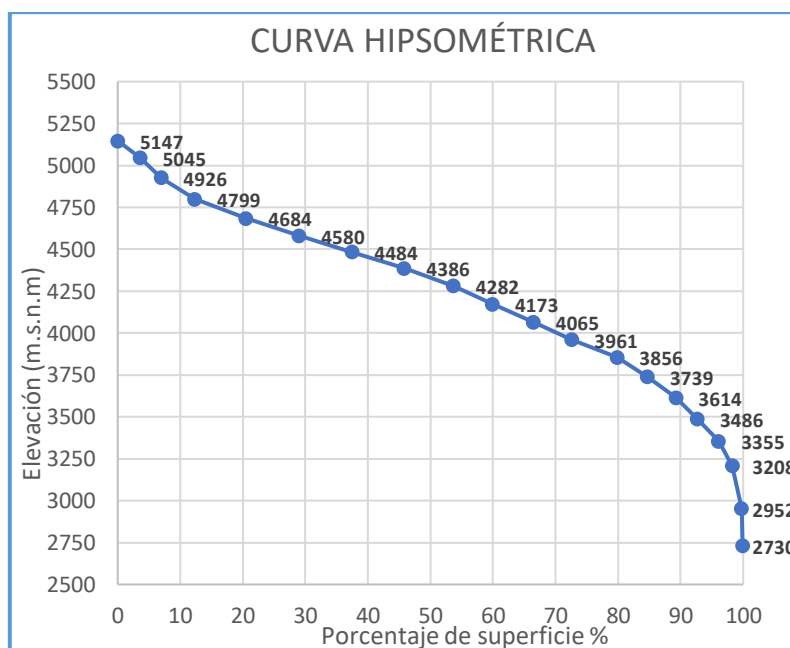
*Elevaciones con su respectivo porcentaje de superficie*

Elev- Media	% de Sup-rel	Elev- Media	% de Sup-rel	Elev- Media	% de Sup-rel	Elev- Media	% de Sup-rel
5147	1.000	0.699	3.62	3.618	0.699	0.036	3.618
5045	0.980	0.644	3.33	6.950	1.343	0.069	6.950
4926	0.957	1.039	5.37	12.324	2.382	0.123	12.324
4799	0.932	1.587	8.21	20.537	3.969	0.205	20.537
4684	0.910	1.631	8.44	28.977	5.600	0.290	28.977
4580	0.890	1.638	8.47	37.450	7.238	0.375	37.450
4484	0.871	1.612	8.34	45.791	8.850	0.458	45.791
4386	0.852	1.521	7.87	53.661	10.371	0.537	53.661
4282	0.832	1.207	6.25	59.907	11.578	0.599	59.907
4173	0.811	1.260	6.52	66.426	12.838	0.664	66.426
4065	0.790	1.200	6.21	72.633	14.037	0.726	72.633
3856	0.749	0.940	4.87	84.687	16.367	0.847	84.687
3739	0.726	0.883	4.57	89.259	17.251	0.893	89.259
3614	0.702	0.660	3.42	92.674	17.911	0.927	92.674
3486	0.677	0.660	3.41	96.087	18.570	0.961	96.087
3355	0.652	0.421	2.18	98.263	18.991	0.983	98.263
3208	0.623	0.283	1.46	99.726	19.274	0.997	99.726
2952	0.573	0.033	0.17	99.896	19.306	0.999	99.896
2730	0.530	0.020	0.10	100.000	19.326	1.000	100.000

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 2**

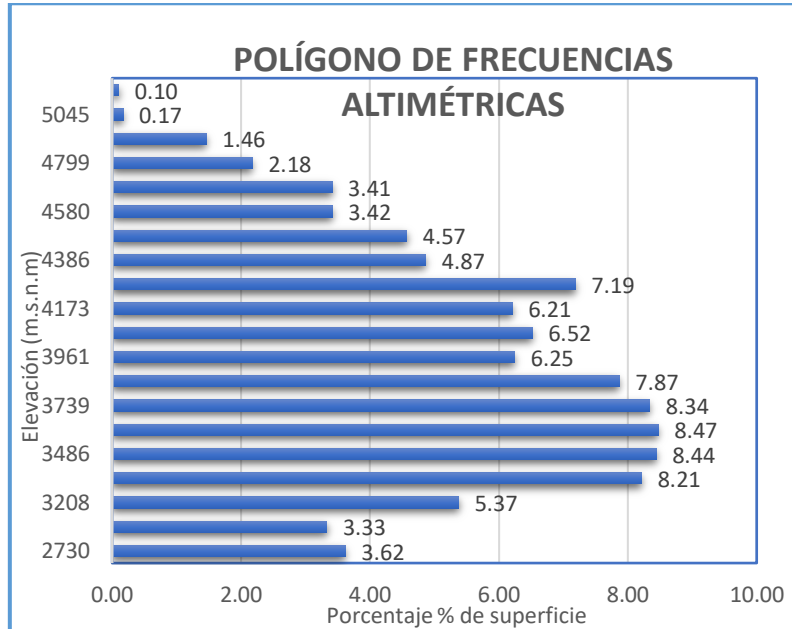
*Curva hipsométrica de la micro – cuenca Sahuanay*



Fuente: Elaboración propia

### Gráfico 3

Polígono de frecuencias altimétricas de la micro –  
cuenca Sahuanay



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.4.6 Pendiente media de la microcuenca

Es la inclinación o pendiente promedio de la micro – cuenca Sahuanay, “representa la diferencia total de elevación del lecho de la quebrada dividido por su longitud de su cause principal”. (Monsalve, 1999, pág. 49)

**Ecuación 4:** Pendiente media ( $S_p$ )

$$S_p = \frac{H}{LC}$$

**Ecuación 5:** Pendiente media de la microcuenca.

$$H = C_{max} - C_{min}$$

Donde:

$S_p$ .- Pendiente media de la cueca

H.- Desnivel de la cuenca (m)

$L_C$ .- Longitud del cauce principal

$C_{max}$ .- Altitud máxima de la cuenca (m.s.n.m)

$C_{min}$ .- Altitud mínima de la cuenca (m.s.n.m)

$$H = 2417$$

$$S_p = 0.59$$

$$S_P = 59.38 \%$$

La microcuenca Sahuanay cuenta con una pendiente media de 59.38 %, que es mayor a la pendiente media establecido por Pérez en 1979, definiendo como una microcuenca muy escarpada por presentar pendiente media mayor a 50 %.

Pérez, 1979, muestra la siguiente (tabla 12) topográfica adoptada por una cuenca según rangos aproximados de su pendiente media.

**Tabla 12**

*Topográfica adoptada por una cuenca según rangos aproximados de su pendiente media.*

Pendiente media (%)	Terrenos
0 a 2	Llano
2 a 5	Suave
5 a 10	Accidentado medio
10 a 15	Accidentado
15 a 25	Fuertemente accidentado
25 a 50	Escarpado
> 50	Muy escarpado

*Fuente: (Pérez, 1979, p. 105)*

#### **4.1.3.5 Características de la red de drenaje**

Es el sistema de cauces por la que fluye los escurrimientos superficiales y subterráneas de una manera temporal o permanente, las principales características son: tipo de corrientes, modelos de drenaje, orden de corriente, relación de bifurcación, densidad de drenaje y frecuencia de corriente. (Campos, 1998, p. 67)

##### **4.1.3.5.1 Tipos de corrientes.**

Las corrientes se clasifican en base a la constancia de su escurrimiento o flujo, la cual se relaciona con las características físicas y climáticas de la cuenca. (Campos, 1998, p. 67)

**Tabla 13**

*Clasificación del escurrimiento mediante el tipo de corriente*

<b>Tipo de corriente</b>	<b>Constancia de escurrimiento</b>
<b>Perennes</b>	Conducen agua todo el tiempo, excepto durante las sequias extremas.
<b>Intermitente</b>	llevan agua la mayor parte del tiempo, pero principalmente en épocas de lluvias.
<b>Efímera</b>	Solo conducen agua durante las lluvias o inmediatamente después de estas.

*Fuente (Campos, 1998, p. 67)*

El cauce principal de la micro cuenca sahuayanay tiene un tipo de corriente Efímera, por presentar la activacion del cauce de la quebrada en tiempos de lluvia o despues de la ocurrencia de esta.

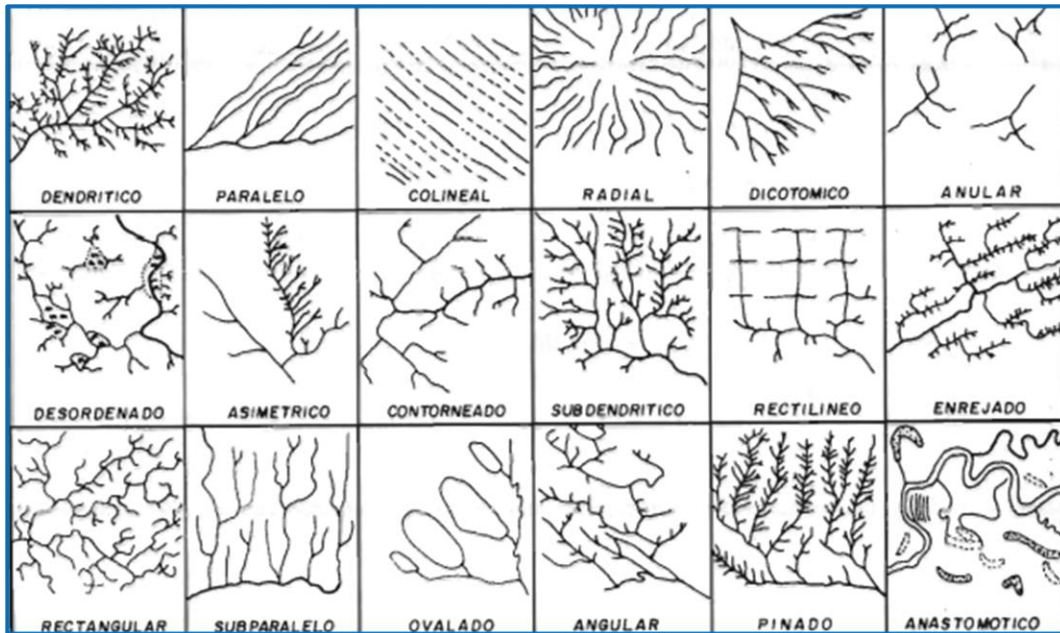
#### **4.1.3.5.2 Modelo de drenaje.**

Campos, 1998, “ilustra algunos de los modelos de drenaje mas frecuentes de la red de cauces caracterizado por la combinacion de los efectos climaticos y la geologia de la cuenca”, la micro cuenca Sahuayanay muestra un modelo de drenaje que se caracteriza en el tipo dendritico, (ver la imagen 21), el drenaje dendritico tiene un patron que esta formado por los afluentes primarios y secundarios y asi sucesivamente, los cuales se une libremente en cualquier direccion.



## Imagen 21

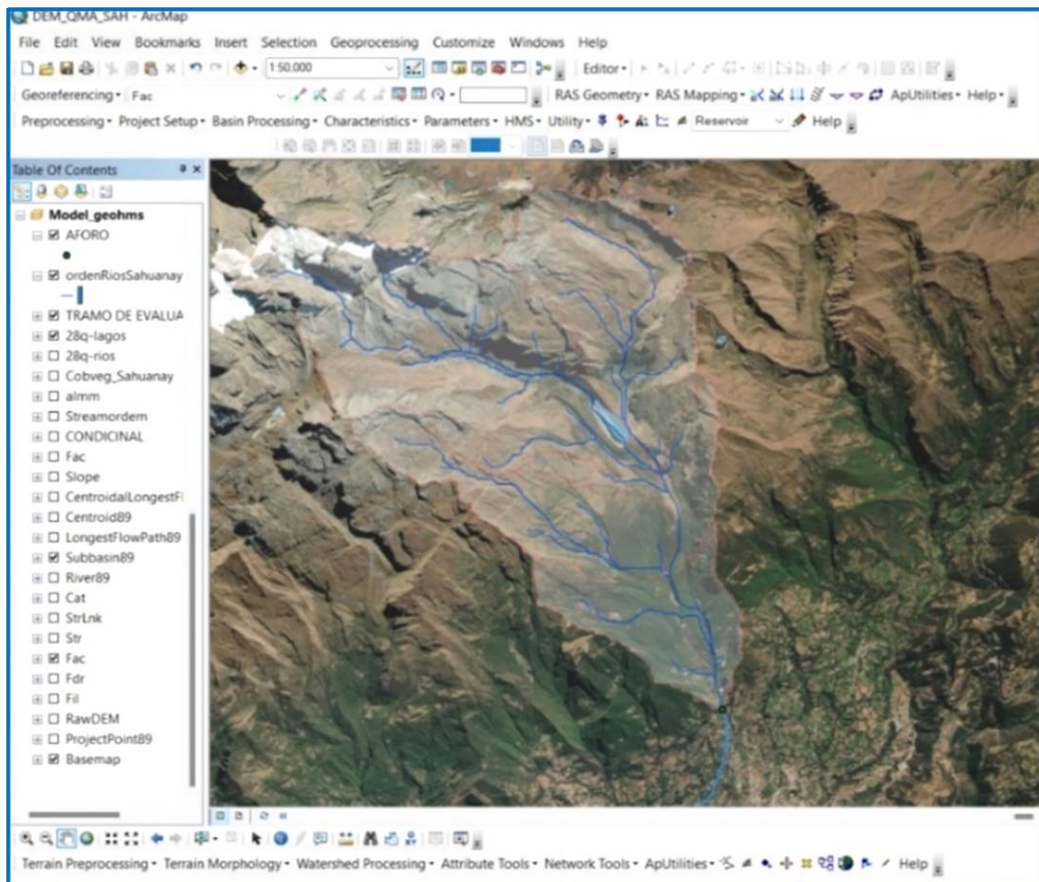
Modelos de drenajes más frecuentes de la red de cauces.



Fuente (Campos, 1998, p. 67)

## Imagen 22

La micro - cuenca Sahuanay muestra un tipo drenaje dendrítico.



Fuente: Elaboración propia

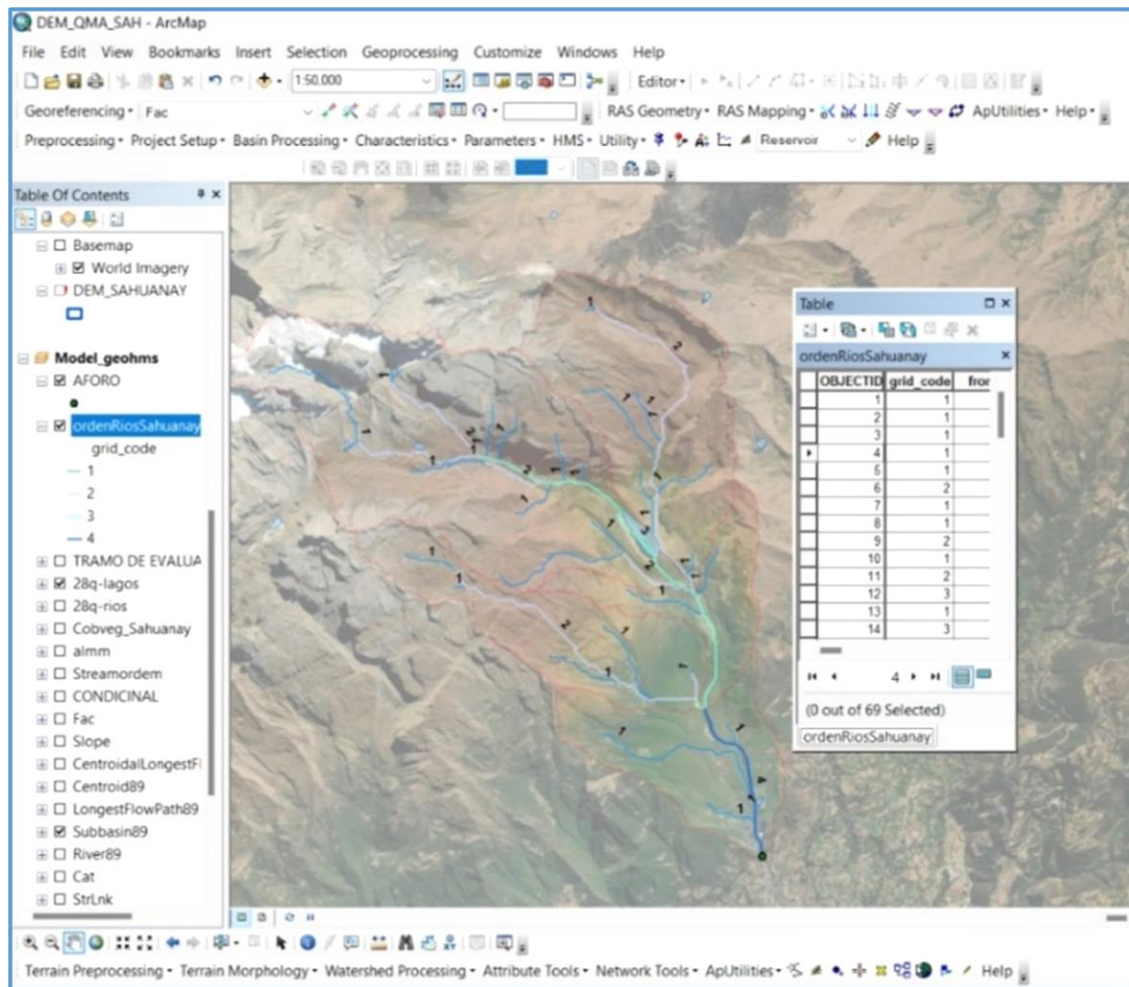
#### 4.1.3.5.3 Orden de corrientes.

R.E. Horton, clasificó el orden de las corrientes asignándola al más pequeño el orden 1 es decir que no están ramificadas, el orden 2 a corrientes que tienen como tributarios de orden número 1 lo cual se unen formando la corriente número 2, y el orden 3 son las que cuentan con dos o más tributarios de orden 2 o menores y así hasta llegar a la determinación del llamado cauce o colector principal.

La microcuenca Sahuanay presenta un cauce principal de orden número 4 (ver imagen 23), para la determinación de la clasificación de corrientes se usó el software Arcmap con uno de sus componentes; ArcToolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Stream to feature.

### Imagen 23

Orden de corrientes de la microcuenca Sahuanay



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3.5.4 Relación de bifurcación.

Se llama relación de bifurcación a la relación existente entre el número de segmentos de cauce de un orden dado y el número de segmentos del cauce del orden inmediatamente superior, esta relación introdujo R.E. Honton. (Campos, 1998, p. 68)

$$R_p = \frac{N_U}{N_U} + 1$$

**Ecuación 6:** Relación de bifurcación.

Donde:

R<sub>b</sub>.- Relación de bifurcación

N<sub>u</sub>.- total número de corrientes

Para la obtención de la relación de bifurcación se realizó el conteo de las corrientes según su orden (ver el cuadro).

**Tabla 14**

*Relación de bifurcación de la microcuenca Sahuanay*

Orden U	Número Nu	Longitud Nu (km)	R <sub>b</sub>
1	35	19.21	2.92
2	17	11.74	1.42
3	12	4.42	2.40
4	5	1.86	-
	ΣL	37.33	

*Fuente: Elaboración propia*

$$R_b(1) = \frac{N_1}{N_2} = \frac{35}{37} = 2.92$$

$$R_b(2) = \frac{N_2}{N_3} = \frac{17}{12} = 1.42$$

$$R_b(3) = \frac{N_3}{N_4} = \frac{12}{5} = 2.40$$

#### 4.1.3.5.5 **Densidad de drenaje.**

R.E. Horton, define la densidad de drenaje ( $D_d$ ) como la longitud total ( $\Sigma L$ ) de los cauces dentro de la cuenca, dividida entre el área total ( $A$ ). (Campos, 1998, p. 71)

Para la calculo de la longitud total de los cauces de la micro cuenca Sahuanay se uso la suma total de todas las corrientes de diferentes orden con una longitud de 37.3326 km.

$$D_d = \frac{\Sigma L}{A}$$

**Ecuación 7:** Densidad de drenaje.

$$D_d = \frac{37.33 \text{ km}}{19.51 \text{ km}^2}$$

$$D_d = 1.91 \text{ km}$$

#### 4.1.3.5.6 **Frecuencia de corrientes.**

M.A. Horton, introdujo el concepto de frecuencia de corrientes ( $F$ ) como el número de segmentos de corrientes por la unidad del área, asimismo M.A. Melton, analizó la relación entre la densidad del drenaje ( $D_d$ ) con la frecuencia de corrientes ( $F$ ). (Campos, 1998, p. 72)

$$F = 0.70(D_d^2)$$

**Ecuación 8:** Frecuencia de corrientes.

Donde:

$D_d$ .- Densidad de drenaje

$$F = 0.694 (1.913^2) \quad \longrightarrow \quad F = 2.539 \text{ 2.54 km}^2$$

#### 4.1.4 **Modelo hidrológico de la microcuenca Sahuanay**

Habiendo definido el área de estudio y los parámetros geomorfológicos de la microcuenca Sahuanay se prosiguió a determinar las condiciones hidrológicas, las cuales nos permitan simular el flujo no newthoniano (flujo no permanente), para luego realizar la evaluación de riesgo por el flujo detritos del tramo de estudio cuya longitud asciende a 3.6 km aproximadamente.

El modelamiento hidrológico se realizó por el método computacional del software HEC-HMS V 4.10, está diseñado para simular procesos de precipitación y escurrimiento de una o varias cuencas en estudio, recomendado por manual de hidrología y drenaje del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

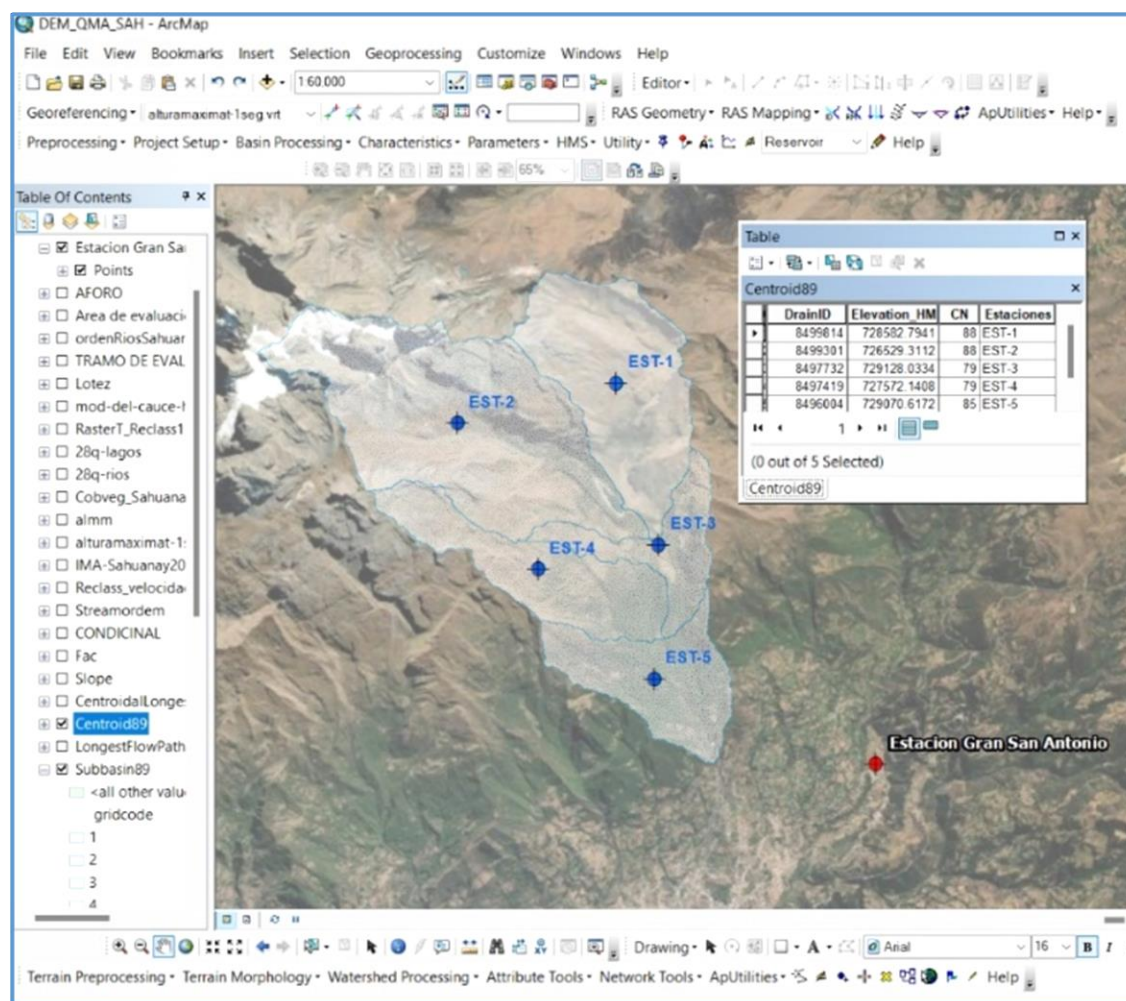
#### **4.1.4.1 Precipitaciones máximas de 24 horas**

Se uso la base de datos del producto grillado PISCO, elaborado por el SENAMHI, cuya extracción de datos se hizo mediante el lenguaje de programación Rstudio, se creó una red de estaciones virtuales ya que la estación más cercana (estación Granja San Antonio) se encuentra aguas debajo de la microcuenca Sahuanay.

Para el presente estudio de evaluación de riesgo por flujo de detritos en la quebrada Sahuanay, se utilizó los datos de precipitación máxima de 24 horas de la estación virtual Sahuanay, la que denominaremos estación Sahuanay, ya que su ubicación es el la misma microcuenca, por otro lado, la semejanza de datos de precipitación máximas de 24 horas (ver anexo 2).

## Imagen 24

Estaciones virtuales de cada uno de los centroides de las subcuencas de la microcuenca Sahuanay



Fuente: Elaboracion propia

**Tabla 15**

Coordenadas de la red de estaciones virtuales de la microcuenca Sahuanay

ESTACIONES VIRTUALES			
ESTACIONES	NORTE	ESTE	ALTITUD (m.s.n.m)
Sub cuenca N°1	8499813.99	728582.79	4315
Sub cuenca N°2	8499301.09	726529.31	4377
Sub cuenca N °3	8497731.70	729128.03	3656
Sub cuenca N °4	8497419.20	727572.14	4168
Sub cuenca N°5	8496003.81	729070.62	3418

Fuente : Elaboración propia

**Tabla 16**

*Registro de precipitación máxima de 24 horas de la estación Sahuanay*

REGISTRO HISTÓRICO														
ESTACIÓN SAHUANAY VIRTUAL - 2022														
<b>Estación:</b>	Virtual Sahuanay - 2022						<b>Longitud:</b> 72°53'15.68"		"W"	<b>Dpto.</b>	APURÍMAC			
<b>Parámetro:</b>	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)						<b>Latitud:</b> 13°33'40.31"		"S"	<b>Prov.</b>	ABANCAY			
							<b>Altitud:</b> 4315 m.s.n.m.			<b>Dist.</b>	TAMBURCO			
<b>AÑO</b>	<b>ENE.</b>	<b>FEB.</b>	<b>MAR.</b>	<b>ABR.</b>	<b>MAY.</b>	<b>JUN.</b>	<b>JUL.</b>	<b>AGO.</b>	<b>SET.</b>	<b>OCT.</b>	<b>NOV.</b>	<b>DIC.</b>	<b>MÁXIMO</b>	
1996	165.95	149.54	113.882	47.400	1.598	0.026	0.210	22.895	18.394	76.319	71.937	79.471	166.0	
1997	172.56	147.35	143.322	33.175	14.916	0.663	0.556	30.689	7.420	30.268	99.661	93.847	172.6	
1998	167.48	92.99	144.889	19.685	1.801	5.043	0.006	1.989	2.696	81.591	53.781	87.424	167.5	
1999	198.09	204.95	166.639	64.789	8.995	6.998	4.868	0.035	49.912	80.656	76.560	114.983	205.0	
2000	203.09	209.39	115.497	35.832	7.609	26.297	18.519	24.732	16.066	94.558	40.559	146.207	209.4	
2001	234.30	124.51	192.107	30.626	13.208	0.952	26.778	27.962	9.148	53.200	58.731	89.523	234.3	
2002	122.89	151.12	136.447	71.233	16.790	14.947	52.180	18.068	37.938	101.716	101.595	113.800	151.1	
2003	168.95	164.23	215.190	25.070	7.343	0.420	2.189	31.108	27.378	45.237	40.171	124.930	215.2	
2004	138.92	154.91	89.706	44.243	8.510	8.673	33.710	20.273	31.676	44.466	57.650	129.990	154.9	
2005	81.61	112.76	122.348	38.116	4.836	0.021	17.320	5.360	18.591	82.681	71.974	119.736	122.3	
2006	203.56	113.97	101.251	48.607	0.083	12.861	0.247	1.002	4.865	72.047	125.437	117.303	203.6	
2007	126.57	99.60	174.813	18.486	11.329	0.050	14.724	4.700	1.719	82.500	61.257	166.769	174.8	
2008	143.09	90.99	113.739	24.990	12.995	9.046	0.110	11.398	8.392	49.845	79.439	118.077	143.1	
2009	135.46	161.04	124.712	57.013	5.820	0.474	7.402	11.198	0.379	51.636	137.238	70.294	161.0	
2010	171.65	124.18	118.923	38.243	7.274	0.222	3.869	10.036	7.417	64.675	47.787	116.585	171.7	
2011	189.69	186.09	181.208	55.255	9.204	2.749	10.322	18.898	30.683	63.317	107.718	93.859	189.7	
2012	155.88	227.66	174.979	59.438	0.528	12.895	9.433	4.551	18.226	73.254	39.163	214.413	227.7	
2013	133.89	162.43	127.222	27.922	4.744	3.933	4.472	39.394	12.714	85.230	97.487	156.302	162.4	
2014	210.83	118.59	131.869	47.753	7.752	0.079	4.179	3.004	27.377	69.781	50.067	131.546	210.8	
2015	200.72	141.10	168.969	58.480	13.180	1.502	3.053	22.824	12.756	48.940	87.765	119.858	200.7	
2016	76.02	212.17	54.903	66.925	2.271	8.988	9.202	16.517	15.819	91.020	82.306	127.075	212.2	

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.4.2 Análisis de datos dudosos

Los datos dudosos o outliers, son datos que alejan significativamente de la tendencia de la información que afectan de una manera considerable la magnitud de los parámetros estadísticos, dicho análisis recomienda el consejo de recursos hídricos (wáter resources council). (Ven Te Chow, 1994)

Según el método wáter resources council (1981), transcrito por Ven Te Chow clasifica lo siguiente.

1. Si la asimetría de la estación es mayor que  $>+0.4$ , se debe aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos.
2. Si la asimetría de la estación es menor que  $<-0.4$ , se debe aplicarse pruebas para detectar datos dudosos bajos.
3. Cuando la asimetría de la estación esta entre  $\pm 0.4$ , deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

Para detectar los datos dudosos o outliers. Ven Te Chow recomienda la siguiente ecuación.

$$Y_H = y + K_n \times S_y$$

**Ecuación 9:** Datos dudosos altos.

$$Y_L = y - K_n \times S_y$$

**Ecuación 10:** Datos dudosos bajos.

Donde:

$Y_H$ .- Umbral de datos dudosos altos en unidades logarítmicas

$Y_L$ .- Umbral de datos dudosos bajos en unidades logarítmicas

$y$ .- Media de los logaritmos de las precipitaciones.

$K_n$ .- Valor tabulado para una muestra de tamaño  $n$  (tomando del libro de hidrología aplicada de Ven Te Chow).

$S_y$ .- Desviación estándar.



Tabla de valores de  $K_n$  con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal

**Tabla 17**

*Valores de  $k_n$  con un nivel de significando de 10%.*

Valores $k_n$ para prueba de datos dudosos (Outliers)							
Tamaño de la muestra	$K_n$	Tamaño de la muestra	$K_n$	Tamaño de la muestra	$K_n$	Tamaño de la muestra	$K_n$
10	2.036	21	2.408	32	2.591	43	2.710
11	2.088	22	2.429	33	2.604	44	2.719
12	2.134	23	2.448	34	2.616	45	2.727
13	2.175	24	2.467	35	2.628	46	2.736
14	2.213	25	2.486	36	2.639	47	2.744
15	2.247	26	2.502	37	2.650	48	2.753
16	2.279	27	2.519	38	2.661	49	2.760
17	2.309	28	2.534	39	2.671	50	2.768
18	2.335	29	2.549	40	2.682	55	2.804
19	2.361	30	2.563	41	2.692	60	2.837
20	2.385	31	2.577	42	2.700	65	2.866

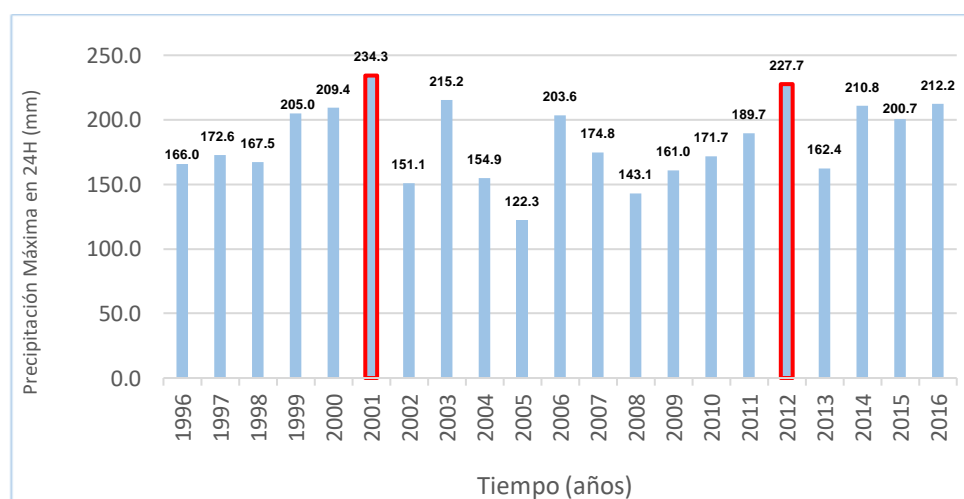
*Fuente: U.S. Water Resources Council, 1981. (Ven Te Chow, 1994)*

#### **4.1.4.2.1 Análisis de datos dudosos de la estación Sahuanay**

El presente histograma muestra los umbrales de las precipitaciones máximas de 24 horas, donde el valor 234.3 mm es el máximo en el año 2001 y el valor 122.3 mm es el valor mínimo en el año 2005, por otra parte, el valor 227.7 mm representa el umbral de la ocurrencia del fenómeno natural (avalancha de detritos) en marzo del 2012 en el distrito de tamburco, el histograma de frecuencias es casi igual a la data de precipitaciones máximas mensuales de 24 horas histograma del SENAMHI.

**Tabla 18***Precipitación máxima anual de 24 horas de la estación Sahuanay.*

N°	Año	Precip. Máx.	Y = Log (Prex. Max)	Orden	Valores máximos y mínimos
1	1996	166.00	2.2200	15	
2	1997	172.60	2.2370	12	
3	1998	167.50	2.2240	14	
4	1999	205.00	2.3117	7	
5	2000	209.40	2.3210	6	
6	2001	235.30	2.3698	1	Máximo Valor
7	2002	151.10	2.1793	19	
8	2003	215.20	2.3328	3	
9	2004	154.90	2.1901	18	
10	2005	122.30	2.0876	21	Mínimo valor
11	2006	203.60	2.3087	8	
12	2007	174.80	2.2426	11	
13	2008	143.10	2.1556	20	
14	2009	161.00	2.2069	17	
15	2010	171.70	2.2346	13	
16	2011	189.70	2.2781	10	
17	2012	227.70	2.3573	2	Registro histórico (antecedente)
18	2013	162.40	2.2107	16	
19	2014	210.80	2.3240	5	
20	2015	200.70	2.3026	9	
21	2016	212.20	2.3267	4	

*Fuente: Elaboración propia***Gráfico 4***Histograma de precipitación máxima de 24 horas.**Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 19**

*Cálculo de la media ( $\bar{Y}$ ), desviación estándar ( $S_y$ ) y el coeficiente de asimetría ( $C$ ) de los datos de precipitación máxima de 24 horas de la estación Sahuanay.*

Año	Pmax24	Log(P24hr)	(Y - $\bar{Y}$ )	(log- $\bar{Y}$ log)	(Y - $\bar{Y}$ ) <sup>2</sup>	(log- $\bar{Y}$ log) <sup>2</sup>	(Y - $\bar{Y}$ ) <sup>3</sup>	(log- $\bar{Y}$ log) <sup>3</sup>
1996	166.0	2.22	-17.66	-0.04	311.94	0.0015	-5509.48	-0.0001
1997	172.6	2.24	-11.05	-0.02	122.05	0.0004	-1348.36	0.0000
1998	167.5	2.22	-16.13	-0.03	260.16	0.0012	-4196.36	0.0000
1999	205.0	2.31	21.34	0.05	455.45	0.0029	9719.83	0.0002
2000	209.4	2.32	25.78	0.06	664.46	0.0039	17127.98	0.0002
2001	234.3	2.37	50.68	0.11	2568.85	0.0125	130199.39	0.0014
2002	151.1	2.18	-32.50	-0.08	1056.01	0.0062	-34316.28	-0.0005
2003	215.2	2.33	31.57	0.07	996.88	0.0056	31474.87	0.0004
2004	154.9	2.19	-28.70	-0.07	823.65	0.0046	-23638.12	-0.0003
2005	122.3	2.09	-61.27	-0.17	3753.76	0.0291	-229984.78	-0.0050
2006	203.6	2.31	19.95	0.05	398.05	0.0026	7941.62	0.0001
2007	174.8	2.24	-8.80	-0.02	77.49	0.0002	-682.17	0.0000
2008	143.1	2.16	-40.52	-0.10	1641.81	0.0105	-66525.22	-0.0011
2009	161.0	2.21	-22.58	-0.05	509.70	0.0026	-11507.12	-0.0001
2010	171.7	2.23	-11.96	-0.02	143.15	0.0006	-1712.73	0.0000
2011	189.7	2.28	6.08	0.02	36.98	0.0004	224.86	0.0000
2012	227.7	2.36	44.04	0.10	1939.82	0.0098	85436.40	0.0010
2013	162.4	2.21	-21.18	-0.05	448.70	0.0023	-9504.56	-0.0001
2014	210.8	2.32	27.22	0.07	741.08	0.0043	20174.15	0.0003
2015	200.7	2.30	17.11	0.04	292.82	0.0020	5010.79	0.0001
2016	212.2	2.33	28.56	0.07	815.81	0.0047	23301.46	0.0003

**a. Media o promedio**

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n Y_i$$

**b. Desviación estándar**

$$S_y = \left[ \frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

**c. Coeficiente de asimetría**

$$C = \frac{n (\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^3)}{(n-1)(n-2)S_y^3}$$

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 20**

*Parámetros estadísticos de las precipitaciones máximas de 24 horas*

Parámetros estadísticos	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (n)	21	21
Sumatoria	3855.94	47.42
Valor Máximo	234.30	2.37
Valor Mínimo	122.35	2.09
Media:	183.616	2.258
Desviación Estándar:	30.049	0.073
Coefficiente de Asimetría:	-0.12	-0.45
Se Considera:	Detectar Datos Dudosos bajos	

*Fuente: Elaboración propia*

La asimetría de la estación es -0.45 es menor que  $>-0.4$ , se aplicarse pruebas para detectar datos dudosos bajos, donde el  $K_n$  tiene un valor de 2.408.

- umbral de datos dudosos altos en unidades logarítmicas

$$Y_H = \bar{Y} + K_n \times S_y$$

$$Y_H = 2.258 + 2.408 \times 0.073$$

$$Y_H = 2.43$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{Y_H} \longrightarrow PH = 10^{2.43}$$

$$PH = 269.153$$

- umbral de datos dudosos bajos en unidades logarítmicas

$$Y_L = y - K_n \times S_y$$

$$Y_H = 2.258 - 2.408 \times 0.073$$

$$Y_H = 2.08$$

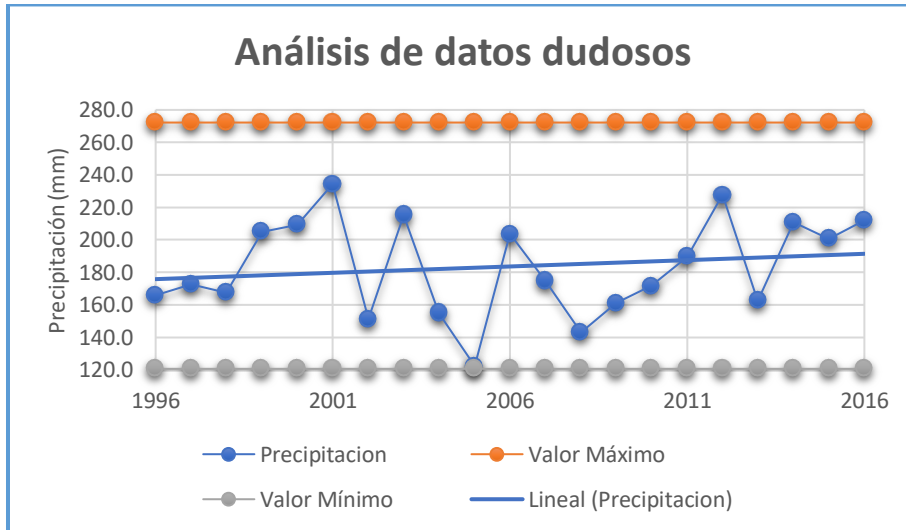
Precipitación máxima aceptada

$$PL = 10^{Y_H} \longrightarrow PL = 10^{2.08}$$

$$PL = 120.226$$

### Gráfico 5

Límite de los umbralas máximos y mínimos del análisis de datos dudosos de la estación virtual Sahuanay.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico del análisis de datos dudosos muestra que los valores de las precipitaciones máximas de 24 horas están dentro de los límites de PH y PL, es decir que se encuentran entre los valores de 120.226 mm a 269.153 mm, por consiguiente, no existen datos dudosos (outliers).

#### 4.1.4.3 Periodo de retorno

El periodo de retorno es la inversa de la probabilidad de la ocurrencia de un evento aleatoria X, que sea superada o igualada por un cierto nivel de evento  $X_t$ , la probabilidad de la ocurrencia de un evento  $p = P(x \geq x_t)$ , es la posibilidad de ocurrencia de un evento es el inverso de su periodo de retorno.

$$T = \frac{1}{p}$$

**Ecuación 11:** Periodo de retorno.

$$p = P(x \geq x_t)$$

**Ecuación 12:** Probabilidad de ocurrencia de un evento.

$$P(x \geq x_t) = \frac{x}{n + 1}$$

Donde:

T.- Periodo de retorno

p.- Probabilidad de ocurrencia de un evento

x.- Número de registro igualado o superado

n.- Número total de registros

**Tabla 21**

*Cálculo del tiempo de retorno para las precipitaciones máximas de 24 horas anuales de la estación virtual Sahuanay*

Nº	AÑO	P24	log(P24)	x	Orden (x)	P24	log(P24)	P(X≥ Xt)	T
1	1996	166.0	2.22	15	1	234.3	2.37	4.55%	22.00
2	1997	172.6	2.24	12	2	227.7	2.36	9.09%	11.00
3	1998	167.5	2.22	14	3	215.2	2.33	13.64%	7.33
4	1999	205.0	2.31	7	4	212.2	2.33	18.18%	5.50
5	2000	209.4	2.32	6	5	210.8	2.32	22.73%	4.40
6	2001	234.3	2.37	1	6	209.4	2.32	27.27%	3.67
7	2002	151.1	2.18	19	7	205.0	2.31	31.82%	3.14
8	2003	215.2	2.33	3	8	203.6	2.31	36.36%	2.75
9	2004	154.9	2.19	18	9	200.7	2.30	40.91%	2.44
10	2005	122.3	2.09	21	10	189.7	2.28	45.45%	2.20
11	2006	203.6	2.31	8	11	174.8	2.24	50.00%	2.00
12	2007	174.8	2.24	11	12	172.6	2.24	54.55%	1.83
13	2008	143.1	2.16	20	13	171.7	2.23	59.09%	1.69
14	2009	161.0	2.21	17	14	167.5	2.22	63.64%	1.57
15	2010	171.7	2.23	13	15	166.0	2.22	68.18%	1.47
16	2011	189.7	2.28	10	16	162.4	2.21	72.73%	1.37
17	2012	227.7	2.36	2	17	161.0	2.21	77.27%	1.29
18	2013	162.4	2.21	16	18	154.9	2.19	81.82%	1.22
19	2014	210.8	2.32	5	19	151.1	2.18	86.36%	1.16
20	2015	200.7	2.30	9	20	143.1	2.16	90.91%	1.10
21	2016	212.2	2.33	4	21	122.3	2.09	95.45%	1.05

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.4.4 Análisis de estadístico de precipitaciones máximas de 24 horas de la estación virtual Sahuanay.

##### 4.1.4.4.1 Distribución Normal y Log normal

La distribución normal se puede expresare con la siguiente expresión matemática. (Ven Te Chow, 1994)

$$P_{pmax}(t) = Media + K_T (\text{Desviación estándar})$$

Donde  $K_t$  representa matemáticamente

**Ecuación 13:** Distribución normal y log normal ( $K_T$ ).

$$z = K_t = W - \frac{2.515517 + 0.802853 W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788 W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3}$$

$$W = \left[ \ln\left(\frac{1}{p^2}\right) \right]^{\frac{1}{2}} \text{ con un nivel de significancia } (0 < p \leq 0.5)$$

$$p = P(x \geq x_t) \longrightarrow P(x \geq x_t) = \frac{m}{n + 1} ; \text{ formula de Weibull}$$

Donde:

$K_T$ .- Factor de frecuencia

p.- Probabilidad de ocurrencia de un evento

m.- Número de orden, registro igualado o superado

n.- Número de registros

para el cálculo de la distribución **Log normal**, se aplica el mismo procedimiento, pero con el logaritmo de los registros de las precipitaciones máximas, la media y la desviación estándar.

**Tabla 22***Resumen estadístico de 24 horas distribución normal*

<b>P. Estadísticos</b>	<b>Precipitación de 24 horas</b>	<b>Log (precipitación de 24 horas)</b>
Número de datos (n)	21	21
Sumatoria	3855.94	47.42
Media:	183.616	2.258
Desviación Estándar:	30.049	0.073
Coeficiente de Asimetría:	-0.12	-0.45

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 23***Cálculo de la distribución normal y log normal de las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación Sahuanay.*

Orden (x)	VALOR OBSERVADO					D.NORMAL		D.LOG NORMAL	
	P(X≤xT)	W	T	P24	log(P24)	KT	P <sub>N</sub>	KT	P <sub>LN</sub>
1	0.045	2.490	22.00	234.30	2.37	1.69	234.42	1.69	241.14
2	0.091	2.189	11.00	227.66	2.36	1.34	223.74	1.34	227.08
3	0.136	1.997	7.33	215.19	2.33	1.10	216.57	1.10	218.11
4	0.182	1.845	5.50	212.18	2.33	0.91	210.91	0.91	211.27
5	0.227	1.722	4.40	210.84	2.32	0.75	206.09	0.75	205.61
6	0.273	1.611	3.67	209.39	2.32	0.60	201.78	0.60	200.69
7	0.318	1.513	3.14	204.96	2.31	0.47	197.82	0.47	196.27
8	0.364	1.421	2.75	203.57	2.31	0.35	194.10	0.35	192.20
9	0.409	1.337	2.44	200.73	2.30	0.23	190.52	0.23	188.37
10	0.455	1.254	2.20	189.70	2.28	0.11	187.05	0.11	184.72
11	0.500	1.177	2.00	174.81	2.24	0.00	183.62	0.00	181.19
12	0.545	1.101	1.83	172.57	2.24	-0.11	180.19	-0.11	177.73
13	0.591	1.025	1.69	171.65	2.23	-0.23	176.71	-0.23	174.29
14	0.636	0.951	1.57	167.49	2.22	-0.35	173.14	-0.35	170.82
15	0.682	0.874	1.47	165.95	2.22	-0.47	169.41	-0.47	167.27
16	0.727	0.798	1.38	162.43	2.21	-0.60	165.45	-0.60	163.59
17	0.773	0.717	1.29	161.04	2.21	-0.75	161.14	-0.75	159.67
18	0.818	0.633	1.22	154.92	2.19	-0.91	156.32	-0.91	155.40
19	0.864	0.540	1.16	151.12	2.18	-1.10	150.66	-1.10	150.53
20	0.909	0.436	1.10	143.10	2.16	-1.34	143.50	-1.34	144.58
21	0.955	0.303	1.05	122.35	2.09	-1.69	132.82	-1.69	136.15

*Fuente: Elaboración propia*



#### 4.1.4.4.2 Distribución Gumbel

La distribución Gumbel se puede expresar con la siguiente expresión matemática. (Ven Te Chow, 1994)

$$P_{pmax}(t) = \text{Media} + K_T (\text{Desviación estándar})$$

**Ecuación 14:** Distribución gumbel ( $K_T$ ).

$$K_T = \frac{\sqrt{6}}{\Pi} \left( 0.5772 + \ln \left( \ln \left( \frac{t}{t-1} \right) \right) \right)$$

Donde:

$K_T$ .- Factor de frecuencia

T.- Periodo de retorno

**Tabla 24**

*Resumen estadístico de 24 horas distribución gumbel*

P. Estadístico	Precipitación de 24 horas	Log (precipitación de 24 horas)
Número de datos (n)	21	21
Sumatoria	3855.94	47.42
Media:	183.616	2.258
Desviación Estándar:	30.049	0.073
Coficiente de Asimetría:	-0.12	-0.45

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 25**

*Cálculo de la distribución gumbel de las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación Sahuanay.*

VALOR OBSERVADO			D.GUMBEL			
N	T	P(X≤xT)	P24	log(P24)	KT	P <sub>G</sub>
1	22	0.045	234.30	2.3698	1.942	241.970
2	11	0.091	227.66	2.3573	1.383	225.166
3	7	0.136	215.19	2.3328	1.047	215.077
4	6	0.182	212.18	2.3267	0.802	207.722
5	4	0.227	210.84	2.3240	0.607	201.850
6	4	0.273	209.39	2.3210	0.442	196.902
7	3	0.318	204.96	2.3117	0.298	192.579
8	3	0.364	203.57	2.3087	0.169	188.698
9	2	0.409	200.73	2.3026	0.051	185.141
10	2	0.455	189.70	2.2781	-0.060	181.823
11	2	0.500	174.81	2.2426	-0.164	178.680
12	2	0.545	172.57	2.2370	-0.265	175.662
13	2	0.591	171.65	2.2346	-0.363	172.723
14	2	0.636	167.49	2.2240	-0.459	169.823
15	1	0.682	165.95	2.2200	-0.556	166.918
16	1	0.727	162.43	2.2107	-0.654	163.959
17	1	0.773	161.04	2.2069	-0.757	160.883
18	1	0.818	154.92	2.1901	-0.866	157.596
19	1	0.864	151.12	2.1793	-0.988	153.942
20	1	0.909	143.10	2.1556	-1.132	149.602
21	1	0.955	122.35	2.0876	-1.330	143.653

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.1.4.4.3 Distribución pearson tipo III y log pearson tipo III**

La distribución log pearson tipo III se puede expresar con la siguiente expresión matemática. (Ven Te Chow, 1994)

$$P_{pmax}(t) = Media + K_t (\text{Desviación estándar})$$

**Ecuación 15:** Distribución pearson tipo III y log pearson tipo III.

$$K_t = z + (z^2 - z) k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z) k^2 - (z^2 - 1) k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

$$K = \frac{Cs}{6}$$

$$z = K_t = W - \frac{2.515517 + 0.802853 W + 0.010328W^2}{1 + 1.432788 W + 0.189269W^2 + 0.001308W^3} ; \text{Distribución normal}$$

Donde:

K.- coeficiente

$K_T$ .- Factor de frecuencia.

### Tabla 26

*Resumen estadístico de 24 horas distribución pearson tipo II*

<b>P. Estadístico</b>	<b>Precipitación de 24 horas</b>	<b>Log (precipitación de 24 horas)</b>
Número de datos (n)	21	21
Sumatoria	3855.94	47.42
Media:	183.616	2.258
Desviación Estándar:	30.049	0.073
Coeficiente de Asimetría:	-0.12	-0.45
K	-0.02	-0.075

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 27**

*Cálculo de la distribución pearson tipo III y log pearson tipo III de las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación Sahuanay.*

N	T	VALOR OBSERVADO			D.NORMAL		D.PEARSON III		D.LOGPEARSON III	
		P(X≤xT)	P24	log(P24)	KT	KT	P <sub>pp</sub>	KT	P <sub>plogp</sub>	
1	22	0.045	234.300	2.370	1.691	1.653	233.292	1.544	235.229	
2	11	0.091	227.660	2.357	1.335	1.319	223.249	1.267	224.479	
3	7	0.136	215.190	2.333	1.097	1.092	216.433	1.072	217.202	
4	6	0.182	212.179	2.327	0.908	0.911	211.000	0.913	211.426	
5	4	0.227	210.839	2.324	0.748	0.756	206.335	0.773	206.487	
6	4	0.273	209.394	2.321	0.605	0.617	202.147	0.645	202.074	
7	3	0.318	204.958	2.312	0.473	0.488	198.274	0.525	198.013	
8	3	0.364	203.568	2.309	0.349	0.366	194.610	0.410	194.192	
9	2	0.409	200.728	2.303	0.230	0.248	191.082	0.297	190.532	
10	2	0.455	189.697	2.278	0.114	0.134	187.632	0.186	186.974	
11	2	0.500	174.813	2.243	0.000	0.020	184.211	0.074	183.467	
12	2	0.545	172.569	2.237	-0.114	-0.095	180.775	-0.040	179.968	
13	2	0.591	171.652	2.235	-0.230	-0.211	177.277	-0.157	176.432	
14	2	0.636	167.487	2.224	-0.349	-0.331	173.667	-0.280	172.810	
15	1	0.682	165.955	2.220	-0.473	-0.457	169.882	-0.410	169.045	
16	1	0.727	162.434	2.211	-0.605	-0.592	165.840	-0.552	165.062	
17	1	0.773	161.040	2.207	-0.748	-0.739	161.422	-0.708	160.755	
18	1	0.818	154.917	2.190	-0.908	-0.904	156.441	-0.887	155.961	
19	1	0.864	151.120	2.179	-1.097	-1.100	150.559	-1.102	150.389	
20	1	0.909	143.097	2.156	-1.335	-1.350	143.053	-1.383	143.424	
21	1	0.955	122.348	2.088	-1.691	-1.727	131.731	-1.818	133.246	

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.1.4.5 Prueba de bondad de ajuste**

Las pruebas de bondad de ajuste tienen la finalidad de comprobar de forma gráfica y estadísticamente la frecuencia empírica, si se ajusta adecuadamente a una determinada función probabilística. (Máximo Villon, pág. 171)

En este proyecto de evaluación de riesgo se tomó la prueba de Smirnov Kolmogorov para el análisis de las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación virtual Sahuanay.

#### **4.1.4.5.1 Prueba de Smirnov-Kolmogorov**

La prueba de Smirnov Kolmogorov consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia de D entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_0(x_m)$ , donde que el valor crítico (d) depende del número de datos y nivel de significancia, (MTC, 2014, pág. 32)

En otras palabras, si el delta tabular es menor que el delta teórico ( $D < d$ ) hay buen ajuste, si el delta tabular es mayor al delta teórico ( $D > d$ ) no hay buen ajuste, la distribución debe ser descartada, por consiguiente, a menor delta teórico (D), mayor la probabilidad de que sea un buen ajuste.

$$D = \frac{\max}{f_0(x_m)} - f(x_m) \quad \text{Ecuación 16: Delta tabular.}$$

$$f_0(x_m) = 1 - \frac{m}{n+1}$$

Donde:

m.- Número de orden de datos

n.- Número total de registros

D.- Delta tabular

d.- Delta teórico

**Tabla 28**

*Valores críticos del delta teórico (d) para la prueba de Smirnov Kolmogorov.*

Tamaño de la muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

*Fuente: Aparicio, 1999. (MTC, 2014, pág. 33)*

El presente estudio contempla un tamaño de muestra de 21 datos precipitaciones máximas de 24 horas anuales desde 1996 hasta el 2016 lo cual el valor del delta teórico  $d = 0.30$  para una muestra de 21 datos de estudio.

**Tabla 29.** *Calculo y análisis del delta tabular de las precipítatenos máximas de 24hr de la estación Sahuanay.*

Prueba de bondad de ajuste: Smirnov Kolmogorov- Sahuanay												
m	$x_m$	$F_o(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Normal	$F(y_m)$ Log - Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log - Normal III	$F(y_m)$ Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Pearson III	$F(y_m)$ Log Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log Pearson III	$F(x_m)$ GEV I	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ GEV I
1	234.30	0.95	0.95	0.0004	0.935795	0.01875	0.960880	0.00633	0.952364	0.00218	0.9375	0.01705
2	227.66	0.91	0.93	0.0195	0.911546	0.00246	0.899881	0.00921	0.893339	0.01575	0.9179	0.00879
3	215.19	0.86	0.85	0.0103	0.845455	0.01818	0.881261	0.01762	0.875929	0.01229	0.8642	0.00061
4	212.18	0.82	0.83	0.0109	0.824793	0.00661	0.866510	0.04833	0.862203	0.04402	0.8471	0.02894
5	210.84	0.77	0.82	0.0448	0.814959	0.04223	0.598142	0.17459	0.859197	0.08647	0.8389	0.06616
6	209.39	0.73	0.80	0.0772	0.803898	0.07663	0.603209	0.12406	0.604496	0.12278	0.8296	0.10229
7	204.96	0.68	0.76	0.0794	0.766991	0.08517	0.644172	0.03765	0.642360	0.03946	0.7979	0.11606
8	203.57	0.64	0.75	0.1103	0.754501	0.11814	0.667921	0.03156	0.664702	0.02834	0.7869	0.15057
9	200.73	0.59	0.72	<b>0.1246</b>	0.727624	<b>0.13672</b>	0.672872	0.08196	0.669347	0.07844	0.7630	<b>0.17211</b>
10	189.70	0.55	0.58	0.0347	0.606924	0.06147	0.688118	0.14266	0.683959	0.13850	0.6485	0.10303
11	174.81	0.50	0.38	0.1152	0.416051	0.08395	0.720893	0.22089	0.715887	0.21589	0.4415	0.05848
12	172.57	0.45	0.36	0.0980	0.386502	0.06804	1.000000	0.54545	0.762753	0.30821	0.4067	0.04787
13	171.65	0.41	0.35	0.0638	0.374500	0.03459	1.000000	0.59091	0.785794	0.37670	0.3923	0.01676
14	167.49	0.36	0.30	0.0679	0.320875	0.04276	1.000000	0.63636	0.800730	0.43709	0.3270	0.03660
15	165.95	0.32	0.28	0.0398	0.301666	0.01652	1.000000	0.68182	1.000000	0.68182	0.3032	0.01494
16	162.43	0.27	0.24	0.0323	0.258994	0.01373	1.000000	0.72727	1.000000	0.72727	0.2499	0.02283
17	161.04	0.23	0.23	0.0010	0.242768	0.01549	1.000000	0.77273	1.000000	0.77273	0.2295	0.00226
18	154.92	0.18	0.17	0.0121	0.177040	0.00478	0.184932	0.00311	1.000000	0.81818	0.1479	0.03392
19	151.12	0.14	0.14	0.0034	0.141526	0.00516	0.148236	0.01187	1.000000	0.86364	0.1057	0.03070
20	143.10	0.09	0.09	0.0022	0.081333	0.00958	0.860292	0.76938	1.000000	0.90909	0.0422	0.04871
21	122.35	0.05	0.02	0.0247	0.010097	0.03536	1.000000	<b>0.95455</b>	1.000000	<b>0.95455</b>	0.0005	0.04499
n	21		<b>Dtabular</b>	<b>0.125</b>		<b>0.13672</b>		<b>0.95455</b>		<b>0.95455</b>		<b>0.17211</b>
a	0.05		<b>d &gt; Dmax</b>	<b>Si se</b>		<b>Si se</b>		No se		No se		Si se
(d)teórico	<b>0.30</b>		<b>Mejor Ajuste</b>	<b>ajusta</b>		<b>ajusta</b>		ajusta		ajusta		ajusta

**Tabla 30**

*Resumen de los valores del delta teórico de las 8 diferentes distribuciones*

<b>Prueba de bondad de ajuste – Smirnov Kolmogorov</b>		
<b>Distribución</b>	<b>Delta tabular (d)</b>	<b>Delta teórico (D)</b>
D.Normal	0.125	0.30
D.log normal	0.149	0.30
D.Log normal III	0.136	0.30
D.Pearson III	0.954	0.30
D.Log pearson III	0.945	0.30
D.Gevi	0.172	0.30
D. Gamma 2 P.	0.141	0.30
D. Gumbel	0.176	0.30
D. Log gumbel	0.190	0.30

*Fuente: Elaboración propia*

la función probabilística que mejor se ajusta a la prueba de bondad de ajuste de Smirnov kolmogorov, es la distribución Log normal III, el cálculo matemático delta tabular (D) es 0.136 por lo tanto menor que el delta teórico (d) 0.30



**Tabla 31.**

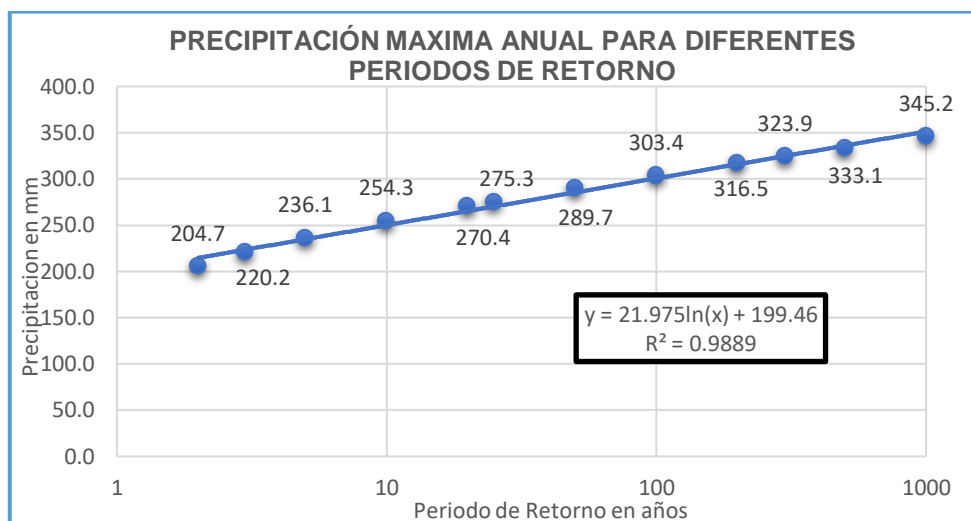
*Cálculo de las precipitaciones máximas anuales de 24hr para diferentes tiempos de retorno.*

Cálculo de las precipitaciones máximas anuales en 24 horas con diferente periodo de retorno de la estación virtual Sahuanay															
				Desviación estándar	s =	30.049	sy =	0.073						f (2 lecturas) =	1.13
				Cs/6 :	k =	-0.020	k =	-0.074							
T (años)	P(X≤x <sub>T</sub> )	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			P <sub>MAX</sub> mm	P <sub>MAX</sub> (corregida) mm
		K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	10 <sup>^</sup> x <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	x <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	X <sub>t</sub>	10 <sup>^</sup> x <sub>T</sub>		
<b>2</b>	0.500	0.0000	183.6	-0.1643	178.7	0.00	2.2581	<b>181.2</b>	0.0198	184.2	0.0738	2.2636	183.5	181.2	<b>204.7</b>
<b>3</b>	0.667	0.4307	196.6	0.2538	191.2	0.43	2.2898	<b>194.9</b>	0.4465	197.0	0.4862	2.2938	196.7	194.9	<b>220.2</b>
<b>5</b>	0.800	0.8416	208.9	0.7195	205.2	0.84	2.3199	<b>208.9</b>	0.8468	209.1	0.8550	2.3209	209.4	208.9	<b>236.1</b>
<b>10</b>	0.900	1.2816	222.1	1.3046	222.8	1.28	2.3522	<b>225.0</b>	1.2681	221.7	1.2239	2.3480	222.8	225.0	<b>254.3</b>
<b>20</b>	0.950	1.6449	233.0	1.8658	239.7	1.64	2.3789	<b>239.3</b>	1.6104	232.0	1.5091	2.3689	233.9	239.3	<b>270.4</b>
<b>25</b>	0.960	1.7507	236.2	2.0438	245.0	1.75	2.3867	<b>243.6</b>	1.7092	235.0	1.5889	2.3748	237.0	243.6	<b>275.3</b>
<b>50</b>	0.980	2.0537	245.3	2.5923	261.5	2.05	2.4089	<b>256.4</b>	1.9896	243.4	1.8096	2.3910	246.0	256.4	<b>289.7</b>
<b>100</b>	0.990	2.3263	253.5	3.1367	277.9	2.33	2.4289	<b>268.5</b>	2.2389	250.9	1.9983	2.4049	254.0	268.5	<b>303.4</b>
<b>200</b>	0.995	2.5758	261.0	3.6791	294.2	2.58	2.4473	<b>280.1</b>	2.4645	257.7	2.1631	2.4170	261.2	280.1	<b>316.5</b>
<b>300</b>	0.997	2.7131	265.1	3.9959	303.7	2.71	2.4573	<b>286.6</b>	2.5877	261.4	2.2505	2.4234	265.1	286.6	<b>323.9</b>
<b>500</b>	0.998	2.8782	270.1	4.3947	315.7	2.88	2.4695	<b>294.8</b>	2.7349	265.8	2.3528	2.4309	269.7	294.8	<b>333.1</b>
<b>1000</b>	0.999	3.0902	276.5	4.9355	331.9	3.09	2.4850	<b>305.5</b>	2.9225	271.4	2.4795	2.4402	275.5	305.5	<b>345.2</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## Gráfico 6

Precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes tiempos de retorno.



Fuente: Elaboración propia

### 4.1.4.6 Elección del periodo de retorno

La autoridad nacional del agua (ANA), en su reglamento jefatural N° 332 – 2016 – ANA, su reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales, recomienda para la elaboración del modelamiento hidráulico, para los cauces naturales de agua colindantes a asentamientos poblaciones el periodo de retorno es de 100 años a más. (ANA, 2016, pág. 2)

### 4.1.4.7 Tormenta de diseño

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico, puede definirse mediante el valor de la profundidad de la precipitación en un punto y mediante el hietograma de diseño que relacione la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta, existe varias metodologías para determinar el tiempo de duracion, una de ellas es las curvas IDF (intensidad duracion y frecuencia).

Las curvas de intensidad – duración – frecuencia son un elemento de diseño que relaciona la intensidad de la lluvia, la duración y la frecuencia con la que se puede presentar es decir la probabilidad con la que puede ocurrir en un tiempo determinado, dicho esto, la metodología con la que se realizó el cálculo de las curvas IDF para las precipitaciones máximas de 24 horas de la estación virtual Sahuanay se usó método IILA- SENAHMI-UNI, recomendado por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del ministerio de transportes y comunicaciones del Perú.

#### **4.1.4.7.1 Cálculo de las curvas IDF mediante el método de estudio de hidrología del Perú (IILA-SENAMHI-UNI-1993)**

El estudio de hidrología del Perú con convenio de cooperación técnica suscrito por el instituto italo latino americano (IILA) con el servicio nacional de meteorología e hidrología (SENAHMI) y la universidad nacional de ingeniería (UNI), crearon este estudio tiene la finalidad estimar las máximas avenidas que pueden verificarse a lo largo de los cursos de agua que atraviesan diferentes zonas del país para poder reducir los daños estructurales (ver anexo 3). (IILA-Senahmi-Uni, 1983, pág. 7)

## Gráfico 7

Valores de los parámetros  $a$ ,  $n$  y  $k$  según la regionalización del Perú.

SUBZONA	ESTACION	N° TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE $n$	VALOR DE $a$
123 <sub>1</sub>	321 – 385	2	0.357	32.2
123 <sub>3</sub>	384 – 787 – 805	3	0.405	$a = 37.85 - 0.0083Y$
123 <sub>13</sub>	244 – 193	2	0.432	
123 <sub>5</sub>	580 – 903	2	0.353	9.2
123 <sub>6</sub>	840 – 913 – 918 – 958	4	0.380	11.0
123 <sub>8</sub>	654 – 674 – 679...	9	0.232	14.0
123 <sub>9</sub>	769	1	0.242	21.1
123 <sub>10</sub>	446 – 557 – 594...	14	0.254	$a = 3.01 + 0.0025 Y$
123 <sub>11</sub>	508 – 667 – 719...	5	0.286	$a = 0.46 + 0.0023 Y$
5a <sub>2</sub>	935 – 968	2	0.301	$a = 14.1 - 0.078 D_c$
5a <sub>5</sub>	559	1	0.303	$a = -2.6 + 0.0031 Y$
5a <sub>10</sub>	248	1	0.434	$a = 5.80 + 0.0009 Y$

Fuente: (ILLA-Senahmi-Uni, 1983, pág. III 42)

### Imagen 25

Regionalización del Perú según la metodología elaborada por IILA-SENAMHI-UNI-1993



Fuente: (IILA-Senahmi-Uni, 1983)

El departamento de Apurímac se encuentra regionalizado en el Perú según el método IILA – SENAMHI- UNI en 1993, lo describe como la sub zona 123<sub>s</sub> con rango de estación de 580 – 903 con un valor de  $n=0.353$  y un valor de  $a=9.2$ , cuyos parámetros son necesarios para la microcuenca Sahuanay.

**a. Determinación de los coeficientes regionales método IILA – SENAMHI**  
**– UNI – estación virtual Sahuanay.**

**Tabla 32**

*Regionalización y parámetros para la estación virtual Sahuanay.*

<b>Región hidrológica y parámetros</b>			
anexo 5	Región hidrológica	$R_h = 123_5$	Sierra
anexo 5	Altitud mediana	$Y =$	Msnm
anexo 5	Duración de lluvia diaria (Perú)	$T_g = 15.2$	Hr
anexo 5	Parámetro de zona	$\epsilon_g = 24.0$	Adimensional
anexo 5	Parámetro de intensidad	$a = 9.2$	Mm
anexo 5	Parámetro de frecuencia	$K = 0.553$	Adimensional
anexo 5	Parámetro de duración	$n = 0.353$	Adimensional
anexo 5	Parámetro de duracion por región	$b = 0.4$	Hr

*Fuente: Elaboración propia*

**b. Coeficientes regionales para determinar precipitaciones e intensidades de 1996 – 2016 para diferentes tiempos de retorno de la estación virtual Sahuanay.**

$$\frac{P_t}{P_{24h}} = \left(\frac{t+b}{24}\right)^n \quad \text{Ecuación 17: Precipitación para un tiempo } t (P_t).$$

$$\frac{I_t}{I_{24h}} = \left(\frac{t+b}{24}\right)^{(n-1)} \quad \text{Ecuación 18: Intensidad para un tiempo } t (I_t).$$

$$\frac{P_t}{P_{24h}} = \left(\frac{t}{24}\right)^n \quad \frac{I_t}{I_{24h}} = \left(\frac{t}{24}\right)^{(n-1)}$$

Donde:

t.- Tiempo de duracion en hr

b.- Parámetro de duración por región

**Tabla 33**

*Precipitaciones y intensidad para diferente tiempo (t) según el método IILA-SENAMHI-UNI de la estación Sahuanay*

Tiempo duración	Coeficientes Regionales	
	$P_t / P_{24H}$	$I_t / I_{24H}$
10 min	0.27	11.29
20 min	0.29	9.55
30 min	0.31	8.37
40 min	0.33	7.50
50 min	0.35	6.82
1.0 h	0.37	6.29
1.5 h	0.41	5.16
2.0 h	0.44	4.44
4.0 h	0.53	3.19
6.0 h	0.61	2.45
7.0 h	0.65	2.22
8.0 h	0.68	2.04
10.0 h	0.73	1.76
11.0 h	0.76	1.66
12.0 h	0.78	1.57
24.0 h	1.00	1.00

*Fuente: Elaboración propia*

**c. Precipitaciones máximas de diseño de 1996 - 2016 para duraciones menores a 24 hr de la estación Sahuanay horas IILA-SENAMHI-UNI (mm)**

$$P_{\text{diseño}24\text{hr}} = P_{\text{max}(\text{corregida})} = (\text{distribución Log normal}) \times 1.13$$

$$P_{12\text{hr}} = \frac{P_t}{P_{12\text{hr}}} \times P_{24\text{hr}}$$

$$P_{(n)\text{hr}} = \frac{P_t}{P_{(n)\text{hr}}} \times P_{24\text{hr}}$$

**Tabla 34**

*Precipitaciones máximas de diseño para diferente tiempo de retorno de la estación Sahuanay.*

ESTACIÓN SUBCUENCA SAHUANAY										
DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	54.57	62.91	67.77	72.06	73.36	77.22	80.86	84.34	88.77
0.33	20.00	59.77	68.90	74.23	78.93	80.35	84.58	88.57	92.38	97.23
0.50	30.00	64.25	74.07	79.79	84.84	86.38	90.92	95.20	99.31	104.51
0.67	40.00	68.22	78.65	84.72	90.09	91.71	96.54	101.09	105.44	110.97
0.83	50.00	71.81	82.78	89.18	94.83	96.54	101.61	106.41	110.99	116.81
1.00	60.00	75.09	86.57	93.26	99.16	100.96	106.26	111.27	116.07	122.15
1.50	90.00	83.64	96.43	103.87	110.45	112.45	118.36	123.94	129.28	136.06
2.00	120.00	90.83	104.72	112.80	119.95	122.11	128.53	134.59	140.39	147.75
4.00	240.00	108.78	125.41	135.09	143.65	146.24	153.93	161.19	168.13	176.95
6.00	360.00	125.51	144.71	155.88	165.75	168.75	177.62	185.99	194.01	204.18
7.00	420.00	132.53	152.80	164.60	175.02	178.18	187.55	196.40	204.86	215.60
8.00	480.00	138.93	160.17	172.54	183.47	186.78	196.60	205.87	214.74	226.01
10.00	600.00	150.32	173.30	186.68	198.51	202.09	212.71	222.75	232.34	244.53
11.00	660.00	155.46	179.23	193.07	205.30	209.00	219.99	230.37	240.29	252.89
12.00	720.00	160.31	184.82	199.09	211.70	215.52	226.85	237.55	247.79	260.78
<b>24.00</b>	<b>1440.00</b>	<b>204.75</b>	<b>236.06</b>	<b>254.28</b>	<b>270.39</b>	<b>275.27</b>	<b>289.74</b>	<b>303.41</b>	<b>316.48</b>	<b>333.08</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**d. Intensidades máximas de diseño de 1996 - 2016 para duraciones menores a 24 horas (mm/hr)**

Para diferentes periodos de retorno, calculamos las intensidades de diseño

$$I_{24hr} = \frac{P_{24hr}}{24} \quad I_{12hr} = \frac{I_t}{I_{12hr}} \times I_{24hr} \quad I_{(n)hr} = \frac{I_t}{I_{(n)hr}} \times I_{24hr}$$

Cuadro de intensidades de diseño de la estación Sahuanay para duraciones menores a 24 horas (mm/hr).



**Tabla 35***Intensidades de diseño para diferentes tiempos de retorno de la estación**Sahuanay*

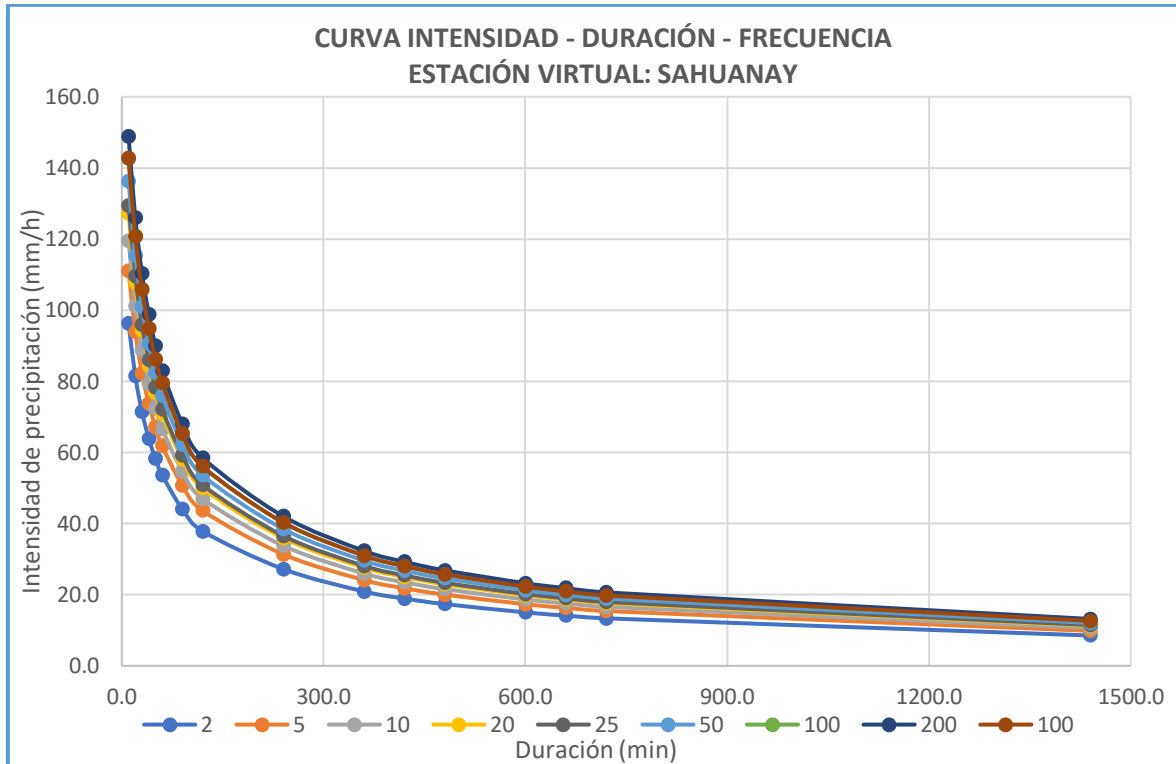
ESTACIÓN SUBCUENCA SAHUANAY										
DURACIÓN		PERÍODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.17	10.00	96.29	111.02	119.59	127.17	129.46	136.27	142.70	148.84	156.65
0.33	20.00	81.50	93.96	101.22	107.63	109.57	115.33	120.77	125.97	132.58
0.50	30.00	71.39	82.30	88.66	94.27	95.97	101.02	105.78	110.34	116.13
0.67	40.00	63.95	73.73	79.43	84.46	85.98	90.50	94.77	98.85	104.04
0.83	50.00	58.22	67.12	72.31	76.89	78.27	82.39	86.27	89.99	94.71
1.00	60.00	53.64	61.84	66.61	70.83	72.11	75.90	79.48	82.91	87.25
1.50	90.00	44.02	50.75	54.67	58.13	59.18	62.29	65.23	68.04	71.61
2.00	120.00	37.84	43.63	47.00	49.98	50.88	53.56	56.08	58.50	61.56
4.00	240.00	27.19	31.35	33.77	35.91	36.56	38.48	40.30	42.03	44.24
6.00	360.00	20.92	24.12	25.98	27.63	28.12	29.60	31.00	32.33	34.03
7.00	420.00	18.93	21.83	23.51	25.00	25.45	26.79	28.06	29.27	30.80
8.00	480.00	17.37	20.02	21.57	22.93	23.35	24.58	25.73	26.84	28.25
10.00	600.00	15.03	17.33	18.67	19.85	20.21	21.27	22.27	23.23	24.45
11.00	660.00	14.13	16.29	17.55	18.66	19.00	20.00	20.94	21.84	22.99
12.00	720.00	13.36	15.40	16.59	17.64	17.96	18.90	19.80	20.65	21.73
<b>24.00</b>	<b>1440.00</b>	<b>8.53</b>	<b>9.84</b>	<b>10.60</b>	<b>11.27</b>	<b>11.47</b>	<b>12.07</b>	<b>12.64</b>	<b>13.19</b>	<b>13.88</b>

*Fuente: Elaboración propia*

e. **Curva de intensidad duracion y frecuencia para un tiempo de retorno de 100 años de la estación Sahuanay método IILA-SEENAHMI-UNI**

**Gráfico 8**

Curva de intensidad duración y frecuencia para un tiempo de retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia

$$I = \frac{10^{2.502} \times T^{0.0841}}{t^{0.50}} \text{ ver anexo (análisis de regresión múltiple)}$$

I.- Intensidad máxima (mm/hr)

T.- Periodo de retorno en años

t.- Duración de la precipitación (min)

**4.1.4.8 Hietograma de diseño**

**4.1.4.8.1 Método del bloque alterno**

El método del bloque alterno es una forma para desarrollar un hietograma de diseño, utiliza una curva de intensidad duracion frecuencia, el método del bloque alterno especifica la profundidad de precipitación que ocurre en (n) intervalos de

tiempos sucesivos de duracion sobre una duracion total. (Ven Te Chow, 1994, p. 477)

$$I = \frac{10^{2.502} \times T^{0.0841}}{t^{0.50}}$$

**Ecuación 19:** Intensidad máxima.

$$Pr_{acumulada} = \frac{I \times t}{60}$$

**Ecuación 20:** Precipitación acumulada.

$$Pr_{incremental} = Pr_{acumulada} - t_{min}$$

I.- Intensidad máxima (mm/h).

Pr<sub>acum.</sub>- Precipitación acumulada

T.- Periodo de retorno en años = 100 años.

Pr<sub>incre.</sub>- Precipitación incremental

t.- Duracion de la precipitación (min)

Cuadro cálculo del hietograma de precipitación de diseño para tiempo de retorno de 100 años de la estación virtual de la microcuenca Sahuanay.

**Tabla 36**

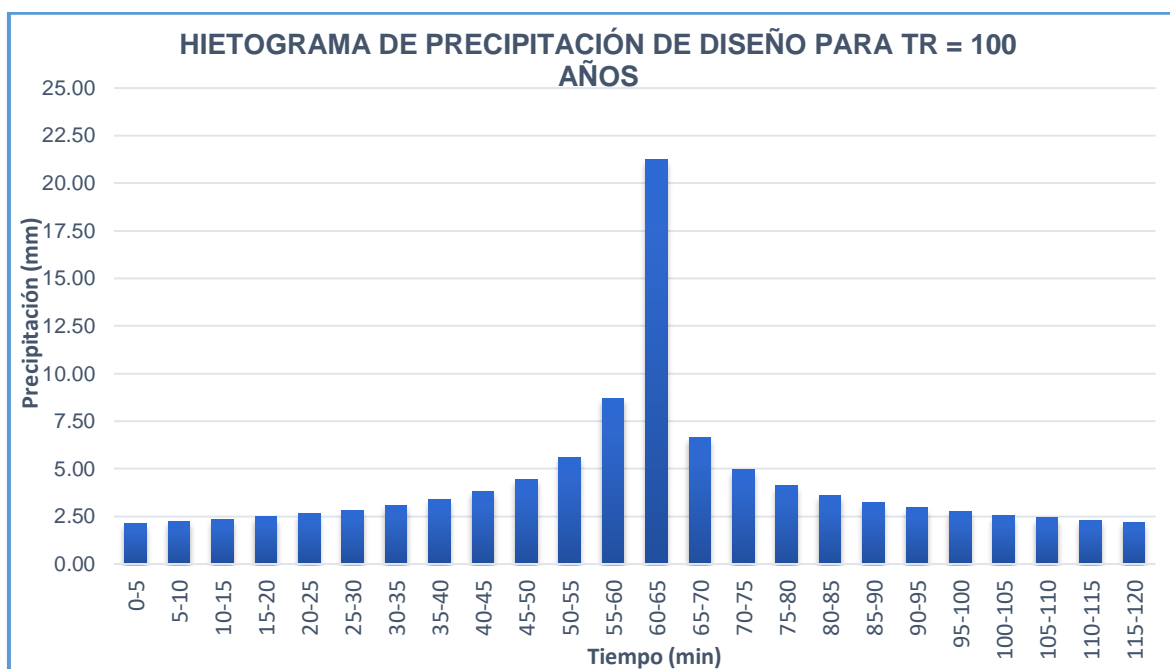
*Precipitaciones máximas para distintos tiempos (t) para un retorno de 100 años*

<b>Método del bloque alterno</b>					
Duracion	Intensidad	Profundidad acumulada	Profundidad incremental	Tiempo	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
5	254.717	21.226	21.226	0-5	2.14
10	179.597	29.933	8.706	5-10	2.24
15	146.394	36.599	6.666	10-15	2.35
20	126.631	42.210	5.612	15-20	2.49
25	113.157	47.149	4.939	20-25	2.64
30	103.220	51.610	4.461	25-30	2.83
35	95.503	55.710	4.100	30-35	3.07
40	89.285	59.523	3.814	35-40	3.38
45	84.138	63.103	3.580	40-45	3.81
50	79.785	66.488	3.384	45-50	4.46
55	76.042	69.706	3.218	50-55	5.61
60	72.779	72.779	3.073	55-60	8.71
65	69.901	75.726	2.947	60-65	<b>21.23</b>
70	67.337	78.560	2.834	65-70	6.67
75	65.035	81.294	2.734	70-75	4.94
80	62.953	83.938	2.644	75-80	4.10
85	61.059	86.500	2.562	80-85	3.58
90	59.324	88.986	2.487	85-90	3.22
95	57.729	91.404	2.418	90-95	2.95
100	56.255	93.759	2.355	95-100	2.73
105	54.889	96.055	2.296	100-105	2.56
110	53.616	98.297	2.242	105-110	2.42
115	52.428	100.487	2.191	110-115	2.30
120	51.315	102.630	2.143	115-120	2.19

*Fuente: Elaboración propia*

## Gráfico 9

Hietograma de precipitaciones para un tiempo de 1 hora para un periodo de retorno de 100 años



Fuente: Elaboración propia

En esta investigación de evaluación de riesgo se tomó el tiempo de retorno de 100 años por la recomendación del ANA, descrito en su reglamento de delimitación y mantenimiento de fajas marginales, reglamento jefatural N° 332-2016-ANA, a la vez también se hizo el cálculo previsto para tiempos de retorno de 100 hasta los 500 años ver anexo (4).

### 4.1.4.9 Numero de curva

El número de curva corresponde al área específica en estudio, valor que se obtiene mediante procesos de calibración. (Ministerio de Transporte y comunicaciones, 2012, p 44)

**Tabla 37**

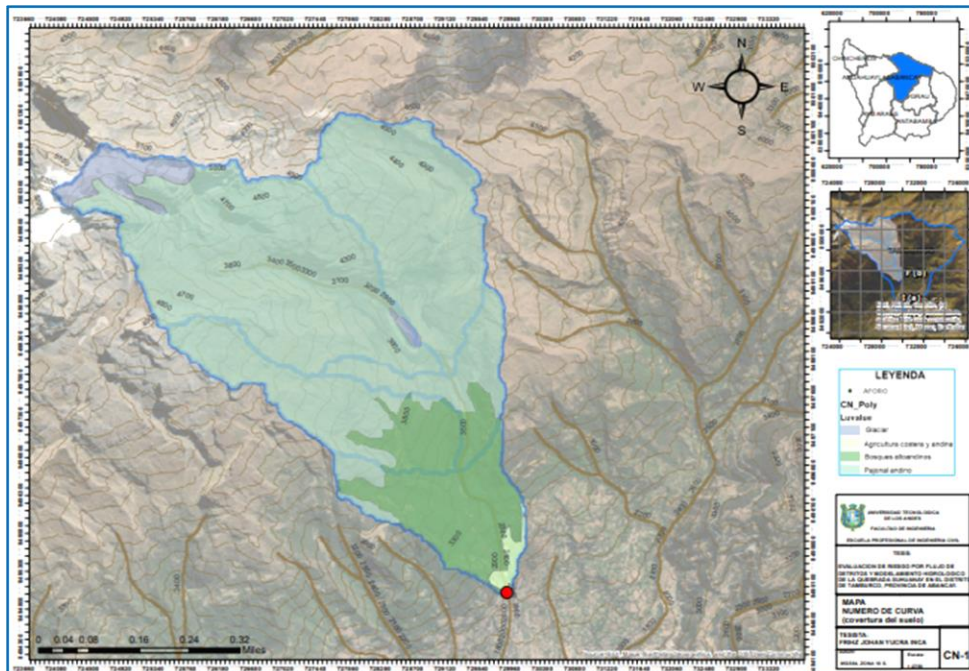
*Estimación del número de curva de la microcuenca Sahuanay*

Cobertura vegetal	Símbolo	N.C
Bosque alto andino	Br – al	75
Glaciar	Gla	100
Lagunas, lagos, cochas	L/Co	100
Pajonal andino	Pg.	68
Matorral arbustivo	Ma	52

*Fuente: Elaboración propia*

**Imagen 26**

*Uso de suelo en la microcuenca Sahuanay*



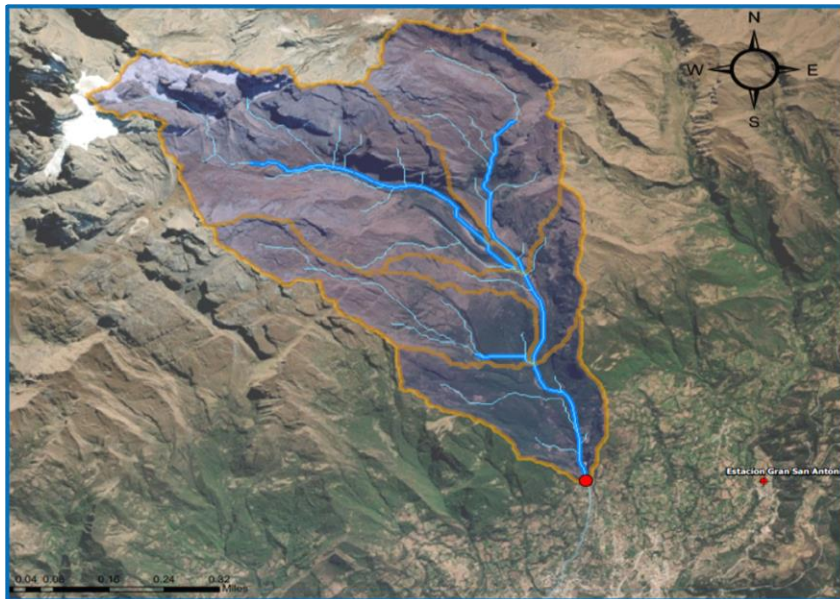
*Fuente: Elaboración propia*

Se cálculo del número adimensional de curva definido a partir de mapas temáticos tanto de cobertura y uso de suelo para lo que es el territorio peruano elaborado por la Autoridad nacional del Agua (ANA).

- **Tiempo de concentración**

**Imagen 27**

*Microcuenca Sahuanay*



*Fuente: Elaboración propia*

Una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración, mayor pendiente produce flujos más veloces y en menor tiempo de concentración. (MTC, 2014, p. 39)

Se calculo el tiempo de concentración mediante el método de Kirpich (1940) utilizable para cuencas de tamaño mediano a pequeño siendo este el tiempo recorrido por una gota en recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca o punto de aforo.

**Ecuación 21:** Tiempo de concentración, KIRPICH (1940).

$$T_c = 0.01947 \times L^{0.77} \times S^{-0.385}$$

Donde:

L.- Longitud del cauce desde aguas arriba hasta la salida en metros

S.- Pendiente promedio de la cuenca m/m

$$T_c = 0.01947 \times 4070^{0.77} \times 59.38^{-0.385}$$

$$T_c = 2.43 \text{ hr}$$

#### **4.1.4.10 Método computacional**

El modelo computacional que se utilizó fue el software HEC-HMS v4.10, el cual simula la respuesta de distintos procedimientos de análisis hidrológico, como la investigación de eventos de inundación por flujo permanente y flujo no permanente, el software actúa como un simulador de procesos hidrológicos de sistema de cuencas, como es la precipitación, para así crear modelos hidrográficos ya sea para conocer la intensidad de la escorrentía o comprender los recursos hídricos, también calculan los caudales máximos por medio de los datos del hietograma de precipitación de diseño para diferentes tiempos de retorno.

El método computacional del HEC-HMS descrito por el manual de hidrología, hidráulica y drenaje del MTC, describe, que para cuencas pequeñas para la obtención del caudal de salida se utilizó el método de SCS, lo cual especifica en un tiempo de retraso de la onda, es decir que se traslada en un tiempo a otro sin tomar en cuenta la pérdida de fricción, para lo cual se necesita la geometría del canal principal.

##### **4.1.4.10.1 Modelamiento hidrológico de la microcuenca Sahuanay con HEC – HMS v 4.10**

La simulación de sistema hidrológico de la microcuenca Sahuanay, se realizó el cálculo de los caudales máximos con un periodo de retorno de 100 años se hizo mediante el software HEC-HMS v 4.10, que requiere parámetros los cuales son el número de curva (NC), el área de la microcuenca antes delimitada (A), el tiempo de desfase (lag time) viene ser un porcentaje del tiempo de concentración (Tc).

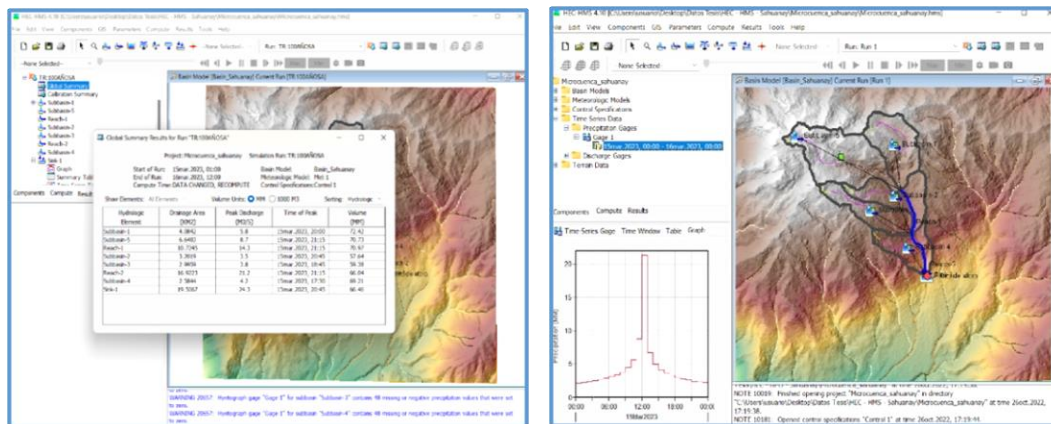
Una vez obtenido los datos de precipitación máxima para un periodo de retorno de 100 años, introducimos los datos al software para realizar el análisis con



un intervalo de tiempo por cada 1 hora, inicio el 13 marzo del 2023 a las 00:00 y concluyo el 14 de marzo del 2023 a las 00:00. mostrando el hietograma de la lluvia.

### Imagen 27

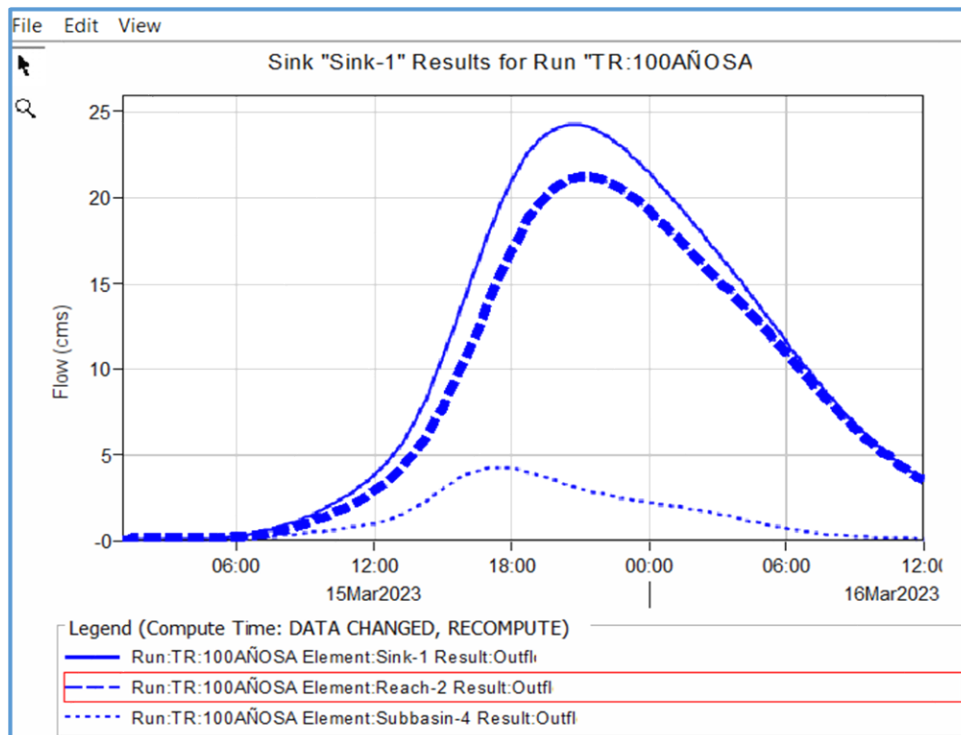
Reconocimiento del hietograma de la microcuenca Sahuanay y el caudal máximo en el punto de aforo mediante el HEC-HMS v4.10



Fuente: Elaboración propia

### Imagen 28

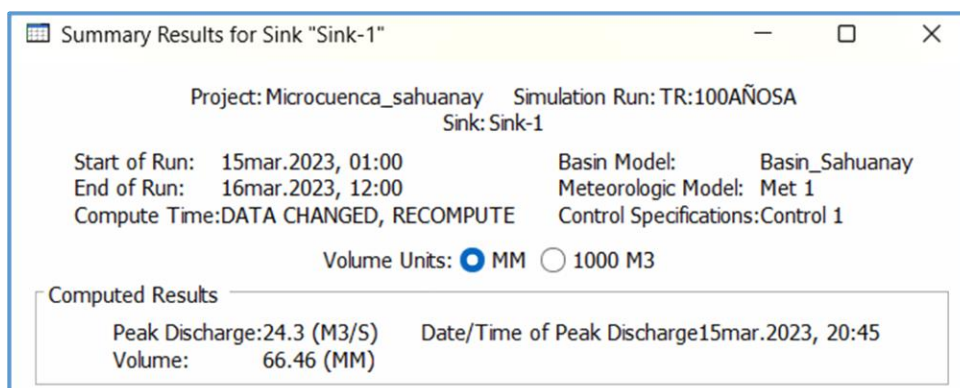
Umrales máximos y mínimos de caudales calculados por el software HEC-HMS.



Fuente: Elaboración propia

## Imagen 29

Caudal total en el punto de aforo de la microcuenca Sahuanay para un retorno de 100 años.



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 38**

Caudal total en cada uno de las subcuencas de la micro cuenca Sahuanay

Elemento hidrológico	Área de drenaje (km <sup>2</sup> )	Pico de descarga Q(m <sup>3</sup> /s)	Tiempo pick Time of peak	Volumen (mm)
Sub cuenca n°1	4.0842	5.8	15 mar. 2023, 20:00	48.45
Sub cuenca n°5	6.6403	8.7	15 mar. 2023, 21:15	42.72
cauce n°1	10.4245	14.3	15 mar. 2023, 21:15	42.72
Sub cuenca n°2	3.2019	3.5	15 mar. 2023, 20:45	35.98
Sub cuenca n°3	2.9959	3.8	15 mar. 2023, 18:45	43.89
cauce n°2	16.59223	21.2	15 mar. 2023, 21:15	39.59
Sub cuenca n°4	2.5844	4.2	15 mar. 2023, 17:30	56.1
<b>Total (sink)</b>	<b>19.5067</b>	<b>24.3</b>	<b>15 mar. 2023, 20:45</b>	<b>41.78</b>

Fuente: Elaboración propia

Se puede visualizar en los resultados de la simulación del cálculo del caudal máximo con un tiempo de retorno de  $Tr = 100$  años con el uso del software HEC - HMS, mostrando los diferentes hietogramas e hidrogramas de salida, como también los caudales cada 15 min ver anexo (5), como también el caudal pico máximo de salida que es de 24.30 m<sup>3</sup>/seg de la micro cuenca Sahuanay.

#### **4.1.5 Simulación del flujo de detritos en la quebrada Sahuanay**

La simulación de numérica del flujo de detritos en la quebrada Sahuanay, se realizó mediante el software de simulación HEC-RAS 6.1.0 para la evaluación de riesgo para un flujo de detritos, cuyo tramo en estudio comprende un total de 3.6 Kilómetros aproximadamente ubicado en el distrito de Tamburco que conforma las urbanizaciones de Mucacalle Sahuanay, el estudio se realizó desde las partes de mayor cota a menor cota es decir desde aguas arriba hacia aguas abajo, tomando en cuenta los datos de precipitaciones para un retorno de 100 años y un acontecimiento real y excepcional, cuyo porcentaje de contenido de agua (40%) y material sólido (60%), los valores reales de precipitación generan volúmenes de acuerdo a los hechos suscitados anteriormente, lo cual esto conlleva a que la simulación de flujo de detritos están semejados mucho a la realidad de tal manera que, esta investigación sería como instrumento de base de prevención de riesgo ante una eventualidad como estas.

Para generar el modelo numérico de flujo de detritos debemos conocer los parámetros reológicos, quiere decir, una predicción del esfuerzo de cedencia ( $T_y$ ) y la viscosidad ( $\eta$ ) de la mezcla que se da entre los sedimentos y el agua, por tanto, debemos generar la predicción en función de la concentración volumétrica de sedimento. la clasificación de suelos de la quebrada Sahuanay se obtuvo del proyecto “guías de espeleología y montaña de la universidad de Complutense de Madrid”, cuyo proyecto realiza la modelización numérica de flujo de derrubios y coladas de barro (MUD AND DEBRIS FLOWS), tomando una de las áreas de estudio a la quebrada Sahuanay, cuyo proyecto brindó una conferencia internacional en el 2021.

### Imagen 30

ubicación de las calicatas.



Fuente: Universidad complutense de Madrid

**Tabla 39**

Resultados del estudio de mecánica de suelos de la quebrada Sahuanay.

	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	CONTENIDO DE AGUA (%)	GRAVEDAD ESPECIFICA (G/CM2)	D60	D30	CLASIFICACION SUCS	ASSHTO
<b>1</b>	<b>32.9</b>	<b>29.15</b>	6.19	2.62	7.44	<b>1.58</b>	GM Grava limosa	<b>A-1-b</b>
<b>2</b>	<b>18.1</b>	<b>NP</b>	7.68	2.6	6.77	<b>1.02</b>	GM Grava limosa	<b>A-1-b</b>
<b>3</b>	<b>18.1</b>	<b>NP</b>	6.61	2.65	7.33	<b>1.12</b>	GP GM Grava con limo y arena	<b>A-1-a</b>
<b>4</b>	<b>20.35</b>	<b>18.4</b>	6.49	2.58	10.58	<b>1.52</b>	GM grava limosa con grava	<b>A-1-a</b>
<b>5</b>	<b>18.08</b>	<b>NP</b>	6.21	2.6	8.8	<b>1.23</b>	GP GM Grava con limo y arena	<b>A-1-a</b>
<b>6</b>	<b>18.1</b>	<b>NP</b>	6.17	2.62	9	<b>1.64</b>	GP GM Grava con limo	<b>A-1-a</b>
<b>7</b>	<b>18.9</b>	<b>17.17</b>	5.18	2.66	12.03	<b>0.25</b>	GP GM Grava con lodo y bloques	<b>A-1-a</b>
<b>8</b>	<b>26.95</b>	<b>23.29</b>	6.21	2.62	8.52	<b>1.75</b>	GP MG Grava con limo y arena	<b>A-1-a</b>
<b>9</b>	<b>18.1</b>	<b>NP</b>	5.8	2.63	8.27	<b>1.27</b>	GP MG Grava con limo y arena	<b>A-1-a</b>
<b>10</b>	<b>21.9</b>	<b>18.25</b>	5.49	2.61	6.14	<b>0.58</b>	GM Grava limosa con arena	<b>A-1-b</b>
<b>11</b>	<b>29.65</b>	<b>21.03</b>	6.23	2.56	6.88	<b>0.55</b>	CC Grava arcillosa con SND	<b>A-2-4</b>

Fuente: Universidad complutense de Madrid

- **Parámetros reológicos**

Los parámetros reológicos son el esfuerzo de cedencia ( $T_y$ ) y la viscosidad ( $\eta$ ) de la mezcla entre el sedimento y el agua, siendo muy importante para el desarrollo del modelo numérico. O'Brien y Julien (1988), describen el siguiente cuadro de acuerdo al diámetro del grano. En este proceso se tomó el límite líquido y índice de plasticidad del estudio de mecánica de suelos del proyecto modelización numérica de flujo de derrubios en el Perú, donde la quebrada Sahuanay fue uno de las áreas que se evaluó.

**Tabla 40**

Propiedades de las matrices del flujo de lodo según la clasificación de O'Brien

Muestra tipo	Distribución del tamaño del sedimento				Limite liquido	Índice plástico
	Arcilla (%)	D <sub>16</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>84</sub> (mm)		
Glenwood original	4.8	0.010	0.034	0.062	-	-
Asspen 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

*Fuente: Modificada*

- **Concentración volumétrica de sedimentos**

Es importante obtener la concentración volumétrica que posee la mezcla, en el caso de flujo de detritos, poseen una distribución de CV que parten de un valor cercano a 0.2 y aumenta hasta 0.35 o 0.45, siempre depende del tipo de sedimentos que posee la microcuenca Sahuanay, tiene un comportamiento diferente a una avenida, en esta investigación se dio una concentración volumétrica de 0.45 esta obtenida por la clasificación de O'Brien.

**Tabla 41**

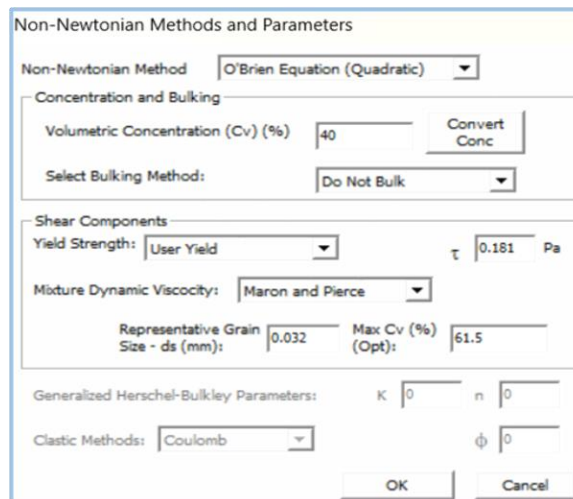
*Comportamiento del flujo en función de Cv*

Descripción del tipo de flujo.	Concentración de sedimentos (cv)		Características del flujo
	Volumé	Peso	
Flujo de lodo (Mudflow)	0.48 – 0.55	0.72 – 0.76	Flujo evidente, deslizamiento lento sometido por el flujo de la deformación plástica bajo su propio peso. Flujo se extiende sobre la superficie, flujo cohesivo, algo de mezcla.
	0.45 – 0.48	0.69 – 0.72	
Avenida de lodo (Mud Flood)	0.40 – 0.45	0.65 – 0.69	El flujo se mezcla fácilmente, muestra las propiedades de un fluido en la deformación, su distribución en la superficie es horizontal.

Fuente: User's manual HEC-RAS V 6.1 (2021)

**Imagen 31**

*Parámetros reológicos para el modelo numérico en HEC-RAS v 6.10*

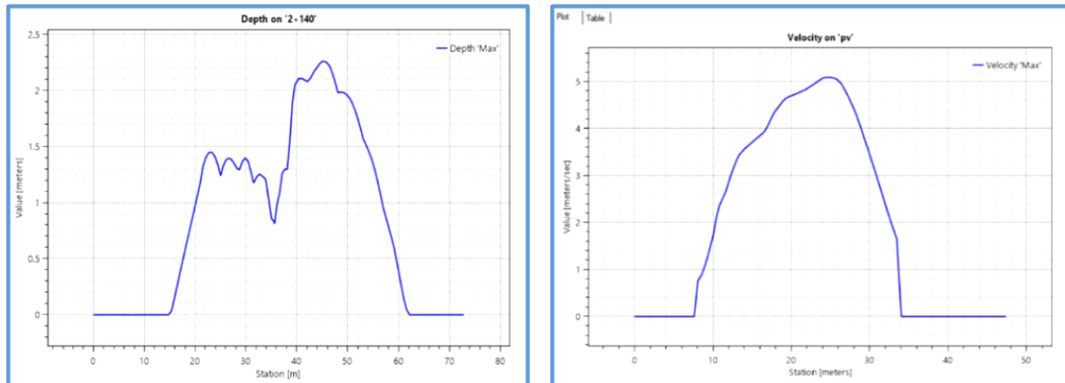


Fuente: Elaboración propia

En esta investigación se dio una concentración volumétrica de 0.45 esta obtenida por la clasificación de O'Brien, describiendo como un flujo de lodo, su característica principal es que se extiende sobre la superficie con un bajo parámetro cohesivo y algo de mezcla.

### Imagen 32

*Histograma de velocidades y alturas máximas del flujo de detritos extraído de los resultados del software HEC-RAS v 6.1*

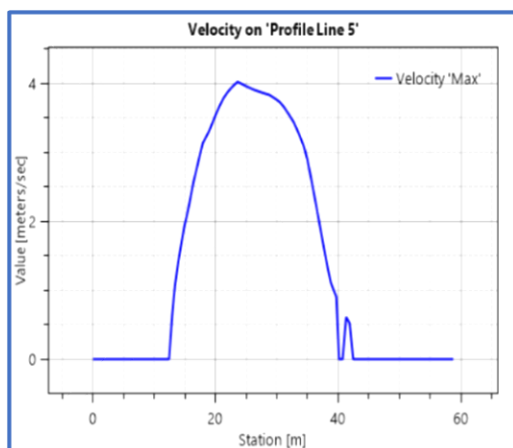
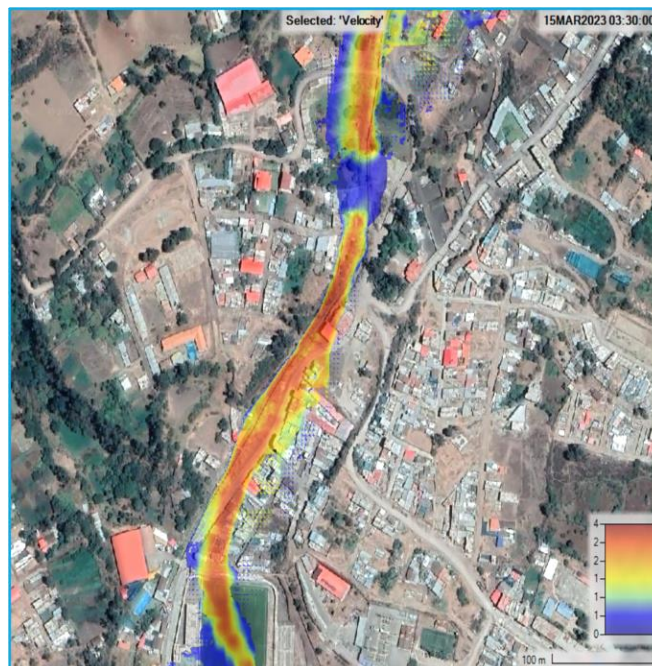
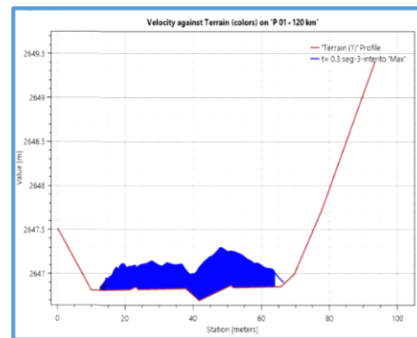
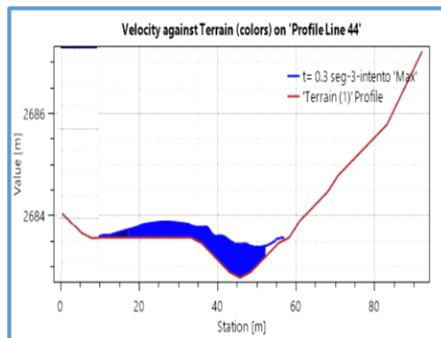


*Fuente: Elaboración propia*

Los resultados muestran valores de velocidades que varían desde 1 m/s hasta llegar a los 8 m/s como velocidades máximas, como también muestra alturas que varían desde los 0.5 m hasta una altura máximas de 2 m, en los diferentes tramos establecidos. (ver anexo 6)

### Imagen 33

Velocidad en el terreno en el tramo 01+100 y 01+200 km

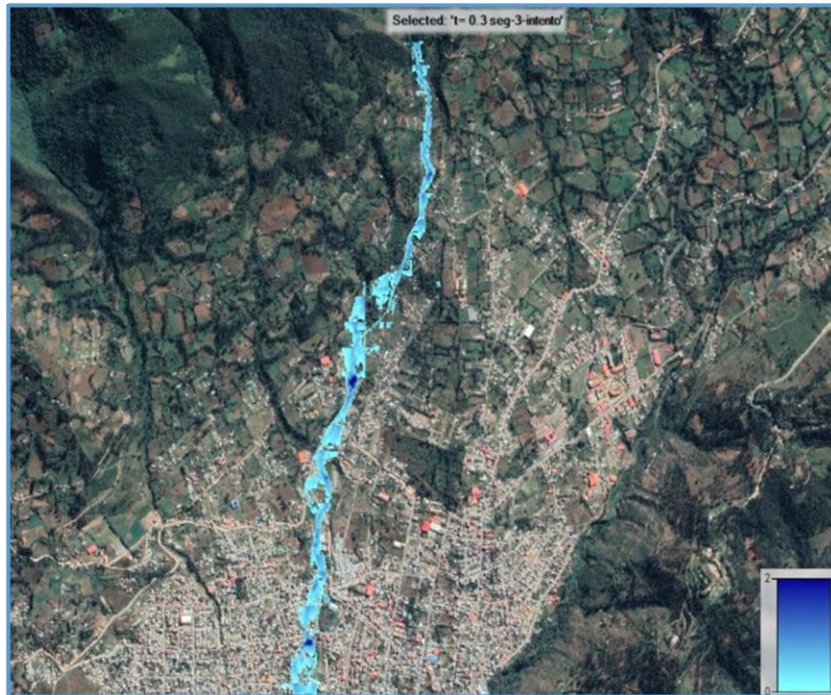


Fuente: Elaboración propia



### Imagen 34

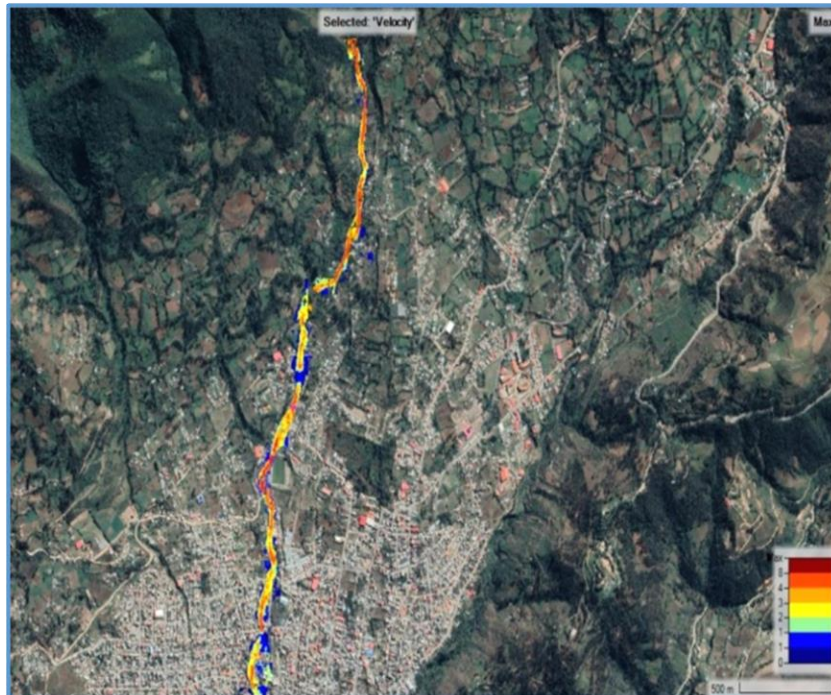
umbrales máximos del flujo de detritos de 0 a 2.5 m en la quebrada Sahuanay



Fuente: Elaboración propia

### Imagen 35

Velocidades del flujo de detritos de 0 a 8 m/s en la quebrada Sahuanay



Fuente: Elaboración propia

#### **4.1.5.1 Zonas afectadas por el flujo de detritos en la simulación**

De acuerdo a la simulación del flujo de detritos nos muestra escenarios donde los valores de las velocidades superan los 5 m/s asta llegar a los 8 m/s como valores maximos, la simulacion muestra alcances maximos alrededor del canal superando la capacidad de la estructura hidraulica, llegando a un area de influencia, se identifico las areas de posible nivel de riesgo ante la ocurrencia del flujo, en las diferentes salidas de la tomas de informacion se identifico un total de 191 viviendas y 382 habitantes, que se encuentra en los alrededores de el cauce del canal de la micro cuenca Sahuanay.

#### **4.1.6 Características del área de estudio**

La simulación y modelamiento del flujo de detritos, nos muestra la posibilidad de la zona de afectación en los alrededores de la quebrada Sahuanay, los límites máximos y mínimos de donde podría presentar un riesgo por el fenómeno ya descrito anteriormente.

se usó los límites máximos de la simulación del fenómeno (flujo de detritos) para determinar las características del área de estudio y así abarcar específicamente las zonas donde se podrían presentar un riesgo por flujo de detritos, para lo cual nos apoyamos en información del INEI, que realizo un censo nacional en el 2018 y con la recolección de datos tomadas del área de estudio.

##### **4.1.6.1 Características sociales**

###### **4.1.6.1.1 Población**

- **Población total**

Según el “instituto nacional de estadística e informática (INEI)”, señalan que el distrito de Tamburco de la provincia de Abancay cuenta con una población 10861 habitantes respectivamente, censo nacional del 2019.

La población estimada en la salida de la recopilación de datos de vulnerabilidad del sector en estudio es un total de 382 habitantes.

**Tabla 42**

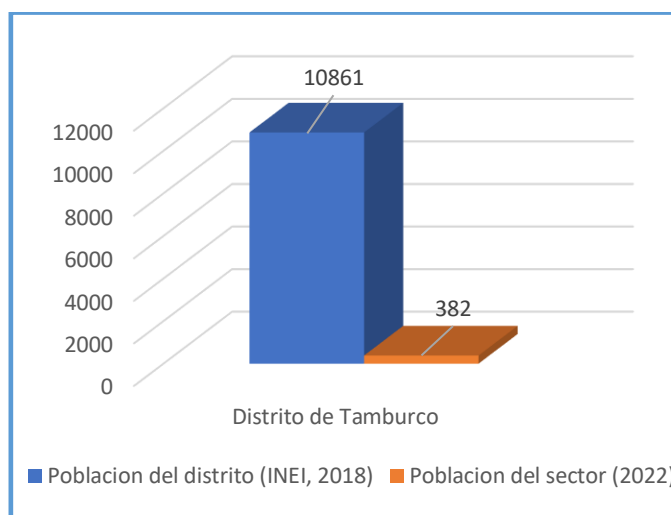
*Población distrital*

Población	Distrito de Tamburco
Población Total (INEI, 2018)	10861
Población del Sector	382

*Fuente: Modificado*

**Gráfico 10**

*Diagrama de la población distrital*



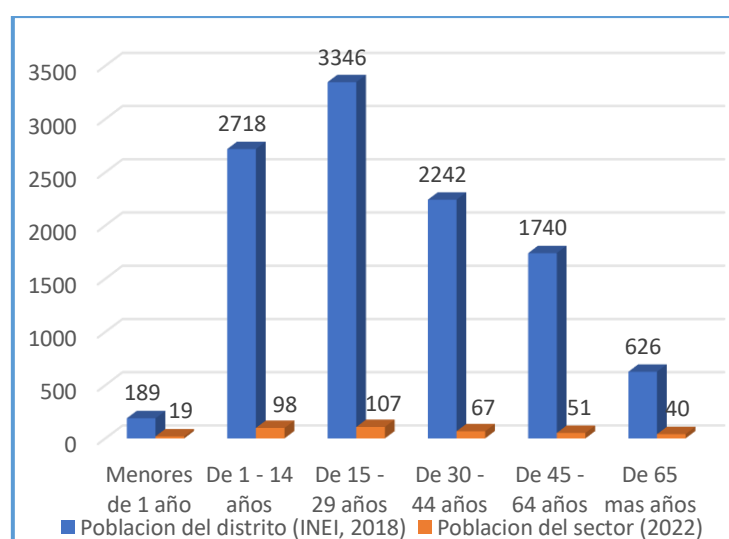
*Fuente: Modificado*

- **Población según grupo de edades**

Se puede observar la distribución de la población del distrito de Tamburco por medio de grupo etario según el censo nacional del INEI en el 2018, la población estimada en la salida de la recopilación de datos de vulnerabilidad del sector de estudio, se caracteriza por tener una población joven que oscilan entre las edades de 1 año y menores de 29 años de edad con un (53.66%), el restante de la población corresponde a las personas que se encuentran entre menores de 1 año (4.97%) y la población adulta de 30 a 44 años con un (17.54%) de edades de entre 45 a 64 años y de 65 años con un (23.82%).

**Tabla 43***Población distrital según grupo etario.*

Edades Tamburco	Cantidad del distrito (INEI, 2018)	%	Cantidad del Sector	%
Menores de 1 año	189	1.7	19	4.97
De 1 - 14 años	2718	25.0	98	25.65
De 15 - 29 años	3346	30.8	107	28.01
De 30 - 44 años	2242	20.6	67	17.54
De 45 - 64 años	1740	16.0	51	13.35
De 65 más años	626	5.8	40	10.47
<b>Total</b>	<b>10861</b>		<b>382</b>	

*Fuente: Modificado***Gráfico 11***Diagrama de población distrital según grupo etario**Fuente: Modificado***4.1.6.1.2 Vivienda**

Según el “Sistema nacional de información estadístico (INEI) 2018”, señala que el distrito de Tamburco cuenta con un total de 2183 viviendas; Las viviendas estimadas en la salida de la recopilación de datos de vulnerabilidad del sector de estudio nos muestran un total de 191 viviendas, clasificando materiales predominantes en paredes y techos.

- **Materiales predominantes en paredes**

En el sector de estudio el porcentaje más significativo es el 78.01% con viviendas con material predominante en paredes de pared de ladrillo o bloque de cemento con un total de 148 viviendas, así mismo presentan un 19.90% en pared de sillar o cal con un total de 39 viviendas y el 0.52% que representa pared de piedra, sillar con un total de 1 vivienda.

**Tabla 44**

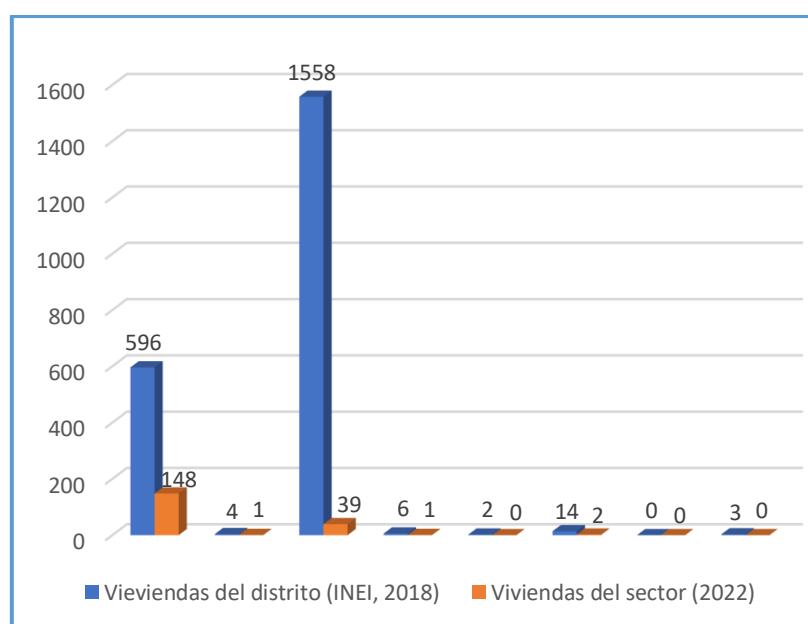
*Material predominante en paredes.*

Material predominante en paredes Tamburco	Viviendas del distrito (INEI,2018)	%	Viviendas del sector	%
Pared de ladrillo o bloque de cemento	596	27.30	148	78.01
Pared de piedra, sillar con cal o cemento	4	0.18	1	0.52
Pared de adobe o tapia	1558	71.37	39	19.90
Pared de quincha	6	0.27	1	0.52
Pared de piedra con barro	2	0.09	0	0.00
Pared de madera	14	0.64	2	1.05
Pared de estera	0	0.00	0	0.00
Pared de otro material	3	0.14	0	0.00
<b>Total</b>	<b>2183</b>		<b>191</b>	

*Fuente: Modificado.*

**Gráfico 12**

*Diagrama del material predominante en paredes*



*Fuente: Modificado*

- **Materiales predominantes en techos**

En el sector de estudio 148 viviendas presentar techos con material concreto armado que es el 77.79% y 38 con material teja andino que es el 19.90% y con 3 viviendas que presenta de plancha de calamina con un 1.57 % y por último 1 vivienda con material de techo de madera que representa el 0.52%

**Tabla 45**

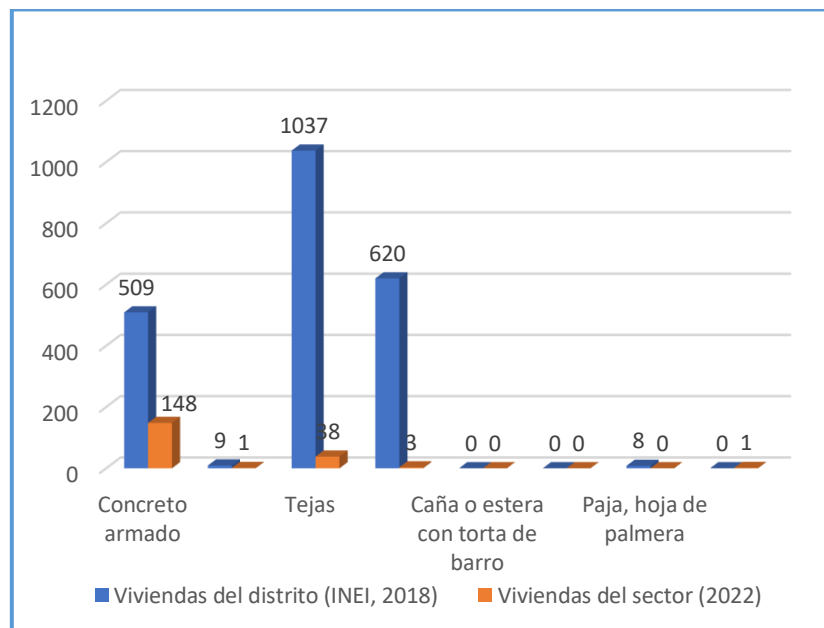
*Material predominante en techos.*

Material predominante en techos Tamburco	Viviendas del distrito	%	Viviendas del sector	%
Concreto armado	509	23.32	148	77.49
Madera	9	0.41	1	0.52
Tejas	1037	47.50	38	19.90
Plancha de calamina	620	28.40	3	1.57
Caña o estera con torta de barro	0	0.00	0	0.00
Estera	0	0.00	0	0.00
Paja, hoja de palmera	8	0.37	0	0.00
Otro material	0	0.00	1	0.52
Total	2183		191	

*Fuente: Modificado*

**Gráfico 13**

*Diagrama del material predominante en techos.*



*Fuente: Modificado*

### 4.1.6.1.3 Servicios básicos

- **Abastecimiento de agua**

Según el sistema de información estadístico del INEI 2018, señala que el distrito de Tamburco cuenta con un total de 2183 viviendas, por otro lado, el sector de estudio cuenta con 191 viviendas dato de salida de campo.

**Tabla 46**

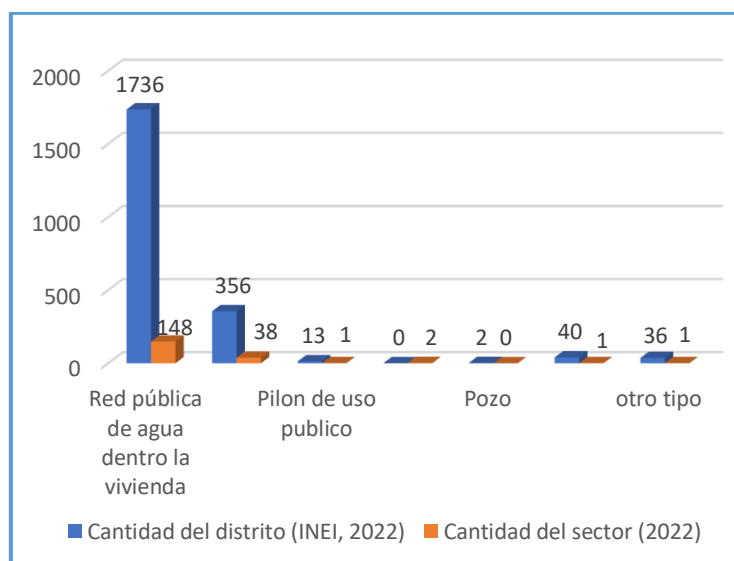
*Tipo de abastecimiento de agua*

Tipo de abastecimiento de agua Tamburco	Cantidad Distrital	%	Cantidad del sector	%
Red pública de agua dentro la vivienda	1736	79.52	148	77.49
Red pública de agua fuera la vivienda	356	16.31	38	19.90
Pilón de uso publico	13	0.60	1	0.52
Camión, cisterna u otro similar	0	0.00	2	1.05
Pozo	2	0.09	0	0.00
Rio, acequia, manantial otro tipo	40	1.83	1	0.52
<b>Total</b>	<b>2183</b>		<b>191</b>	

*Fuente: Modificado*

**Gráfico 14**

*Diagrama de tipo de abastecimiento.*



*Fuente: Modificado*

- **Servicios higiénicos o desagüe**

Según el sistema de información estadístico del INEI 2018, señala que el distrito de Tamburco cuenta con un total de 2183 viviendas, por otro lado, el sector de estudio cuenta con 191 viviendas dato de salida de campo, el 77.49% contienen red pública dentro de la vivienda desagüe que son 148 viviendas y el 19.90 % red pública de desagüe fuera de la vivienda.

**Tabla 47**

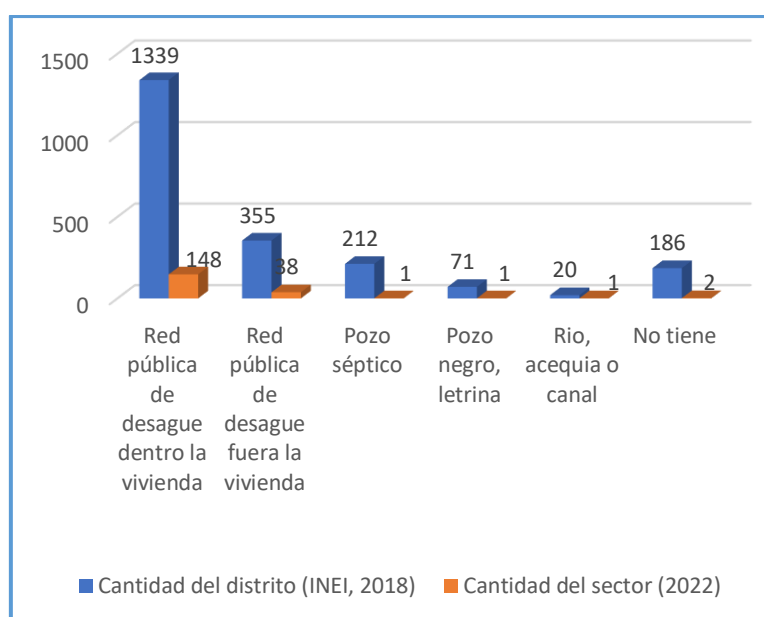
*Tipo de servicios higiénicos.*

Tipo de servicios higiénicos Tamburco	Cantidad del distrito	%	Cantidad del sector	%
Red pública de desagüe dentro la vivienda	1339	61.34	148	77.49
Red pública de desagüe fuera la vivienda	355	16.26	38	19.90
Pozo séptico	212	9.71	1	0.52
Pozo negro, letrina	71	3.25	1	0.52
Rio, acequia o canal	20	0.92	1	0.52
No tiene	186	8.52	2	1.05
<b>Total</b>	<b>2183</b>		<b>191</b>	

*Fuente: Modificado*

**Gráfico 15**

*Diagrama del tipo de servicios higiénicos.*



*Fuente: Modificado*



- **Tipo de alumbrado**

El sector de estudio tiene un total de 191 viviendas, de las cuales el 77.79 % viviendas cuentan con servicios de energía eléctrica y el 19.91 % de viviendas tienen de tipo alumbrado median vela, lampara, generador, finalmente hay 1.05% no tiene otro tipo de alumbrado.

**Tabla 48**

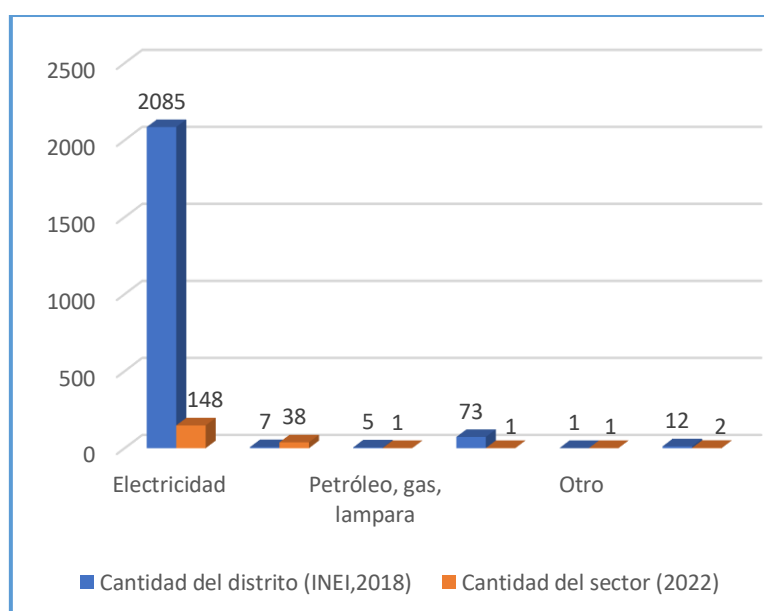
*Tipo de alumbrado*

Tipo de alumbrado Tamburco	Cantidad Distrital	%	Cantidad del sector	%
Electricidad	2085	95.5	148	77.49
Kerosene, mechero, lamparín	7	0.3	38	19.90
Petróleo, gas, lampara	5	0.2	1	0.52
Vela	73	3.3	1	0.52
Otro	1	0	1	0.52
No tiene	12	0.5	2	1.05
<b>Total</b>	<b>2183</b>		<b>191</b>	

*Fuente: Modificado*

**Gráfico 16**

*Diagrama de tipo de alumbrado.*



*Fuente: Modificado*

#### 4.1.6.1.4 Salud

Se puede apreciar que el sector de estudio cuenta con 382 habitantes, de los cuales el 36.39 % cuenta con SIS, el 25.65% cuentan con ESSALUD y el 17.28 % tiene seguro privado, el 11.78 % de la población son pertenecientes a la FFAA – PNP, por otro lado, el 25.65% con una cantidad de 98 personas contienen Essalud y otros que son el 1.31% no contienen ningún seguro de vida.

**Tabla 49**

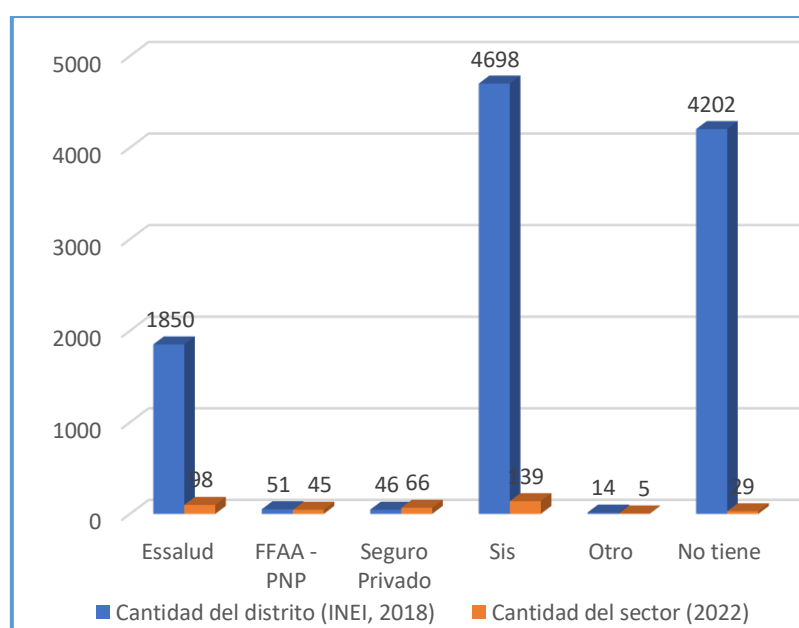
*Tipo de seguro.*

Tipo de seguro de Tamburco	Cantidad del distrito	%	Cantidad del sector	%
Essalud	1850	23.8	98	25.65
FFAA - PNP	51	0.7	45	11.78
Seguro Privado	46	0.6	66	17.28
Sis	4698	60.5	139	36.39
Otro	14	0.2	5	1.31
No tiene	4202	14.2	29	7.59
<b>Total</b>	<b>10861</b>		<b>382</b>	

*Fuente: Modificado*

**Gráfico 17**

*Diagrama de tipo de salud.*



*Fuente: Modificado*

#### 4.1.6.1.5 Actividades económicas

La actividad laboral del sector estudio, señala que el 33.51% es comercio, el 40.84 % trabaja para el gobierno y el 10.99 se dedica a la agricultura.

**Tabla 50**

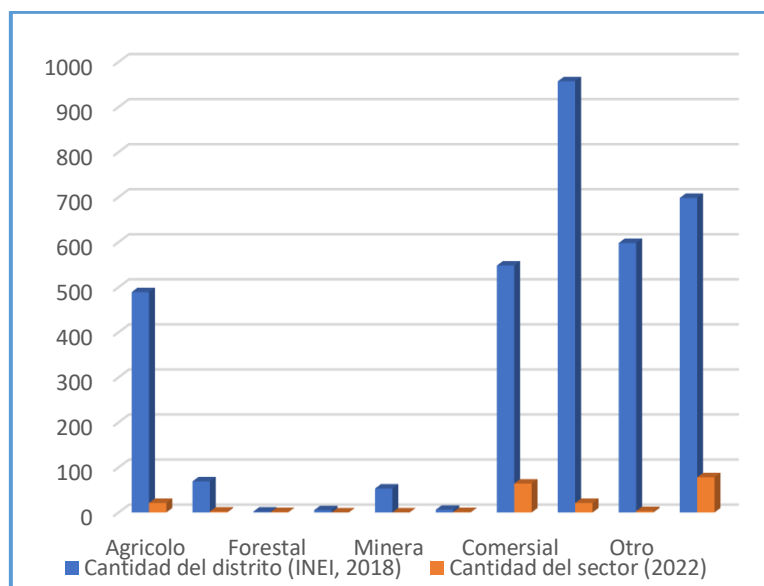
*Actividad económica.*

Actividad Económica Tamburco	Cantidad del distrito	%	Cantidad del sector	%
Agrícola	489	14.3	21	10.99
Pecuaria	69	2	2	1.05
Forestal	2	0.1	1	0.52
Pesquera	5	0.1	0	0.00
Minera	53	1.5	0	0.00
Artesanal	6	0.2	1	0.52
Comercial	548	16	64	33.51
Servicios	957	27.9	21	10.99
Otro	598	17.5	3	1.57
Estado (Gobierno	698	20.4	78	40.84
<b>Total</b>	<b>3425</b>		<b>191</b>	

*Fuente: Modificado*

**Gráfico 18**

*Diagrama de actividad económica*



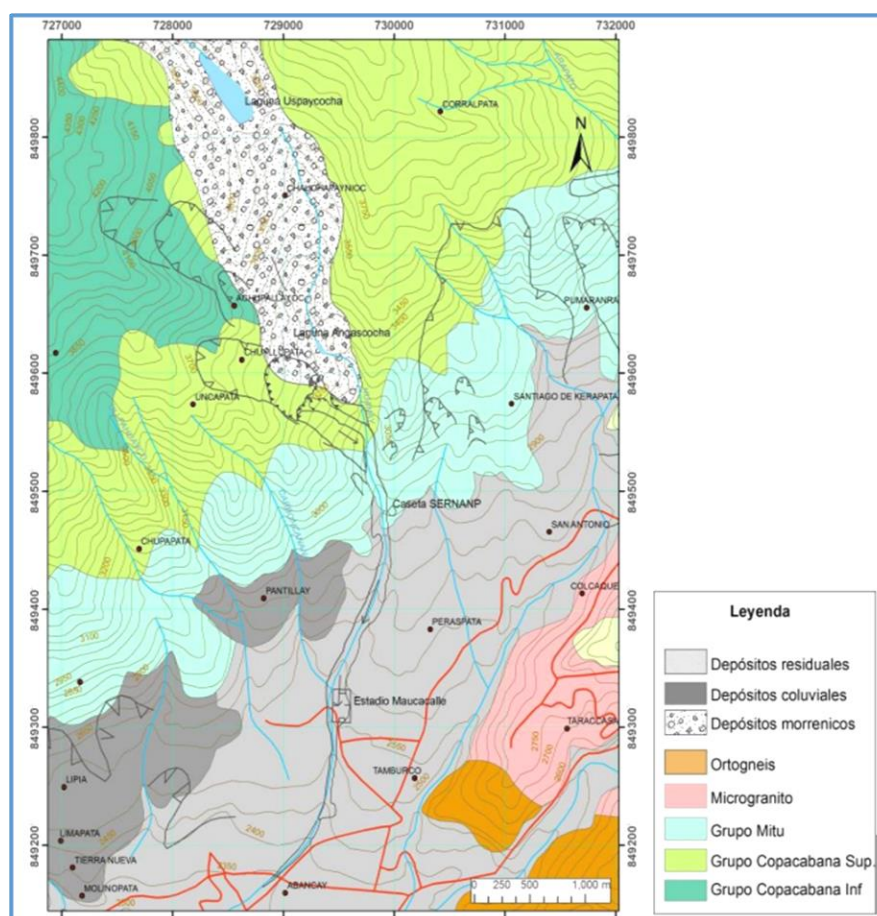
*Fuente: Modificado*

#### 4.1.6.2 Condiciones geológicas

según el mapa de unidades geológicas del INGEMMET, se considera que el área de estudio es una zona de depósito residuales, depósitos coluviales, depósitos aluviales, grupo Mitú, depósitos morrénicos, que se extiende entre los 2515 a 2730 m.s.n.m, donde da el inicio del tramo de estudio que comprende un total de 2.563 km.

#### Imagen 36

Mapa de geología de la quebrada Sahuanay.



Fuente: (INGEMMET, 2019)

- **Grupo Mitú**

(Maldonado, 2021), “señala que la disposición del grupo Mitú en la quebrada Sahuanay, que se ubica por debajo del grupo Copacabana, es altamente beneficioso para la microcuenca puesto que el grupo Copacabana tiene mejor

porosidad primaria y secundaria lo cual permite captar la mayor cantidad de aguas de las precipitaciones”; (INGEMMET, 2019), “muestra que el afloramiento del grupo Mitú en la quebrada Sahuanay se caracteriza por estar bien definida y bastante compactada”.

### **Imagen 37**

*Depósitos del grupo Mitú al frente de la caseta de SERNANP*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Depósitos Coluviales**

(INGEMMET, 2019), “describe que fueron originados por efecto de la gravedad, vuelvo y caída de rocas que se acumularon en las laderas, poseen una matriz arcillo-limosa por lo cual forman taludes poco estables”; (Maldonado, 2021), “señala que los depósitos coluviales se caracterizan por contener elementos líticos angulosos con una matriz areno arcillosa”.

### Imagen 38

*Depósito de material coluvial originados por efecto de la gravedad*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Depósitos proluvial (Q-pl)**

“son depósitos que se ubica en el cauce de la quebrada Sahuanay, es material vinculado a los flujos de detritos conformados por fragmentos rocosos heterométricos de diferentes composiciones y formas angulosas con una matriz areno-arcillosa, este tipo de depósitos es susceptible a reactivarse en el futuro”. (INGEMMET, 2019, pág. 24)

### Imagen 39

*Material detrítico depositado en el canal y al alrededor de la quebrada*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Depósitos Morrenicos**

“Este tipo de depósito se conforma de clastos y bloques angulosos, subangulosos, con una matriz arenoso se encuentran bastante compactadas y algo cementadas los finos ocupan el 60% de las dimensiones, los gruesos varían de 0.25 a 3 metros, permanecen como diques naturales formando lagunas”. (Municipalidad Provincial de Abancay, 2016, p. 44)

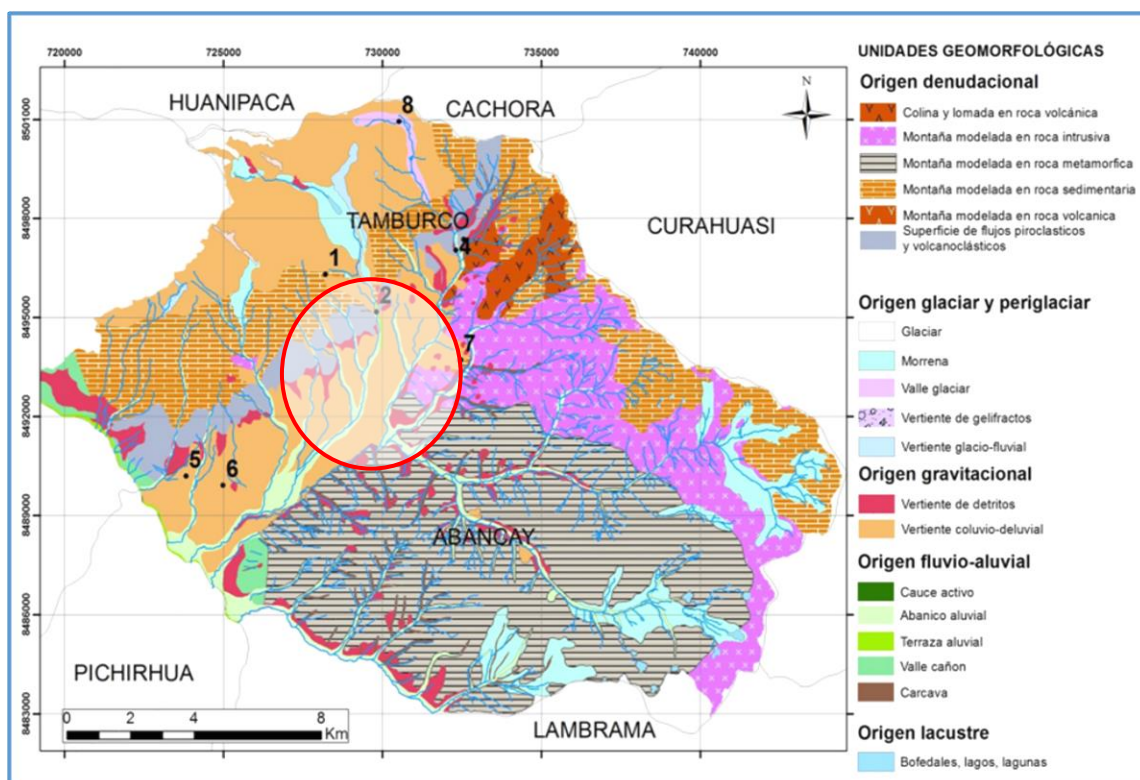
#### 4.1.6.3 Condiciones Geomorfológicas

según el mapa de unidades geomorfológicas del INGEMMET, se considera que el área de estudio es una zona de **abanico aluvial, terraza aluvial, vertiente detrítica – coluvio-deluvial**, que comprende entre los 2515 a 2730 m.s.n.m.

la zona para evaluar se enmarca con una circunferencia de color rojo, para la facilidad del proyecto se toma el mapa geomorfológico del INGEMMET.

#### Imagen 40

*Mapa de unidades geomorfológicas de la quebrada Sahuanay*



Fuente: (INGEMMET, 2019)

- **Abanico aluvial**

“Son conos de detritos que se forman en una ruptura de una pendiente en el borde de una llanura aluvial, sus características son semicirculares con una parte superior más estrecha y empinada, el cual a menudo se extiende hacia la montaña y continua en cauce de la corriente que el depósito”. (INGEMMET, 2019)

- **Terraza aluvial**

“Es el depósito de material no consolidado acumulado por la acción de los cursos hídricos, presentan pendientes suaves y se ubican de forma adyacente al lecho de los cauces de la quebrada Sahuanay, es una unidad importante para construir una evidencia de un evento pasado”. (INGEMMET, 2019)

**Imagen 41**

*Depósito de material no consolidado, evidencia generada por el fenómeno natural ocurrido en el 2012*



*Fuente: Elaboración propia*

- **vertiente detrítica y coluvio – deluvial**

“son acumulaciones heterogéneas con fragmentos rocosos que se ubican en las laderas con acción de la gravedad en combinación con el agua, son



fragmentos rocosos se encuentran en las partes altas como en el área del nevado del Ampay”. (INGEMMET, 2019)

- **Montaña modelada en roca sedimentaria**

Presentan pendientes de 30° a 45° y un recubrimiento de material entre coluvial y morrénico como las que se encuentran en la cabecera de la quebrada Sahuanay, cuyas laderas están estructuralmente plegadas con pendientes abruptas. (INGEMMET, 2019, pág. 34)

**Imagen 42**

*Ladera de la quebrada Sahuanay*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Cauce de la quebrada Sahuanay**

El cauce de la quebrada Sahuanay es bien definido, la concavidad de terreno por donde discurre la corriente de agua proveniente de las precipitaciones de las partes altas generando arrastre de sedimentos.

El canal recepción el cauce de la quebrada Sahuanay, tiende a ensancharse en los lugares donde el proceso de erosión es alto y disminuye o se hace angosto cuando el proceso de sedimentación es alto, esto genera arrastre y acumulación donde las pendientes disminuyen.

### Imagen 43

*Cauce de la quebrada Sahuanay en épocas de lluvia.*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Pendiente del cauce**

Posee una topografía accidentada, con pendientes de 15 a 25 % está constituido por un potente depósito de aluvial compactado, sobre el depósito desarrollan la agricultura en la cabecera de la población y en la parte media se desarrollan infraestructura de viviendas, puentes provisionales y en la parte baja se establecer la población de la urbanización Maucacalle Sahuanay.

### Imagen 44

*Pendientes del cauce Sahuanay mayores a 10 %.*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Cauce cubierto**

Depósito de material no consolidado acumulado en el cauce del canal de la quebrada provocado por las pendientes fuertes y las precipitaciones máximas en tiempos de lluvia.

**Imagen 45**

*Depósitos de material no consolidado en el cauce del cauce del canal.*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Ladera de quebrada**

Se encuentra formado por areniscas cuarzo – feldespáticas de color blanco, marrón amarillento o gris, con interacciones de areniscas de grano fino y medio, limo arcilitas y lutitas negra con presencia de fósiles. (Maldonado, 2021)

**Imagen 46**

*Ladera de quebrada mayor a 10 %*



*Fuente: Elaboración propia*

### **Imagen 47**

*Ladera de quebrada de creación antrópica que presenta una pendiente mayor a 10 %*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Botaderos en las riberas del cauce**

Depósitos de material provenientes de actividades de construcción e demolición viviendas, construcción de carreteras y otros son depositados en los alrededores del canal, son material que con cualquier contacto de agua se deslizarían.

### **Imagen 48**

*Depósito de material no consolidado acumulados alrededor del cauce*



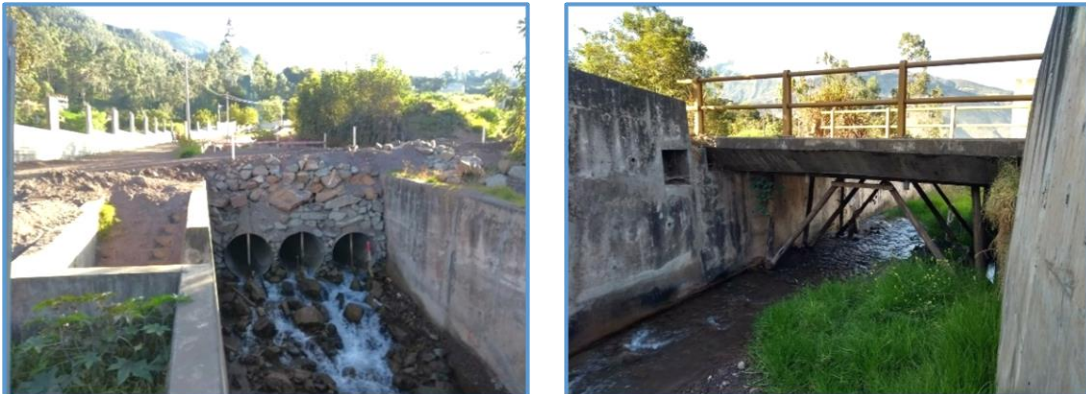
*Fuente: Elaboración propia*

- **construcción de alcantarillas y otras obras sin un diseño adecuado**

En la quebrada Sahuanay se viene realizando construcción de una alcantarilla sin ningún tipo de diseño adecuado y por otra parte se detectó un puente (pontón) que presenta colapso en una de las vigas en las progresivas 02+350 km.

#### **Imagen 49**

*Construcción de obras provisionales sin ningún diseño adecuado.*



*Fuente: Elaboración propia*

- **Viviendas construidas en alrededor del canal**

Viviendas ubicadas en la parte media de la quebrada en las urbanizaciones de C.P. Maucacalle y en la urbanización Villa Periodista

#### **Imagen 50**

*Viviendas ubicadas en los límites del canal en la urbanización Maucacalle*



*Fuente: Elaboración propia*

### **Imagen 51**

*Viviendas ubicadas en los límites del canal en la urbanización Sahuanay*



*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.1.6.4 Condiciones climatológicas**

### **Imagen 52**

*Quebrada Sahuanay, urbanización Maucacalle*



*Fuente: Elaboración propia*

El SENAMHI nos muestra las precipitaciones máximas en los meses de diciembre a abril que se presentan anualmente en la quebrada Sahuanay, nos muestra umbrales mayores que varían de los 122.3 mm a los 234.6 mm. Caracterización de extremos de precipitación.

**Tabla 51***Caracterización de lluvias extremas según sus precipitaciones*

Umbral de precipitación	Caracterización de lluvias extremas
Precipitación acumulada / día > 99 pp	Extremadamente lluvioso
95 mm < RR/día ≤ 99 mm	Muy lluvioso
90 mm < RR/día ≤ 95 mm	Lluvioso
75 mm < RR/día ≤ 90 mm	Moderadamente lluvioso

*Fuente: SENAMHI*

- **Semiárido semicálido**

“Altitudinalmente se ubica a los 2250 a 2650 m.s.n.m, la precipitación se distribuye a diferentes rangos que abarcan en los meses de diciembre a marzo con un periodo de secas en agosto tiene una temperatura anual de 20° c”. (Maldonado, 2021, p. 69)

- **Semiárido templado**

“Altitudinalmente se ubica a los 2650 a 3200 m.s.n.m, con precipitaciones intensas de diciembre a marzo y lluvias dispersas de menor intensidad en resto de los meses tiene una temperatura anual de 25.5° c”.

- **Subhúmedo semifrío**

“Altitudinalmente se ubica a los 3850 a 4600 m.s.n.m, con precipitaciones intensas de diciembre a marzo y lluvias dispersas de menor intensidad en resto de los meses tiene una temperatura anual de 9.30° c”.

- **Húmedo frío**

“Altitudinalmente se ubica a los 4400 a 5000 m.s.n.m, con precipitaciones intensas de diciembre a marzo y lluvias dispersas de menor intensidad en resto de los meses tiene una temperatura anual de 6.32° c”.

#### 4.1.7 Determinación del nivel de peligrosidad

Para el cálculo de nivel de peligrosidad de la quebrada Sahuanay, se usó el proceso de análisis jerárquico (PAJ), método desarrollado por matemático Thomas L. Saaty (1980), diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples mediante la construcción de un modelo jerárquico, que permite estructurar el problema de forma visual. (CENEPRED, 2015, p. 206)

**Tabla 52**

*Ponderación de parámetros y descriptores desarrollados por L. Saaty*

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
9	Absolutamente o muchísimo más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a...	Al comparar un elemento con el otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo
1/5	Menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro el primero se considera menos importante o preferido que el segundo
1/7	Mucho menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo
1/9	Absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplea cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores	

*Fuente: (CENEPRED, 2015, p. 207)*

la metodología que se utilizó para la evaluación del peligro fue del manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales 2da versión (CENEPRED).



**Tabla 53**

*Valores de índice aleatorio para diferentes “n” (aguarón y Moreno-jimenes,2011)*

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.555	1.570

*Fuente: (CENEPRED, 2015, p. 205)*

- **Recopilación y análisis de información**

Se recopiló información secundaria y primaria como cuestionarios, encuestas, inventario, tesis, estudios realizados por instituciones técnico-científicas como INGEMMET, SENAMHI, GORE Apurímac, entre otros, donde detallan información histórica, estudios de peligro, características físicas de la zona de estudio (cartografía, hidrología, pendiente, geomorfología, entre otros) para así identificar y evaluar el peligro que afecta al área que se analiza.

- **Parámetros de evaluación del fenómeno**

- a) Factores condicionantes**

1. Magnitud del movimiento de masas
2. Geomorfología
3. Geología
4. Pendiente del cauce
5. Frecuencia

- b) Factores desencadenantes**

1. Precipitación

- I. Análisis de los factores condicionantes**

- a) Parámetro: Magnitud del movimiento en masa**

la estimación de la magnitud se realiza en función de la velocidad del flujo de detritos y el volumen mismo, por tanto, es muy difícil de predecir e incluso medir;

“Cruden y Varnes (1996) utilizan la velocidad del movimiento como una variable de la magnitud utilizando el (tabla 2), el cálculo de las matrices ver anexo (7).

**Tabla 54**

*Matriz de comparación de pares para magnitud de movimientos en masa*

Magnitud del movimiento de masa	Extremadamente rápido (8 m/s)	Muy rápido (5 m/s)	Rápido (3 m/s)	Moderado (2 m/s)	Lenta a Extr. Lenta (< = 1 m/s)
Extremadamente rápido (8 m/s)	1.00	3.00	5.00	7.00	9.00
Muy rápido (5 m/s)	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
Rápido (3 m/s)	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Moderado (2 m/s)	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
Lenta a Extr. Lenta (< = 1 m/s)	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.79	4.68	9.53	16.33	25.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.061

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.054

**b) Parámetro: geomorfología**

**Tabla 55**

*Matriz de comparación de pares para geomorfología*

Geomorfología	Terraza aluvial	Ladera de quebrada	abanico aluvial	Cauce cubierto	Montaña modelada en roca sedimentaria
Terraza aluvial	1.00	3.00	4.00	6.00	8.00
Ladera de quebrada	0.33	1.00	3.00	4.00	6.00
abanico aluvial	0.25	0.33	1.00	3.00	4.00
Cauce cubierto	0.17	0.25	0.33	1.00	3.00
Montaña modelada en roca sedimentaria	0.13	0.17	0.25	0.33	1.00
SUMA	1.88	4.75	8.58	14.33	22.00
1/SUMA	0.53	0.21	0.12	0.07	0.05

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.059

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.053

**c) Parámetro: geología**

**Tabla 56**

*Matriz de comparación de pares para geología*

Geología	Depósitos Proluvial	Depósitos Coluviales	Depósitos aluviales	Depósitos Morrenicos	Grupo Mitú
Depósitos Proluvial	<b>1.00</b>	3.00	5.00	7.00	8.00
Depósitos Coluviales	0.33	<b>1.00</b>	3.00	5.00	7.00
Depósitos aluviales	0.20	0.33	<b>1.00</b>	3.00	5.00
Depósitos Morrenicos	0.14	0.20	0.33	<b>1.00</b>	3.00
Grupo Mitú	0.13	0.14	0.20	0.33	<b>1.00</b>
SUMA	1.80	4.68	9.53	16.33	24.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.10	0.06	0.04

*Fuente: Elaboración propia.*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.068

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.061

**d) Parámetro: Pendiente**

**Tabla 57**

*Matriz de comparación de pares para pendientes*

Pendiente del cauce	mayor a 35%	Entre 20 a 35%	entre 10-20%	entre 10 a 5%	Menor a 5%
mayor a 35%	<b>1.00</b>	2.00	4.00	5.00	7.00
entre 20 a 35%	0.50	<b>1.00</b>	2.00	4.00	5.00
entre 10-20%	0.25	0.50	<b>1.00</b>	2.00	4.00
entre 10 a 5%	0.20	0.25	0.50	<b>1.00</b>	2.00
Menor a 5%	0.14	0.20	0.25	0.50	<b>1.00</b>
SUMA	2.09	3.95	7.75	12.50	19.00
1/SUMA	0.48	0.25	0.13	0.08	0.05

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.018

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.017

**e) Parámetro: Frecuencia**

a.- De igual o mayor a 1 evento por precipitaciones extraordinarias o Fenómeno Climático en cualquier año.

b.- De igual o mayor a 4 eventos ordinarios por año en promedio

c.- De 2 a 3 eventos ordinarios por año en promedio

d.- De 1 a 2 eventos ordinarios por año en promedio

e.- De 0 eventos ordinarios por año.

**Tabla 58**

*Matriz de comparación de pares para frecuencia.*

Frecuencia	a	b	c	d	e
a	1.00	3.00	5.00	7.00	8.00
b	0.33	1.00	3.00	5.00	7.00
c	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
d	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00
e	0.13	0.14	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.80	4.68	9.53	16.33	24.00

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.068

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.061

**II. Análisis de factor desencadenante**

**a) Parámetro: precipitación**

**Tabla 59***Matriz de comparación de pares para precipitación*

Precipitación	Torrencial: >=60mm/h	Muy fuerte: >30<60 mm/h	Fuerte: >15<30 mm/h	Moderadas: >2<15	Debil: <=2
Torrencial: >=60mm/h	1.00	2.00	4.00	6.00	8.00
Muy fuerte: >30<60 mm/h	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
Fuerte: >15<30 mm/h	0.25	0.50	1.00	2.00	4.00
Moderadas: >2<15	0.17	0.25	0.50	1.00	2.00
Debil: <=2	0.13	0.17	0.25	0.50	1.00
SUMA	2.04	3.92	7.75	13.50	21.00
1/SUMA	0.49	0.26	0.13	0.07	0.05

*Fuente: Elaboración propia.*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)  
Índice de consistencia IC= 0.012  
Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.010

**III. Análisis de los parámetros condicionantes**

- Geomorfología
- Pendiente del cauce
- Geología

**Tabla 60***Matriz de comparación de pares para geomorfología, pendiente del cauce y geología*

Parámetro	Geomorfología	Pendiente del cauce	Geología
Geomorfología	1	3	5
Pendiente de cauce	0.33	1	3
Geología	0.20	0.33	1
Suma	1.53	4.33	9
1/Suma	0.65	0.23	0.11

*Fuente: Elaboración propia.*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)  
Índice de consistencia IC= 0.019  
Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.037

#### IV. Determinación del peligro

**Tabla 61**

*Factores de evaluación del peligro en la quebrada la quebrada Sahuanay*

Factores condicionantes (fc)				Factores desencadenantes (fd)	Intensidad	
Parámetro	Geomorfología	Pendiente del cauce	Geología	Precipitación	Magnitud del movimiento de masa	Frecuencia
<b>Descriptor 01</b>	Terraza aluvial	mayor a 35%	Depósitos Proluvial	Torrencial: $\geq 60$ mm/h	Extremadamente rápido (5 m/s)	De igual o mayor a 1 evento por precipitaciones extraordinarias o Fenómeno Climático en cualquier año.
<b>Descriptor 02</b>	Ladera de quebrada	entre 20 a 35%	Depósitos aluviales	Muy fuerte: $>30 < 60$ mm/h	Muy rápido (3 m/min)	De igual o mayor a 4 eventos ordinarios por año en promedio
<b>Descriptor 03</b>	abanico aluvial	entre 10-20%	Depósitos Coluviales	Fuerte: $>15 < 30$ mm/h	Rápido (1.8 m/h)	De 2 a 3 eventos ordinarios por año en promedio
<b>Descriptor 04</b>	Cauce cubierto	entre 10 a 5%	Depósitos Morrenicos	Moderadas: $>2 < 15$	Moderado (13 m/mes)	De 1 a 2 eventos ordinarios por año en promedio
<b>Descriptor 05</b>	Montaña modelada en roca sedimentaria	Menor a 5%	Grupo Mitú	Debil: $\leq 2$	Lenta a Extr. Lenta ( $\leq 1.6$ m/año)	De 0 eventos ordinarios por año.

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 62***Niveles de peligro*

NIVEL	RANGO
MUY ALTO	$0.263 \leq P \leq 0.486$
ALTO	$0.139 \leq P < 0.263$
MEDIO	$0.072 \leq P < 0.139$
BAJO	$0.039 \leq P < 0.072$

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 63***Estratificación de los niveles de peligro en el área de estudio*

Estratificación del peligro de flujo de detritos		
Nivel	Descripción	Rango
<b>PELIGRO MUY ALTO</b>	Geomorfológicamente corresponde a laderas empinadas, litológicamente compuesto por depósitos Morrenicos, el ancho y la altura del cauce es menor a los 5m, la pendiente es menor a 15%, se observa viviendas e infraestructura para riego, las precipitaciones son mayores a 60 mm/24hr.	$0.263 \leq P \leq 0.486$
<b>PELIGRO ALTO</b>	Geomorfológicamente corresponde a laderas de montaña, geológicamente compuesto por depósitos aluviales, la altura del cauce esta entre 5 a 7 m, el ancho está en 5 y 6 m, la pendiente se encuentra en 15 a 30%, se observa viviendas y áreas de cultivos, las precipitaciones esta entre 30 a 60 mm/hr.	$0.139 \leq P < 0.263$
<b>PELIGRO MEDIO</b>	Geomorfológicamente se sienta sobre laderas aluviales. geológicamente compuesto por depósitos coluviales, la altura del cauce esta entre 7 y 9 tiene una pendiente entre 20 y 35 %, tienen bosques mixtos y matorral misto, las precipitaciones están en 30 a 40 mm/24hr	$0.072 \leq P < 0.139$
<b>PELIGRO BAJO</b>	Corresponde a fondos de montañas, geológicamente compuesto por material del grupo Mitú, el cauce tiene una altura de 90 m y el ancho de 8 m, pendientes mayores a 35%, tiene matorral arbolados, las precipitaciones son menores a 30 mm/24hr.	$0.039 \leq P < 0.072$

*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.1.8 Determinación del nivel de vulnerabilidad**

Para el cálculo de nivel de vulnerabilidad de la quebrada Sahuanay, se usó el proceso de análisis jerárquico (PAJ), método desarrollado por matemático Thomas L. Saaty (1980), “diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples mediante la construcción de un modelo jerárquico, que permite estructurar el problema de forma visual”. (CENEPRED, 2015, p. 206)

Los niveles de vulnerabilidad en la zona donde influyó el peligro de flujo de detritos resultados del modelo de simulación numérica donde podría influir peligro, se analizó los factores de exposición, fragilidad y resiliencia respecto a la dimensión social y económica, la metodología del cálculo de la vulnerabilidad se realizó en campo mediante el levantamiento de información de fichas de encuestas de las 191 viviendas ubicados en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay donde nos muestra la simulación del flujo de detritos y también con la ayuda de información secundaria obtenida por el INEI del censo nacional del 2018.

##### **4.1.8.1 Análisis de vulnerabilidad**

###### **a) Exposición social**

Los parámetros considerados para el análisis de fragilidad social son:

- Antigüedad de edificaciones
- Grupo etario
- Condición del propietario

###### **b) Exposición económica**

Los parámetros considerados para el análisis de la fragilidad económica son:

- Material de construcción de muros



- Ubicación de viviendas
- Material de cobertura de techos

**c) Exposición ambiental**

Los parámetros utilizados para el análisis de la fragilidad ambiental son:

- Área de conservación del cauce
- Contaminación del cauce
- Factores antropogénicos de modificación del cauce

**4.1.8.1.1 Análisis de la fragilidad de dimensión social**

**a) Parámetro: Antigüedad de edificaciones**

**Tabla 64**

*Matriz de comparación de pares para antigüedad de edificaciones.*

Antigüedad de edificaciones	Mas de 20 años	Entre 10 a 20 años	De 6 a 10 años	Entre 1 a 5 años	Menos de un año
Menos de un año	1.00	3.00	4.00	6.00	8.00
Entre 1 a 5 años	0.33	1.00	2.00	3.00	5.00
De 6 a 10 años	0.25	0.50	1.00	2.00	3.00
Entre 10 a 20 años	0.17	0.33	0.50	1.00	2.00
Mas de 20 años	0.13	0.20	0.33	0.50	1.00
SUMA	1.88	5.03	7.83	12.50	19.00
1/SUMA	0.53	0.20	0.13	0.08	0.05

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia

Índice de consistencia

IC= 0.014

Relación de consistencia < 0.1

RC= 0.012

b) **Parámetro: Grupo etario**

**Tabla 65**

*Matriz de comparaciones de pares para grupo etario.*

Grupo etareo	De 0 a 5 años y mayores de 65 años	De 6 a 11 años	De 12 a 16 años	De 17 a 30 años	De 31 a 64 años
De 0 a 5 años y mayores de 65 años	<b>1.00</b>	2.00	3.00	5.00	7.00
De 6 a 11 años	0.50	<b>1.00</b>	2.00	3.00	5.00
De 12 a 16 años	0.33	0.50	<b>1.00</b>	2.00	3.00
De 17 a 30 años	0.20	0.33	0.50	<b>1.00</b>	2.00
De 31 a 64 años	0.14	0.20	0.33	0.50	<b>1.00</b>
SUMA	2.18	4.03	6.83	11.50	18.00
1/SUMA	0.46	0.25	0.15	0.09	0.06

*Fuente: Elaboración propia.*

- Hallando el índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.007

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.006

c) **Parámetro: Condición del propietario**

**Tabla 66**

*Matriz de comparación de pares para condiciones del propietario.*

Condición de propietario	Otros	Posesionario	Anticresis	Inquilino	Propietario inscrito en RRPP
Otros	<b>1.00</b>	2.00	4.00	8.00	9.00
Posesionario	0.50	<b>1.00</b>	3.00	6.00	7.00
Anticresis	0.25	0.33	<b>1.00</b>	5.00	4.00
Inquilino	0.13	0.17	0.20	<b>1.00</b>	3.00
Propietario inscrito en RRPP	0.11	0.14	0.25	0.33	<b>1.00</b>
SUMA	1.99	3.64	8.45	20.33	24.00
1/SUMA	0.50	0.27	0.12	0.05	0.04

*Fuente: Elaboración propia.*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.069

Relación de consistencia < 0.1

RC= 0.062

**d) Organizaciones vecinales**

**Tabla 67**

*Matriz de comparación de pares de organizaciones vecinales*

Organizaciones vecinales	No tiene organizaciones	Cuenta con líderes eventuales	Cuenta con junta vecinal	Cuenta con organizaciones informales	Cuenta con organizaciones debidamente formalizadas
No tiene organizaciones	1.00	5.00	5.00	5.00	9.00
Cuenta con líderes eventuales	0.20	1.00	3.00	3.00	5.00
Cuenta con junta vecinal	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Cuenta con organizaciones informales	0.20	0.33	0.33	1.00	3.00
Cuenta con organizaciones debidamente formalizadas	0.11	0.20	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.71	6.87	9.53	12.33	23.00
1/SUMA	0.58	0.15	0.10	0.08	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.096

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.086

e) **Actitud frente al riesgo**

**Tabla 68**

*Matriz de comparación de pares de componentes de actitud frente al riesgo*

Actitud frente al riesgo	Ninguna actitud a la comunidad	Indiferente al evento	Escasa actitud de apoyo	Poco conocimiento de medidas de acciones	Conocimiento de acciones y actividades ante el evento
Ninguna actitud a la comunidad	1.00	5.00	5.00	7.00	9.00
Indiferente al evento	0.20	1.00	3.00	3.00	5.00
Escasa actitud de apoyo	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
Poco conocimiento de medidas de acciones	0.14	0.33	0.33	1.00	3.00
Conocimiento de acciones y actividades ante el evento	0.11	0.20	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.65	6.87	9.53	14.33	23.00
1/SUMA	0.60	0.15	0.10	0.07	0.04

*Fuente: Elaboración propio*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.087

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.078

f) **Afiliación seguro salud**

**Tabla 69**

*Matriz de comparación de pares para los parámetros de afiliación seguro y salud.*

Afiliación Seguro de Salud	No cuenta con ningún tipo de seguro o apoyo	Cuenta con SIS Gratuito	Cuenta con SIS independiente	ESSALUD	Particular más ESSALUD
No cuenta con ningún tipo de seguro o apoyo	1.00	4.00	5.00	7.00	9.00
Cuenta con SIS Gratuito	0.25	1.00	3.00	3.00	8.00
Cuenta con SIS independiente	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00
ESSALUD	0.14	0.33	0.33	1.00	3.00
Particular más ESSALUD	0.11	0.13	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.70	5.79	9.53	14.33	26.00
1/SUMA	0.59	0.17	0.10	0.07	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.069

Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.062

**g) Análisis de los parámetros de fragilidad y resiliencia de la dimensión social**

**I Parámetros de fragilidad de la dimensión social**

**Tabla 70**

*Matriz de comparación de pares para la fragilidad de la dimensión social*

Parámetros fragilidad (dimensión social)	Antigüedad de edificaciones	Grupo Etareo	Condición del propietario
Antigüedad de edificaciones	1.00	3.00	5.00
Grupo Etareo	0.33	1.00	3.00
Condición del propietario	0.20	0.33	1.00
<b>SUMA</b>	1.53	4.33	9.00
<b>1/SUMA</b>	0.65	0.23	0.11

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.018

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.034

## II Parámetros de resiliencia de la dimensión social

**Tabla 71**

*Matrix de comparación de los parámetros de resiliencia social.*

Parámetros resiliencia (dimensión social)	Organizaciones vecinales	Actitud frente al riesgo	Afiliación de seguro salud
Organizaciones vecinales	1.00	3.00	5.00
Actitud frente al riesgo	0.33	1.00	3.00
Afiliación de seguro salud	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
	0.65	0.23	0.11

*Fuente: Elaboración propia.*

- Hallando el índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.018

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.034

### 4.1.8.1.2 Análisis de la fragilidad de la dimensión económica

#### a) Parámetro: Material de construcción de muros

**Tabla 72**

*Matriz de comparación de pares en material de construcción de muros*

Material de construcción de muros	Madera, Estera, triplex u otro	Adobe, Quincha	Ladrillo, bloqueta o sillar sin mortero	Ladrillo, bloqueta o sillar con mortero	Concreto armado
Madera, Estera, triplex u otro.	1.00	2.00	3.00	6.00	9.00
Adobe, Quincha.	0.50	1.00	2.00	3.00	3.00
Ladrillo, bloqueta o sillar sin mortero.	0.33	0.50	1.00	3.00	6.00
Ladrillo, bloqueta o sillar con mortero.	0.17	0.33	0.33	1.00	2.00
Concreto armado.	0.11	0.33	0.17	0.50	1.00
SUMA	2.11	4.17	6.50	13.50	21.00
1/SUMA	0.47	0.24	0.15	0.07	0.05

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.040

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.036

**b) Parámetro: Ubicación de viviendas**

**Tabla 73**

*Matriz de comparación de pares para ubicación de las viviendas.*

Ubicación de viviendas	Dentro de la zona de riesgo (alrededor del cauce)	En relleno (relleno de cauce)	Terraza fluvial baja	Terraza fluvial alta	Fuera de la zona de riesgo
Dentro de la zona de riesgo (alrededor del cauce)	1.00	3.00	3.00	7.00	9.00
En relleno (relleno de cauce)	0.33	1.00	3.00	3.00	5.00
Terraza fluvial baja	0.33	0.33	1.00	5.00	5.00
Terraza fluvial alta	0.14	0.33	0.20	1.00	3.00
Fuera de la zona de riesgo	0.11	0.20	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.92	4.87	7.40	16.33	23.00
1/SUMA	0.52	0.21	0.14	0.06	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.090

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.080

**c) Parámetro: Material de cobertura de techo**

**Tabla 74**

*Matriz de comparación de pares para cobertura de techo.*

Material de cobertura o techo	Triplay, otros sin estructuras	Calamina sin estructura	Riel con sillar, calamina con estructura	Aligerado	Concreto armado
Triplay, otros sin estructuras	1.00	3.00	3.00	7.00	9.00
Calamina sin estructura	0.33	1.00	3.00	3.00	6.00
Riel con sillar, calamina con estructura	0.33	0.33	1.00	5.00	5.00
Aligerado	0.14	0.33	0.20	1.00	3.00
Concreto armado	0.11	0.17	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.92	4.83	7.40	16.33	24.00
1/SUMA	0.52	0.21	0.14	0.06	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.086

Relación de consistencia < 0.04

RC= 0.077

**d) Análisis de los parámetros de fragilidad de la dimensión económica**

**Tabla 75**

*Matriz de comparación de pares para la dimensión social.*

Parámetros fragilidad (dimensión económica)	Material de construcción de muros	Ubicación de viviendas	Material de cobertura o techo
Material de construcción de muros	1.00	3.00	5.00
Ubicación de viviendas	0.33	1.00	3.00
Material de cobertura o techo	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia

IC= 0.018

Relación de consistencia < 0.04

RC= 0.034



#### 4.1.8.1.3 Análisis de la resiliencia de la dimensión económica

##### a) Parámetro: Ingresos económicos por familia

**Tabla 76**

*Matriz de comparación de pares para ingresos económicos por familia.*

Ingresos económicos por familia	Sin ingresos	Ingreso menor a sueldo mínimo	Ingreso entre S/ 1000 a S/.2000,00	Ingreso entre S/. 2000,00 a S/,3000,00	Ingreso entre S/. 4000,00 a más
Sin ingresos	<b>1.00</b>	5.00	5.00	7.00	9.00
Ingreso menor a sueldo mínimo	0.20	<b>1.00</b>	3.00	3.00	5.00
Ingreso entre S/ 1000 a S/.2000,00	0.20	0.33	<b>1.00</b>	3.00	5.00
Ingreso entre S/. 2000,00 a S/,3000,00	0.14	0.33	0.33	<b>1.00</b>	3.00
Ingreso entre S/. 4000,00 a más	0.11	0.20	0.20	0.33	<b>1.00</b>
SUMA	1.65	6.87	9.53	14.33	23.00
1/SUMA	0.60	0.15	0.10	0.07	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.087

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.078

##### b) Parámetro: Estado de conservación de vivienda

**Tabla 77**

*Matriz de comparación de pares para ingresos económicos por familia.*

Estado de conservación de vivienda	Muy mala	Mala	Regular	Buena	Muy buena
Muy mala	<b>1.00</b>	5.00	5.00	7.00	9.00
Mala	0.20	<b>1.00</b>	3.00	3.00	5.00
Regular	0.20	0.33	<b>1.00</b>	3.00	5.00
Buena	0.14	0.33	0.33	<b>1.00</b>	3.00
Muy buena	0.11	0.20	0.20	0.33	<b>1.00</b>
SUMA	1.65	6.87	9.53	14.33	23.00
1/SUMA	0.60	0.15	0.10	0.07	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 2.885

Relación de consistencia < 0.1

RC= 2.587

**c) Parámetro: Ocupación de lote**

**Tabla 78**

*Matriz de comparación de pares para ocupación de lote.*

Ocupación de lote	Vivienda habitación (al menos una familia vive)	Vivienda habitación (vive esporádicamente)	Almacén, bodega	Terreno con cerco perimétrico sin habitación vivienda	Terreno sin construcción
Vivienda habitación (al menos una familia vive)	<b>1.00</b>	3.00	5.00	7.00	9.00
Vivienda habitación (vive esporádicamente)	0.33	<b>1.00</b>	3.00	5.00	8.00
Almacén, bodega	0.20	0.33	<b>1.00</b>	3.00	7.00
Terreno con cerco perimétrico sin habitación vivienda	0.14	0.20	0.33	<b>1.00</b>	3.00
Terreno sin construcción	0.11	0.13	0.14	0.33	<b>1.00</b>
SUMA	1.79	4.66	9.48	16.33	28.00
1/SUMA	0.56	0.21	0.11	0.06	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia

IC= 0.653

Relación de consistencia < 0.1

RC= 0.585

**d) Análisis de los parámetros de resiliencia de la dimensión económica.**

**Tabla 79**

*Matriz de comparación de pares para la resiliencia económica.*

Parámetros resiliencia (dimensión económica)	Ingresos económicos por familia	Estado de conservación de vivienda	Ocupación de lote
Ingresos económicos por familia	<b>1.00</b>	3.00	5.00
Estado de conservación de vivienda	0.33	<b>1.00</b>	3.00
Ocupación de lote	0.20	0.33	<b>1.00</b>
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.018

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.034

#### 4.1.8.1.4 Análisis de la fragilidad de la dimensión ambiental

##### a) Parámetro: Contaminación del cauce

- Matriz de comparación de pares

**Tabla 80**

*Matriz de comparación de pares para área de conservación del cauce.*

Área de conservación del Cauce	Suelo desnudo	Suelo con poca vegetación	Suelo con vegetación	Suelo con árboles	Áreas forestadas y corredores ecológicos
Suelo desnudo	<b>1.00</b>	2.00	4.00	5.00	9.00
Suelo con poca vegetación	0.50	<b>1.00</b>	2.00	3.00	3.00
Suelo con vegetación	0.25	0.50	<b>1.00</b>	3.00	6.00
Suelo con árboles	0.20	0.33	0.33	<b>1.00</b>	2.00
Áreas forestadas y corredores ecológicos	0.11	0.33	0.17	0.50	<b>1.00</b>
SUMA	2.06	4.17	7.50	12.50	21.00
1/SUMA	0.49	0.24	0.13	0.08	0.05

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.050

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.045

b) **Parámetro: Contaminación del cauce**

**Tabla 81**

*Matriz de comparación de pares para contaminación del cauce.*

Contaminación cauce	Botaderos dentro del cauce	Botaderos en las riberas	Botaderos	Mayor a 5 y menor a 10 metros	Mayor a 10 metros
Botaderos dentro del cauce	<b>1.00</b>	3.00	3.00	7.00	9.00
Botaderos en las riberas	0.33	<b>1.00</b>	3.00	3.00	5.00
Botaderos	0.33	0.33	<b>1.00</b>	5.00	5.00
Mayor a 5 y menor a 10 metros	0.14	0.33	0.20	<b>1.00</b>	3.00
Mayor a 10 metros	0.11	0.20	0.20	0.33	<b>1.00</b>
SUMA	1.92	4.87	7.40	16.33	23.00
1/SUMA	0.52	0.21	0.14	0.06	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.090

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.080

c) **Parámetro: Factores antropogénicos de modificación de cauce**

**Tabla 82**

*Matriz de comparación de pares para factores antropogénicos de modificación del cauce.*

Factores antropogénicos de modificación de cauce	Construcción de viviendas en el cauce natural	Construcción de viviendas en los alrededores del cauce natural	Botadero de basura doméstica en el cauce natural	Construcción de pontones, alcantarillas u otra obra de arte sin cálculo adecuado	Cauce natural sin modificación y ocupación
Construcción de viviendas en el cauce natural	<b>1.00</b>	3.00	3.00	5.00	9.00
Construcción de viviendas en los alrededores del cauce natural	0.33	<b>1.00</b>	3.00	3.00	5.00
Botadero de basura doméstica en el cauce natural	0.33	0.33	<b>1.00</b>	5.00	5.00
Construcción de pontones, alcantarillas u otra obra de arte sin cálculo adecuado	0.20	0.33	0.20	<b>1.00</b>	3.00
Cauce natural sin modificación y ocupación	0.11	0.20	0.20	0.33	<b>1.00</b>
SUMA	1.98	4.87	7.40	14.33	23.00
1/SUMA	0.51	0.21	0.14	0.07	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.095

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.085

**d) Análisis de los parámetros de fragilidad de la dimensión ambiental**

**Tabla 83**

*Matriz de comparación de pares para fragilidad ambiental.*

Parámetros fragilidad (dimensión ambiental)	Area de conservación del cauce	Contaminación cauce	Factores antropogénicos de modificación de cauce
Area de conservación del cauce	1.00	3.00	5.00
Contaminación cauce	0.33	1.00	3.00
Factores antropogénicos de modificación de cauce	0.20	0.33	1.00
<b>SUMA</b>	<b>1.53</b>	<b>4.33</b>	<b>9.00</b>
<b>1/SUMA</b>	<b>0.65</b>	<b>0.23</b>	<b>0.11</b>

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.018

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.034

**4.1.8.1.5 Análisis de la resiliencia de la dimensión ambiental**

**a) Parámetro: Centros de atención de emergencias ante el evento**

**Tabla 84***Matriz de comparación de pares para centros de atención de emergencias.*

Centros de atención de emergencia ante el evento	Acciones de Defensa Civil	Centro de Salud (Postas, Clínicas, Hospital)	Estación de bomberos	Policía Nacional	Fiscalía
Acciones de Defensa Civil	1.00	2.00	3.00	5.00	9.00
Centro de Salud (Postas, Clínicas, Hospital)	0.50	1.00	2.00	3.00	3.00
Estación de bomberos	0.33	0.50	1.00	3.00	6.00
Policía Nacional	0.20	0.33	0.33	1.00	2.00
Fiscalía	0.11	0.33	0.17	0.50	1.00
SUMA	2.14	4.17	6.50	12.50	21.00
1/SUMA	0.47	0.24	0.15	0.08	0.05

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.025

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.023

**b) Parámetro: Conservación del entorno ambiental.**

**Tabla 85***Matriz de comparación de pares para conservación de entorno ambiental.*

conservación del entorno ambiental	Existe focos de contaminación en todo el tramo	Reducidas actividades de control de calidad ambiental	Manejo y control puntual de residuos municipales y de construcción	Medidas de preservación de calidad ambiental	No existe focos de contaminación
Existe focos de contaminación en todo el tramo	<b>1.00</b>	2.00	3.00	5.00	9.00
Reducidas actividades de control de calidad ambiental	0.50	<b>1.00</b>	2.00	3.00	3.00
Manejo y control puntual de residuos municipales y de construcción	0.33	0.50	<b>1.00</b>	3.00	6.00
Medidas de preservación de calidad ambiental	0.20	0.33	0.33	<b>1.00</b>	2.00
No existe focos de contaminación	0.11	0.33	0.17	0.50	<b>1.00</b>
SUMA	2.14	4.17	6.50	12.50	21.00
	0.47	0.24	0.15	0.08	0.05

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.235  
 Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.211

**c) Parámetro: Conocimiento de normativa ambiental**

**Tabla 86**

*Matriz de comparación de pares para conocimiento de la normativa ambiental.*

Conocimiento de normativa ambiental	La población y autoridades desconocen la normativa (a)	Solo la autoridad conoce la normativa (b)	La población, autoridades, organizaciones conocen la normativa y la cumplen parcialmente (c)	Población, autoridades, organizaciones conocen la normativa y la cumplen regularmente (d)	Población, autoridades, organización conocen la normativa, cumpliendo en su totalidad (e)
a	1.00	2.00	3.00	4.00	9.00
b	0.50	1.00	2.00	4.00	7.00
c	0.33	0.50	1.00	3.00	6.00
d	0.25	0.25	0.33	1.00	5.00
e	0.11	0.14	0.17	0.20	1.00
SUMA	2.19	3.89	6.50	12.20	28.00
1/SUMA	0.46	0.26	0.15	0.08	0.04

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.052  
 Relación de consistencia < 0.1 RC= 0.046

**d) Análisis de la resiliencia de la dimensión ambiental**

**Tabla 87**

*Matriz de comparación de pares para la resiliencia ambiental.*

Parámetros resiliencia (dimensión ambiental)	Centros de atención de emergencia ante eventos	Conservación del entorno ambiental	Conocimiento de normatividad ambiental
Centros de atención de emergencia ante eventos	1.00	3.00	5.00
Conservación del entorno ambiental	0.33	1.00	3.00
Conocimiento de normatividad ambiental	0.20	0.33	1.00
SUMA	1.53	4.33	9.00
1/SUMA	0.65	0.23	0.11

*Fuente: Elaboración propia*

- Índice de consistencia (IC) y la relación de consistencia (RC)

Índice de consistencia IC= 0.018

Relación de consistencia < 0.04 RC= 0.034

#### 4.1.8.2 Determinación de la vulnerabilidad

**Tabla 88**

*Niveles de vulnerabilidad.*

NIVEL	RANGO		
MUY ALTO	0.227	≤ V ≤	0.491
ALTO	0.162	≤ V <	0.227
MEDIO	0.078	≤ V <	0.162
BAJO	0.043	≤ V <	0.078

*Fuente: Elaboración propia*



**Tabla 89**

*Estratificación de los niveles de vulnerabilidad.*

Estratificación de la vulnerabilidad por flujo de detritos		
NIVELES DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCION	RANGO
VULNERABILIDAD MUY ALTA	Las edificaciones presentan un deterioro tal que hacen presumir un colapso. La textura del suelo es gruesa. Del 80 al 100% de los pobladores incumplen el procedimiento constructivo de acuerdo a la normatividad vigente. La población no tiene organizaciones. La población no tiene ninguna actitud hacia la comunidad. Existe desconocimiento sobre las causas y consecuencias de los desastres.	$0.227 \leq V \leq 0.491$
VULNERABILIDAD ALTA	Las edificaciones no reciben mantenimiento regular, cuya estructura acusa deterioro que la comprometen, aunque sin peligro de desplome y los acabados y instalaciones tienen visibles desperfectos. La textura del suelo es moderadamente gruesa. Del 60 al 80% de los pobladores incumplen el procedimiento constructivo de acuerdo a la normatividad vigente. La población cuenta con líderes eventuales. La comunidad es indiferente a los eventos. Existe escaso conocimiento sobre las causas y consecuencias de los desastres.	$0.162 \leq V < 0.227$
VULNERABILIDAD MEDIA	Las edificaciones que reciben mantenimiento esporádico, cuyas estructuras no tienen deterioro y si lo tienen no lo comprometen y es subsanable, o en los acabados o instalaciones tienen deterioro visible debido al mal uso. La textura del suelo es medianamente gruesa. Del 40 al 60% de los pobladores incumplen el procedimiento constructivo de acuerdo a la normatividad vigente. La población cuenta con junta vecinal. La comunidad tiene escasa actitud de apoyo. Existe un regular conocimiento sobre las causas y consecuencias de los desastres.	$0.078 \leq V < 0.162$
VULNERABILIDAD BAJA	Las edificaciones reciben mantenimiento permanente y solo tienen ligeros deterioros en los acabados debido al uso normal. La textura del suelo es moderadamente fina. Del 20 al 40% de los pobladores incumplen el procedimiento constructivo de acuerdo a la normatividad vigente. La población cuenta con organizaciones. La comunidad tiene poco conocimiento de medidas y acciones que debe tomar frente al riesgo. La mayoría de la población tiene conocimiento sobre las causas y consecuencias de los desastres.	$0.043 \leq V < 0.078$

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.9 Determinación del nivel de riesgo

El cálculo del riesgo es la multiplicación de los valores del peligro con los valores de la vulnerabilidad lo cual se representa con la siguiente ecuación.

$$R = f (P \times V)$$

**Tabla 90**

*Cálculo del riesgo.*

Valor de peligro (P)	Valor de la vulnerabilidad (V)	Riesgo (P*V=R)
0.486	0.491	0.238
0.263	0.227	0.060
0.139	0.162	0.023
0.072	0.078	0.006
0.039	0.043	0.002

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 91**

*Niveles de riesgo.*

NIVEL	RANGO				
<b>MUY ALTO</b>	0.060	<	R	≤	0.238
<b>ALTO</b>	0.023	<	R	≤	0.060
<b>MEDIO</b>	0.006	<	R	≤	0.023
<b>BAJO</b>	0.002	≤	R	≤	0.006

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 92**

*Estratificación de los niveles de riesgo por flujo de detritos.*

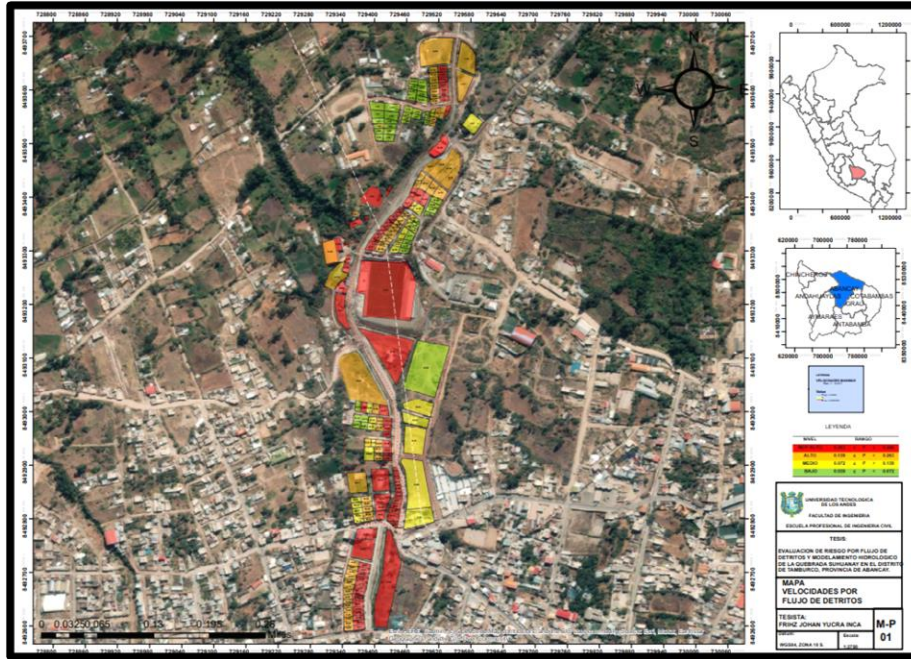
Estratificación de los niveles de riesgo por flujo de detritos		
<b>MUY ALTO</b>	Magnitud de movimiento en masa extremadamente rápido (5 m/s), geomorfológicamente corresponde a laderas empinadas, geológicamente compuestos por depósitos Morrenicos, el ancho y la altura del cauce es menor a los 5 m, la pendiente mayor a 15%, con precipitaciones torrenciales mayores a 60 mm/h. Las viviendas presentan más de 20 años de antigüedad, no cuentan con licencia de construcción; grupo etareo de 0 a 5 años y mayores a 65 años, con condición de propietario, material de construcción de pared adobe o tapia y pared de ladrillo o bloque de cemento, ubicación de las viviendas se encuentran a menos de 5 m y otros en el mismo cauce, material de cobertura de techo de teja andina y concreto armado, estado de conservación de viviendas muy mala, ocupaciones del lote como vivienda habitación al menos 2 a 3 familias vive, contaminación del cauce (botadero dentro y a los alrededores del cauce), conservación del entorno ambiental (existen focos de contaminación en todo el tramo), población desconoce temas de riesgos de desastres los familias tiene ingresos económicos menores a 1000 soles.	<b>0.060 &lt; R ≤ 0.238</b>
<b>ALTO</b>	Magnitud de movimiento en masa rápido (3 m/min), geomorfológicamente corresponde a laderas de montaña, geológicamente compuestos por depósitos aluviales, el ancho y la altura del cauce son mayores 5 m, la pendiente mayor a 15 a 30%, con precipitaciones torrenciales mayores a 60 mm/h. Las viviendas presentan de 10 a 20 años de antigüedad, no cuentan con licencia de construcción; grupo etareo de 6 a 15 años, con condición de propietario, material de construcción de pared adobe o tapia y pared de ladrillo o bloque de cemento, ubicación de las viviendas se encuentran a 5 m del cauce, material de cobertura de techo de teja andina y concreto armado, estado de conservación de viviendas mala, ocupaciones del lote como vivienda habitación al menos 2 a 3 familias vive, contaminación del cauce (botadero alrededores del cauce), conservación del entorno ambiental (existen focos de contaminación en todo el tramo), los familias tiene ingresos económicos está en el rango de 1000 a 2000 soles.	<b>0.023 &lt; R ≤ 0.60</b>
<b>MEDIO</b>	Magnitud de movimiento en masa medio (1.8 m/h), geomorfológicamente se asienta sobre laderas de aluviales, geológicamente compuestos por depósitos coluviales, el ancho y la altura del cauce son mayores 9 m, tiene bosques mixtos y matorral mixto, la pendiente mayor a 35 a 40%, con precipitaciones del 30 a 40 mm/h. Las viviendas presentan de 6 a 10 años de antigüedad, no cuentan con licencia de construcción; grupo etareo de 16 a 24 años, con condición de propietario, material de construcción de pared adobe o tapia y pared de ladrillo o bloque de cemento, ubicación de las viviendas se encuentran a 5 m del cauce, material de cobertura de techo de teja andina y concreto armado, estado de conservación de viviendas regular, ocupaciones del lote como vivienda habitación al menos 2 a 3 familias vive, contaminación del cauce (botadero alrededores del cauce), conservación del entorno ambiental (existen focos de contaminación en todo el tramo), los familias tiene ingresos económicos está en el rango de 2000 a 3000 soles.	<b>0.006 &lt; R ≤ 0.023</b>
<b>BAJO</b>	Magnitud de movimiento en masa bajo (13m/mes), geomorfológicamente corresponde a montañas, geológicamente compuestos por materiales del grupo Mitú, el ancho y la altura del cauce supera los 9 m, la pendiente mayor 40%, con precipitaciones menores 30 mm/h. Las viviendas presentan de 6 años de antigüedad, no cuentan con licencia de construcción; grupo etareo de 26 a 64 años, con condición de propietario, material de construcción de pared adobe o tapia y pared de ladrillo o bloque de cemento, ubicación de las viviendas se encuentran a mayor de 7 m del cauce, concreto armado, estado de conservación de viviendas buena, ocupaciones del lote como vivienda habitación al menos 3 a 4 familias vive, contaminación del cauce (botadero alrededores del cauce), conservación del entorno ambiental (existen focos de contaminación en todo el tramo), los familias tiene ingresos económicos está en el rango de 3000 a 4000 soles.	<b>0.002 &lt; R ≤ 0.006</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Mapa de riesgo**

**Imagen 53**

*Mapa del nivel de riesgo de la quebrada Sahuanay parte baja.*



*Fuente: Elaboración propia.*

**Imagen 54**

*Mapa del nivel de riesgo de la quebrada Sahuanay parte alta.*



*Fuente: Elaboración propia.*

## 4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Evaluación de riesgo por flujo de detritos**

**Tabla 93**

*Análisis comparativo para la evaluación de riesgo por flujo de detritos*

Zona de estudio	Informe Científico (Municipalidad provincial de Abancay)	Análisis comparativo
La evaluación de riesgo por flujo de detritos en la urbanización Mauacalle Sahuanay tiene rango de riesgo, las viviendas que se encuentran a menos 20 metros del cauce del canal se encuentran en MUY ALTO RIESGO con valores de $0.06 < R < 0.038$ , ALTO RIESGO con valores de $0.230 < R < 0.060$ , MEDIO RIESGO con valores $0.006 < R < 0.023$ y Bajo con valores $0.002 < R < 0.006$ . ver tabla (92)	La evaluación de riesgo se consideró desde la urbanización el ARCO con 4 de noviembre dando resultados de MUY ALTO RIESGO con valores de $0.067 < R < 0.233$ , ALTO RIESGO con valores de $0.016 < R < 0.067$ , MEDIO RIESGO con valores $0.015 < R < 0.016$ y Bajo con valores $R < 0.015$ .	Ambas investigaciones coinciden en la ocurrencia de deslizamiento de flujo de detritos en cada uno de su ámbito de estudio por precipitaciones intentases y se concentran en las áreas donde se generan seste tipo de movimiento en masa

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Simulación del flujo de detritos**

La simulación del flujo de detritos en la zona de estudio se evidencia que el procesamiento numérico de datos y parámetros, existen un riesgo considerable de afectación a la población en estudio (C.P.Mauacalle - Sahuanay) ante la ocurrencia de una probable fenómeno natural, en relación con los resultados obtenidos de la investigación de Villasante denominado “evaluación de niveles de riesgo por flujo de detritos en la quebrada Chinchiña localidad Pacsica, distrito Justo Apu Sahuaraura, Aymaraes, Apurímac, 2021”

**Tabla 94***Análisis comparativo de simulación de flujo de detritos.*

Zona de estudio	Villasante, 2021	Análisis comparativo
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación del método de simulación numérica mediante el programa HEC-RAV-6.1 para la simulación del flujo de detritos, se considerando imágenes satelitales (Alos Palsar) ráster de 12.5 metros, para el procesamiento de la delimitación de la microcuenca Sahuanay con el software HEC-HMS v 4.10, en donde se exporta al software ACRPmap v 10.5, una vez realizado en la delimitación, realizamos el cálculo de la precipitación máxima de 24 horas con un periodo de retorno de 100 años para la obtención de las curvas IDF para luego determinar el caudal máximo con el software HEC-HMS lo cual nos pide un dato de entrada que es el hietograma de precipitación máxima de 24 horas, una vez obtenidos dicha información procesamos dando como resultados caudales máximo de 24.3 m<sup>3</sup>/seg, las velocidades del flujo de detritos llevan valores máximo de 8 m/seg.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación del modelo numérico del flujo de detritos lo realizaron mediante el software FLO-2D, utilizaron un levantamiento con dron, el caudal para un tiempo de retorno de 100 años es de 62.53 m<sup>3</sup>/seg, las velocidades del flujo de detritos llegan valores a 18.4 m/s.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ambas investigaciones coinciden en la ocurrencia de deslizamiento de flujo de detritos en cada uno de su ámbito de estudio por precipitaciones intentases y se concentran en las áreas donde se generan este tipo de movimiento en masa.</li> <li>las velocidades de la simulación numérica de flujo de detritos en los dos ámbitos, sus velocidades son muy diferentes, teniendo en cuenta la clasificación de Supúlveda 1998 que los flujos de detritos llevan a los 12 m/s como velocidades máximas del flujo de detritos, en donde las velocidades de Villazante superan el rango establecido por Supúlveda.</li> </ul>

*Fuente: Elaboración propia*

- Determinación de peligrosidad**

El análisis de peligrosidad ante la ocurrencia de un flujo de detritos en la zona de estudio se evidencia que existen un riesgo considerable de afectación a la población en estudio (C.P.Mauacalle y Villa Periodista) ante la ocurrencia de una probable fenómeno natural, en relación con los resultados obtenidos con el informe técnico científico local denominado "Cálculo del nivel de riesgo por flujo

de detritos (huayco) en las urbanizaciones y sectores de Abancay de la quebrada Chinchichaca, para cumplir la meta 27, actualización de la información para la gestión del riesgo de desastres para ciudades principales tipo B”, perteneciente a la Municipalidad Provincial de Abancay elaborado por la sub gerencia de gestión de riesgos de desastres.

**Tabla 95**

*Análisis comparativo peligrosidad.*

Zona de estudio	Informe Científico (Municipalidad provincial de Abancay)	Análisis comparativo
Las laderas empinadas compuesta por depósitos Morrenicos con alturas menor a 5m cuya pendiente es menor a 15% lo cual se observa viviendas en riesgo MUY ALTO $0.263 < R < 0.486$ . con precipitaciones que son mayores a 60 mm/ 24hr con un periodo de retorno de 100 años.	Las laderas empinadas compuesta por depósitos Morrenicos con alturas menor a 5m cuya pendiente es menor a 10% lo cual se observa viviendas en riesgo MUY ALTO $0.234 < R < 0.457$ . con precipitaciones que son mayores a 40 y 50 mm/ 24hr con un periodo de retorno de 100 años.	Ambas investigaciones coinciden en la ocurrencia de deslizamiento de flujo de detritos en cada uno de su ámbito de estudio por precipitaciones intentases y se concentran en las áreas donde se generan seste tipo de movimiento en masa

*Fuente: Elaboración propia*

- **Análisis de la vulnerabilidad**

El proceso de análisis de la vulnerabilidad en la zona de estudio se desarrolló bajo la metodología del CENEPRED, como organismo para su desarrollo y asesoramiento de las acciones y procedimientos que permiten el análisis de la vulnerabilidad esta investigación será comparada frente al informe de “Calculo del nivel de riesgo por flujo de detritos (huayco) en las urbanizaciones y sectores de Abancay de la quebrada Chinchichaca, para cumplir la meta 27, actualización de la información para la gestión del riesgo de desastres para ciudades principales tipo B”.

**Tabla 96****Análisis comparativo de la vulnerabilidad por flujo de detritos.**

Zona de estudio	Informe Científico (Municipalidad provincial de Abancay)	Análisis comparativo
<p>Para la zona de estudio se analizó la vulnerabilidad considerando los componentes de exposición, fragilidad y resiliencia para ambos factores, no obstante, este análisis permite identificar las zonas de impacto (cantidad de viviendas), las condiciones de desventaja y recuperación o respuesta frente a un peligro. En cuanto a los resultados genero cuatro niveles de estratificación empleando la escala de Saaty son las siguientes.</p> <p>Muy alto <math>0.263 \leq P \leq 0.486</math></p> <p>Alto <math>0.139 \leq R &lt; 0.263</math></p> <p>Medio <math>0.072 \leq R &lt; 0.139</math></p> <p>Bajo <math>0.039 \leq R &lt; 0.072</math> (ver tabla 85)</p>	<p>El informe elaborado por la municipalidad de Abancay, en su análisis de vulnerabilidad para el ámbito de la quebrada Sahuanay se desarrolló con los factores de fragilidad y resiliencia considerando los componentes sociales y económicos para ambos factores, teniendo en cuenta que dicho informe de análisis permita cuantificar las viviendas afectadas directamente y la cantidad de habitantes ante la ocurrencia de un flujo de detritos. los resultados son los siguientes.</p> <p>Muy alto <math>0.067 \leq R \leq 0.233</math></p> <p>Alto <math>0.016 \leq R &lt; 0.067</math></p> <p>Medio <math>0.015 \leq P &lt; 0.016</math></p> <p>Bajo <math>P &lt; 0.015</math></p>	<p>Ambos estudios obtuvieron como resultado un nivel de vulnerabilidad MUY ALTA a las viviendas que se encuentran dentro y alrededor del cauce de la quebrada.</p> <p>Ambos autores desarrollaron con la misma metodología del CENEPRED, por ello se aplicó la misma estratificación de peligrosidad y vulnerabilidad. Existe un mismo criterio en ambas investigaciones en considerar que cada ámbito de estudio o área de influencia presenta características diferentes.</p>

*Fuente: Elaboración propia*

### 4.3 Prueba de hipótesis

#### ***Hipótesis específicas***

#### **a) Para el modelamiento de simulación numérica de flujo de detritos.**

Para poder estimar la magnitud del flujo de detritos Cruden y Varnes (1996), utilizan la velocidad de movimiento como una variable de la magnitud del fenómeno natural, en esta investigación se utilizó las velocidades de la simulación del modelamiento del flujo de detritos para estimar el nivel de riesgo a lo largo y a los alrededores de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco ver (anexo 8).



**Tabla 97**

*Muestra para la simulación numérica de la velocidad del flujo de detritos.*

Datos		
Población	viviendas	191
Velocidades (m/s)	Media <sub>(VP)</sub>	$\mu_0 = 5.73$ m/s
Muestra	viviendas	35
Velocidades (m/s)	Media <sub>(VM)</sub>	$\bar{x} = 5.70$ m/s
Desviación estándar	$\delta$ : 0.96	
Nivel de confianza	95 %	
Nivel de significancia	5 %	
Varianza	0.922	
Desviación estándar	0.96	
Grados de libertad	2	
Valor de control ( $t_c$ )	-1.64	

*Fuente: Elaboración propia.*

**Hi: ( $\mu < \mu_0$ ):** La aplicación del modelo de simulación numérica de flujo de detritos **facilita** la identificación del peligro y de la vulnerabilidad de los elementos expuesto a lo largo del cauce del canal de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco en la urbanización Maucacalle Sahuanay.

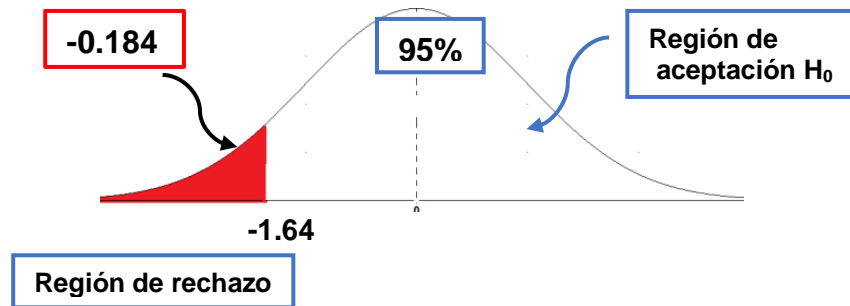
**H0: ( $\mu \geq \mu_0$ ):** La aplicación del modelo de simulación numérica de flujo de detritos **no facilita** la identificación del peligro y de la vulnerabilidad de los elementos expuesto a lo largo del cauce del canal de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco en la urbanización Maucacalle Sahuanay.

$$Z_p = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\delta}{\sqrt{n}}} \quad \text{cuando } n > 30$$

$$Z_p = \frac{5.70 - 5.73}{\frac{0.96}{\sqrt{35}}} = -0.184$$

### Gráfico 19

Elaboración de la campana de Gauss para el 95%



Fuente: Elaboración propia.

**Decisión:** Se observa que el valor estadístico de  $Z_t$  está fuera de la región de aceptación, entonces se rechaza la hipótesis nula  $H_0: (\mu \geq \mu_0)$ , por otro lado, Se rechaza la hipótesis nula, por otro lado, La aplicación del modelo de simulación numérica de flujo de detritos **facilita** la identificación del peligro y de la vulnerabilidad de los elementos expuesto a lo largo del cauce del canal de la quebrada Sahuanay limitante en el distrito de Tamburco en la urbanización Maucacalle Sahuanay, lo que facilito la generación de mapas de peligrosidad y vulnerabilidad de los elementos expuestos por un flujo de detritos usando la metodología descrita del CENEPRED.

#### b) Para la peligrosidad

##### Factores desencadenantes – Precipitación

**Hi: ( $\mu > \mu_0$ ):** La ocurrencia de lluvias extremas e continuas que se presentan en los meses de diciembre a abril **influye** en la generación de un flujo de detritos en la quebrada Sahuanay en la urbanización C.P. Maucacalle Sahuanay en el distrito de Tamburco.

**H<sub>0</sub>: ( $\mu \leq \mu_0$ ):** La ocurrencia de lluvias extremas y continuas que se presentan en los meses de diciembre a abril **no influye** en la generación de un flujo de detritos

en la quebrada Sahuanay en la urbanización C.P. Maucacalle Sahuanay en el distrito de Tamburco.

**Tabla 98**

*Datos para la peligrosidad - precipitación*

Datos		
Población	Precipitación 24 horas	252 datos
	Media (PP)	$\mu_0 = 67.97$ mm
Muestra	Precipitación 24 horas	21 datos
	Media (MM)	$\bar{x} = 183.62$ mm
Desviación estándar	$\delta: 30.05$	
Nivel de confianza	95 %	
Nivel de significancia	5 %	
Varianza	903	
Grados de libertad	2	
Valor de control ( $t_c$ )	1.725	

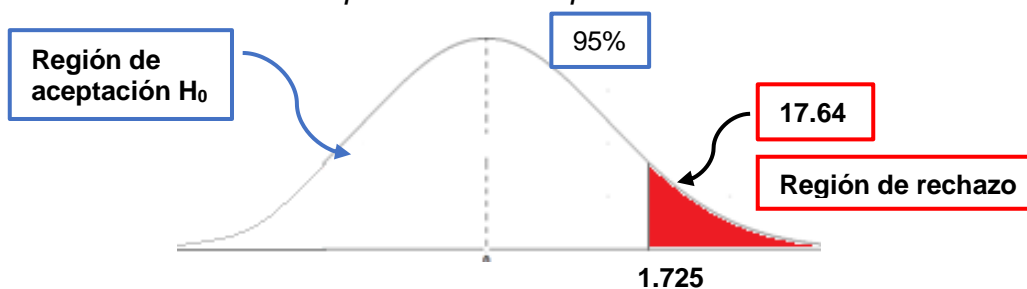
*Fuente: Elaboración propia.*

$$Z_t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\delta}{\sqrt{n}}} \quad \text{cuando } n < 30$$

$$Z_t = \frac{183.613 - 67.97}{\frac{30.048}{\sqrt{21}}} = 17.64$$

**Gráfico 20**

*Elaboración de la campana de Gauss para el 95%*



*Fuente: Elaboración propia.*

**Decisión:** Se observa que el valor estadístico de  $Z_t$  está fuera de la región de aceptación, entonces se rechaza la hipótesis nula  $H_0: (\mu \leq \mu_0)$ , por otro lado, la ocurrencia de lluvias extremas y continuas que se presentan en los meses de diciembre a abril **influye** en la generación de un flujo de detritos en la quebrada

Sahuanay en la urbanización C.P. Maucacalle Sahuanay en el distrito de Tamburco.

**c) Para la vulnerabilidad**

**Características sociales – Vivienda**

**H<sub>i</sub>: ( $\mu < \mu_0$ ):** Las características de las viviendas de la urbanización Maucacalle que se encuentran en los alrededores de la quebrada Sahuanay **influyen** en el nivel de riesgo ante la ocurrencia de un fenómeno natural en este caso un flujo de detritos.

**H<sub>o</sub>: ( $\mu \geq \mu_0$ ):** Las características de las viviendas de la urbanización Maucacalle que se encuentran en los alrededores de la quebrada Sahuanay **no influyen** en el nivel de riesgo ante la ocurrencia de un fenómeno natural en este caso un flujo de detritos.

**Tabla 99**

*Datos para la vulnerabilidad de carácter social.*

Datos		
Población	viviendas	191
Velocidades (m/s)	Media <sub>(VP)</sub>	$\mu_0 = 5.73$
Muestra	viviendas	50
Velocidades (m/s)	Media <sub>(VM)</sub>	$\bar{x} = 5.70$
Desviación estándar	$\delta$ : 0.96	
Nivel de confianza	95 %	
Nivel de significancia	5 %	
Varianza	0.922	
Desviación estándar	0.96	
Grados de libertad	2	
Valor de control ( $t_c$ )	-1.64	

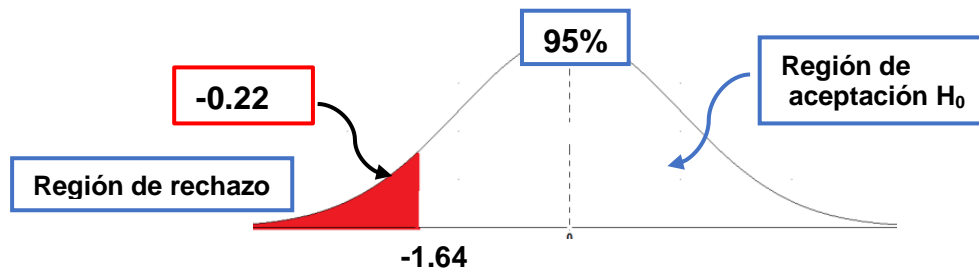
*Fuente: Elaboración propia.*

$$Z_p = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\delta}{\sqrt{n}}} \quad \text{cuando } n > 30$$

$$Z_p = \frac{5.70 - 5.73}{\frac{0.96}{\sqrt{50}}} = -0.22$$

## Gráfico 21

Elaboración de la campana de Gauss para el 95%



Fuente: Elaboración propia.

**Decisión:** Se observa que el valor estadístico de  $Z_t$  está fuera de la región de aceptación, entonces se rechaza la hipótesis nula  $H_0: (\mu \leq \mu_0)$ , por otro lado, las características de las viviendas de la urbanización Maucacalle que se encuentran en los alrededores de la quebrada Sahuanay **influyen** en el nivel de riesgo ante la ocurrencia de un fenómeno natural en este caso un flujo de detritos.

## CONCLUSIONES

- Los riesgos identificados en el área de estudio indican que el área urbana de la urbanización C.P. Maucacalle - Sahuanay que en los adyacentes al cauce de encuentran en un nivel Muy alto, alto, medio y bajo de riesgo por flujo de detritos ya que la población y sus medios de vida, desconocen que se encuentran vulnerables a este fenómeno natural (ver la tabla 92).
- El modelamiento de simulación numérico del flujo de detritos nos muestra los posibles escenarios que se podría generar en la ocurrencia de este fenómeno natural en un tramo de 3.6 km aproximadamente, generado un área de afectación de 191 viviendas que se ubican dentro y a los alrededores del cauce de la quebrada, un valor aproximado de 1.2 ha de áreas de cultivo en la parte alta quebrada en estudio.
- La identificación y determinación del peligro en la zona de estudio permitió conocer el nivel de peligrosidad ante la ocurrencia de un flujo de detritos en la quebrada Sahuanay, obteniendo el rango de MUY ALTO  $0.0263 \leq P < 0.486$ , ALTA  $0.139 \leq P < 0.263$ , MEDIO  $0.072 \leq P < 0.139$  BAJA  $0.039 \leq P < 0.072$ , a través de los diferentes mapas de peligrosidad (ver la tabla 63).
- El análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos en la zona la zona de estudio, resulto tener un valor de MUY ALTO  $0.227 \leq V < 0.491$ , ALTA  $0.162 \leq V < 0.227$ , MEDIO  $0.078 \leq P < 0.162$  BAJA  $0.043 \leq P < 0.078$ , lo cual conlleva a que los 382 habitantes, 191 viviendas, presentan niveles de vulnerabilidad muy alta en los alrededores del cauce de la quebrada Sahuanay (ver la tabla 89).

## RECOMENDACIONES

- Una mayor capacitación a la población en materia de gestión riesgo de desastres ante la ocurrencia de un fenómeno natural un flujo de detritos ante evento de lluvias extremas y continuas.
- De acuerdo a los resultados alcanzados en la simulación numérica de flujo de detritos, se recomienda implementar el DEM a través de un levantamiento topográfico con dron, que servirá como instrumento para la elaboración de la estimación del riesgo, entre otras acciones de gestión del riesgo de desastres.
- Notificar a la población sobre las zonas de MUY ALTO, ALTO, MEDIO y BAJO riesgo por flujo de detritos ante la ocurrencia de lluvias extremas, sus efectos y consecuencias, así como recomendaciones técnicas.
- Activar la ordenanza municipal sobre prohibición de arrojar basura, desmontes, escombros con la ayuda de este proyecto, y así encargado a la universidad y la municipalidad distrital de Tamburco conjunto con el gobierno regional de Apurímac.
- Se recomienda elaborar una evaluación de los niveles de riesgos ante sismos de gran intensidad.
- Elaborar el plan de prevención y reducción de riesgo de desastres en la urbanización C.P. Maucacalle Sahuanay.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acero. (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). *tesis Magister en Geología*. Bogotá D.C.
- ANA. (2016). Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales. En A. n. agua, *Resolución jefatural n° 322 - 2016 - ANA*.
- Bucarey. (2018). Evaluación de la susceptibilidad de flujo de detritos en quebradas carrizalillo y de melendez, comuna de tierra amarilla, región de atacama. *tesis de pregrado*. Santiago, Chile.
- Campos. (1998). En P. d. hidrológico. San Luis Potosí, S.L.P, México, Mexico.
- Campos. (1998). Procesos del Ciclo hidrológico. San Luis de Potosí, Mexico, Mexico.
- Ccama. (2018). Factores condicionantes y desencadenantes en la determinación del peligro de flujo de detritos aplicando el modelo FLO - 2D, quebrada lloocllamayo KM - 295 + 350, IIRSA sur tramo -IS. *Tesis de pregrado*. Puno, Perú.
- CENEPRED. (2015). Manual para la Evaluación de Riesgo Originados por Fenómenos Naturales - 2da Versión. *Manual para la Evaluación de Riesgo Originados por Fenómenos Naturales - 2da Versión*, 248.
- Chavez. (2021). Evaluación de los riesgos geológicos en el centro poblado la Real, distrito de Aplao, Provincia de Castilla, Arequipa. *Tesis de Pregrado*. Puno, Perú.
- Dirección de geología ambiental y riesgo geológico INGEMMET. (2019). Evaluación Integral de la cuenca del Río Mariño (Abancay, Apurímac) para la Prevención de Desastres de Origen Geológico y Geo-Hidrológico. *Programa Nacional de Riesgo Geológico*. Lima, Perú.
- Gaspari et al. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande. Buenos Aires, Argentina, Argentina.
- Gutierrez. (2021). Estimación de riesgos por flujo de detritos en la quebrada San Jerónimo Lunahuana - Cañete. *Tesis de Pregrado*. Lima, Perú.
- Hernández et al. (2014). *Metodología de la investigación*. México.



- IILA-Senahmi-Uni. (1983). Estudio de la hidrología del Perú, volumen II, estudio de avenidas. En IILA-Senahmi-Uni, *estudio de avenidas* .
- INEI. (2018). Apurímac - resultados definitivos. *tomo I (-aspectos generales,- análisis de los principales resultados, -cuadros estadísticos de población, vivienda, hogar, 1208.*
- INGEMMET. (2012). *Evaluación de flujo de detritos de Tamburco, provincia de Abancay*. Lima.
- INGEMMET. (2019). Evaluación Integral de la Cuenca del río Mariño (Abancay, Apurímac) para la prevención de desastres de origen geológico y geohidrológico. *Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N° 71, 69-72.*
- Lecaros. (2021). Evaluación de susceptibilidad a la generación de flujo de detritos, ladera oriental entre las localidades Chancoquien y la Areana, valla del tránsito, región de Atacama. *Tesis de Pregrado para optar título de geólogo*. Viña del Mar, Chile.
- Luna. (2019). Evaluación de riesgo ante precipitaciones intensas y modelamiento hidrológico de la quebrada Huarangal limitante entre los distritos de Paucarpata y Maricón Melgar, provincia de Arequipa. *Tesis de Pregrado*. Arequipa, Arequipa.
- Maldonado, M. A. (2021). Identificación de zonas de riesgo por deslizamientos de laderas debido a la saturación del suelo en la microcuenca Mariño. Abancay. *Tesis de maestría (Magister scientiae)/ Universidad Nacional Agraria la Molina*. Lima-Peru.
- Máximo Villón. (s.f.). Hidrología estadística. En m. v. Bejar.
- Monsalve. (1999). Hidrología en la ingeniería. Colombia.
- MTC. (2014). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje.
- Municipalidad Provincial de Abancay. (2016). Cálculo del nivel de riesgo por flujo de detritos (huaycos) en las urbanizaciones y sectores de Vallecito el Olivo etapa I y II, Chinchichaca, Virgen del Carmen, Micaela Bastidas, Patibamba Alta, Cercado, La Victoria, Magisterial, Manuel Escorza, Vallevit. *Para cumplir la Meta 27: "Actualización de la información para la gestión del riesgo de desastres" Municipalidades de ciudades principales Tipo B, del Programa de Incentivos a la mejora de la Gestión Municipal del año 2016*. Abancay, Perú.

- Muñoz. (2018). Metodología para evaluar la amenaza de flujo de detritos utilizando un análisis jerárquico de procesos y el software RAMMS, con aplicación en la cuenca del estero San Alfonso, región metropolitana. *Tesis pregrado*. Santiago de Chile, Chile.
- Murillo & Arroyo. (2018). Análisis morfométrico de la vulnerabilidad por exposición a flujo de detritos en la subcuenca de la quebrada Hirnillas, Costa Rica. *revista geoespacial*.
- Rodríguez et al. (2018). *Informe de evaluación de riesgo por flujo de detritos de los sectores asociación de vivienda Villa Magisterial 2 y 4 - asociación Acomayo - Villa Perú I, del distrito Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa.*: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Salgado. (2020). Análisis de vulnerabilidad originado por el flujo de detritos en la quebrada Chacrasana, distrito de Lurigancho - Chosica. *Tesis de pregrado*. Lima, Perú.
- Sánchez, Reyes, & Mejía. (2018). *Manual de términos de investigación científica, tecnológica y humanística*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Sepúlveda. (1998). *Metodología para evaluar el peligro de flujo de detritos en ambientes montañosos: aplicación en la quebrada La Cañas, región metropolitana*.
- Sepúlveda. (1998). Metodología para evaluar el peligro de flujo de detritos en ambientes montañosos : Aplicación en la quebrada La Cañas, Región Metropolitana. *Memoria de Título*. Chile.
- Sepúlveda. (1998). Metodología para evaluar el peligro de flujo de detritos en ambientes montañosos: Aplicación en la quebrada La Cañas, Región metropolitana. *Memoria de Título Departamento de Geología*.
- Servicio nacional de geología y minería. (s.f.). Movimiento en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. *Publicación Geología Multinacional N° 2007*, 432.
- Sepúlveda & Patiño. (Junio de 2016). Metodología para la evaluación de riesgo por flujo de detritos detonados por lluvia. *Maestría en Ingeniería civil*.
- Vente Chow. (1994). Hidrología aplicada. Bogotá: Colombia.

- Zambrano & Santuyo. (2019). Alternativas de mitigación para el flujo de detritos en la zona de descarga de la quebrada Quirio - Chosica - Perú. *Tesis de Pregrado*. Lima, Perú.
- Muñoz. (2018). Metodología para evaluar la amenaza de flujo de detritos utilizando un análisis jerárquico de procesos y el software RAMMS, con aplicación en la cuenca del estero San Alfonso, región metropolitana. *Tesis pregrado*. Santiago de Chile, Chile.
- Murillo & Arroyo. (2018). Análisis morfométrico de la vulnerabilidad por exposición a flujo de detritos en la subcuenca de la quebrada Hirnillas, Costa Rica. *revista geoespacial*.
- Rodríguez et al. (2018). *Informe de evaluación de riesgo por flujo de detritos de los sectores asociación de vivienda Villa Magisterial 2 y 4 - asociación Acomayo - Villa Perú I, del distrito Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa*.: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Salgado. (2020). Análisis de vulnerabilidad originado por el flujo de detritos en la quebrada Chacrasana, distrito de Lurigancho - Chosica. *Tesis de pregrado*. Lima, Perú.

## WEB – LINK GRAFIA

<https://dialnet.unirioja.es/>

<https://scholar.google.es/>

<https://worldwidescience.org/>

[http://www.scholarpedia.org/article/Main\\_Page](http://www.scholarpedia.org/article/Main_Page)

<https://www.refseek.com/>

<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigriv3/>

<https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

[https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte\\_transparencia\\_enlaces.aspx?id\\_entidad=127&id\\_tema=1&ver=D#.ZFiQ73bMK3A](https://www.transparencia.gob.pe/enlaces/pte_transparencia_enlaces.aspx?id_entidad=127&id_tema=1&ver=D#.ZFiQ73bMK3A)

<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>

<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAHMI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es>

<https://www.youtube.com/watch?v=7INonlp9eQc&t=1885s>

## **Anexos**

### **Índice de anexos**

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	187
Anexo 2: Ficha de recolección de datos .....	190
Anexo 3: Uso de los softwares .....	193
Anexo 4: Extracción y selección de datos de precipitación por medio de lenguaje de programación Rstudio.....	198
Anexo 5: Método IILA – SENAMHI – UNI.....	206
Anexo 6: Hietograma de precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno.....	210
Anexo 7: Resultados del software HEC-HMS v 4.1.....	211
Anexo 8: Simulación numérica con el software HEC-RAS V 6.1.....	215
Anexo 9: Matrices del proceso de análisis jerárquico (PAJ).....	221
Anexo 10: Ficha de validación de instrumentos.....	252
Anexo 11: Panel fotográfico.....	257
Anexo 12: Mapas.....	280
Anexo 13: Antecedentes administrativos.....	293

Los anexos están resguardados en la oficina del repositorio digital institucional de la biblioteca central de la Universidad Tecnológica de los Andes.