

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



TESIS

“Análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay 2022”

Presentado por:

Bach. SANDRA CARMEN BATALLANOS GUZMÁN

Para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Abancay – Apurímac – Perú

2023

Tesis

“Análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay 2022”

Línea de investigación

Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible

Asesor:

Ing. Holguer Cayo Baca



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay 2022”

Presentado por el Bach. **SANDRA CARMEN BATALLANOS GUZMÁN**, para optar el título profesional de: **INGENIERO CIVIL**.

Sustentado y aprobado el 09 de noviembre del 2023 ante el jurado:

Presidente : Mg. Marco Antonio Gálvez Quintana

Primer miembro : Ing. Edwin Reynaldo Espinoza Asto

Segundo miembro : PhD. Abbon Alex Vásquez Ramírez

Asesor : Ing. Holguer Cayo Baca

Análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuayanay para la evacuación de flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay 2022”

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	oa.upm.es Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
8	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

A mi familia,

Por su amor incondicional, apoyo constante y paciencia infinita. Han sido mi roca y mi inspiración a lo largo de este arduo camino. Esta tesis es un tributo a su sacrificio y dedicación, y dedico este logro a ustedes con todo mi corazón.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a las personas que aportaron de diversas formas para que esta tesis se hiciera realidad:

dedicar a mí en especial Mama Juliana Guzmán Panique que siempre fue una madre luchadora abnegada que estuvo para mí siempre dándome su apoyo incondicional, a mi familia a mis seres queridos

A mi asesor de tesis por su orientación, sabiduría y dedicación. Sus consejos y comentarios críticos han sido invaluable para dar forma a este trabajo.

A mis docentes, quienes me brindaron una educación excepcional y me inspiraron a seguir mis intereses académicos. Sus enseñanzas dejaron una huella indeleble en mi camino hacia la investigación.

ÍNDICE

	Pág.
PORTADA.....	i
POSPORTADA	ii
PAGINA DE JURADOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ACRÓNIMOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Planteamiento del problema	4
1.2.1 Problema General	5
1.2.2 Problemas específicos.....	5
1.3 Justificación de la investigación	5
1.4 Objetivos de la investigación.....	7
1.4.1 Objetivo General.....	7
1.4.2 Objetivos Específicos	7
1.5 Delimitación de la investigación	7
1.5.1 Espacial	7
1.5.2 Temporal	7
1.5.3 Social.....	7
1.5.4 Conceptual	8
1.6 Viabilidad de investigación.....	8
1.7 Limitaciones	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Antecedentes de investigación.....	9
2.1.1 A nivel internacional	9
2.1.2 A nivel nacional	13
2.1.3 A nivel regional y local	17
2.2 Bases teóricas.....	18
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	36

3.1. Hipótesis	36
3.1.1 Hipótesis general	36
3.1.2 Hipótesis específicas	36
3.2 Método	36
3.3 Tipo de investigación.....	37
3.4 Nivel o alcance de investigación	37
3.5 Diseño de investigación.....	37
3.6 Operacionalización de variables.....	38
3.7 Población, muestra y muestreo	40
3.8 Técnicas e instrumentos.....	42
3.9 Consideraciones éticas	49
3.10 Procedimiento estadístico	49
CAPITULO IV : RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1 RESULTADOS	50
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	119
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	126
CONCLUSIONES.....	130
RECOMENDACIONES	131
Bibliografía	133
Anexos	138
Matriz de consistencia	138
Panel Fotográfico	139
Resultados de laboratorio de estudio de suelos.....	142
Planos topográficos	208

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1	Población censada urbana y rural, según provincia, 2007-20176
Tabla 2	Coordenadas Geográficas.....51
Tabla 3	Consolidado de los ensayos de laboratorio.....52
Tabla 4	Análisis Granulométrico de la Calicata 0158
Tabla 5	Análisis Granulométrico de la Calicata 0259
Tabla 6	Análisis Granulométrico de la Calicata 0360
Tabla 7	Análisis Granulométrico de la Calicata 0461
Tabla 8	Análisis Granulométrico de la Calicata 0562
Tabla 9	Identificación del canal Sahuanay punto de inicio y longitud.....63
Tabla 10	Cuadro BMS.....63
Tabla 11	Puntos de control para el levantamiento topográfico canal Sahuanay .64
Tabla 12	Poligonal de cerrada.....66
Tabla 13	Cuadro técnico de la poligonal cerrada68
Tabla 14	Cuadro de coordenadas de la poligonal cerrada.....68
Tabla 15	Parámetros de la cuenca.....70
Tabla 16	Precipitación máxima en 24 horas en (mm)75
Tabla 17	Precipitación máxima en 24 horas.....76
Tabla 18	Parámetros estadísticos del canal Sahuanay.....78
Tabla 19	Valor K_{31} para la evaluación de la precipitación máxima aceptada.....78
Tabla 20	Distribuciones de probabilidad (con Smirnov Kolgomogorov)80
Tabla 21	Prueba de Kolmogorov Smirnov.....81
Tabla 22	Numero de intervalos de observación82
Tabla 23	Periodos de retorno en años83
Tabla 24	Intensidad de precipitación en minutos85
Tabla 25	Intensidad de Precipitación en horas.....87
Tabla 26	Análisis de regresión múltiple para 50 años89
Tabla 27	Análisis de regresión múltiple para 100 años90
Tabla 28	Consolidada estadística de la regresión.....91
Tabla 29	Análisis de varianza.....91
Tabla 30	Intensidad de precipitación según duración, frecuencia y periodo de retorno92
Tabla 31	Hietograma para 100 años95
Tabla 32	Cálculo de curva numero.....98

Tabla 33	Análisis del porcentaje de arcilla de las 5 calicatas	100
Tabla 34	Propiedades de las matrices de flujos de lodo (solo limo y arcilla)....	101
Tabla 35	Hidrogramas de la cuenca Sahuanay.....	101
Tabla 36	D50 Estándar de las 5 calicatas	103
Tabla 37	Concentración volumétrica del Manual FLO-2D.....	104
Tabla 38	Esfuerzo de cedencia y viscosidad.....	105
Tabla 39	Comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay	108
Tabla 40	Evaluación del flujo de detritos del canal de Sahuanay.....	108
Tabla 41	Dimensiones del canal	109
Tabla 42	Caudal máximo de canal de Sahuanay	109
Tabla 43	Pendientes de canal de Sahuanay	110
Tabla 44	Resultado de plano de los tirantes	111
Tabla 45	Resultado de plano de velocidades.....	111
Tabla 46	Consolidado de los parámetros reológicos.....	112
Tabla 47	Contraste de la Hipótesis General.....	126
Tabla 48	Contraste de la Hipótesis específica 01.....	127
Tabla 49	Contraste de la Hipótesis específica 02.....	128
Tabla 50	Contraste de la Hipótesis específica 03.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Canal de sección trapezoidal.....	19
Figura 2	Canal triangular.....	20
Figura 3	Canal natural.....	20
Figura 4	Afluente de flujo de detritos por canal de Sahuanay con origen en cerro Chuyllupata.....	40
Figura 5	Mapa de peligros a la ocurrencia en masa del canal de Sahuanay, distrito de Tamburco.....	41
Figura 6	Puntos de muestra del canal de Sahuanay.....	42
Figura 7	ubicación del canal de Sahuanay.....	44
Figura 8	Delimitación de la cuenca mediante la poligonal cerrada.....	46
Figura 9	Calicata 1 progresiva Km 0+141.....	53
Figura 10	Calicata 1 progresiva Km 0+141.....	53
Figura 11	Calicata 2 progresiva Km 0+518.....	54
Figura 12	Calicata 2 progresiva Km 0+518.....	54
Figura 13	Calicata 3 progresiva Km 0+913.....	55
Figura 14	Calicata 3 progresiva Km 0+913.....	55
Figura 15	Calicata 4 progresiva Km 1+240.....	56
Figura 16	Calicata 4 progresiva Km 1+240.....	56
Figura 17	Calicata 5 progresiva Km 2+402.....	57
Figura 18	Calicata 5 progresiva Km 2+402.....	57
Figura 19	Curva Granulométrica de la Calicata 01.....	58
Figura 20	Curva Granulométrica de la Calicata 02.....	59
Figura 21	Curva Granulométrica de la Calicata 03.....	60
Figura 22	Curva Granulométrica de la Calicata 04.....	61
Figura 23	Curva Granulométrica de la Calicata 05.....	62
Figura 24	Sentido de la poligonal.....	67
Figura 25	sentidos de la poligonal.....	67
Figura 26	Gráfico de la poligonal.....	67
Figura 27	Medición de la sección del canal.....	69
Figura 28	Toma de puntos al borde del canal cerca al baden de Sahuanay.....	69
Figura 29	Curva hipsométrica del canal de Sahuanay.....	72
Figura 30	Plano de ubicación.....	73
Figura 31	Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.....	77
Figura 32	Distribución log Pearson – III.....	83
Figura 33	Curva de intensidad -duración -frecuencia.....	88

Figura 34	La fórmula de Kirpich se expresa de la siguiente manera:	92
Figura 35	Curva IDF T_{50}	94
Figura 36	Hietograma precipitación T_{50}	94
Figura 37	Distribución intensidades precipitación T_{50}	95
Figura 38	Curva IDF T_{100}	96
Figura 39	Hietograma precipitacion T_{100}	96
Figura 40	Distribución intensidad precipitación T_{100}	97
Figura 41	Curva número 72.....	98
Figura 42	Periodo de retorno de 50 años con una curva numero 72.....	99
Figura 43	Periodo de retorno de 100 años con una curva numero 72.....	100
Figura 44	Imágenes del desbordamiento en la cabecera de la ciudad de Abancay.....	105
Figura 45	Parámetros de los métodos no newtonianos.....	107
Figura 46	Plano de puntos críticos por desborde desde Km 0 - Km 0+750.....	113
Figura 47	Plano de puntos críticos por desborde desde Km 0+800 - Km 2+525.....	114
Figura 48	Plano de tirante desde km 0 - km 0+750.....	115
Figura 49	Plano de tirante desde km 0+800 - km 2+525.....	116
Figura 50	Plano de velocidad desde km 0- km 0+750.....	117
Figura 51	Plano de velocidad desde km 0+800 - km 2+525.....	118

ACRÓNIMOS

ANA : Autoridad Nacional del Agua

CENEPRED : Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo
de Desastres.

INDECI : Instituto nacional de defensa civil

INEI : instituto nacional de estadística e informática

SENAMHI : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

RESUMEN

El estudio tiene de objetivo principal analizar comportamiento hidráulico de canal Sahuanay, ubicado en el distrito Tamburco, Abancay, con el propósito de evaluar su capacidad para la evacuación de flujo de detritos. Metodología se aplicó el método inductivo deductivo, tipo aplicada, alcance descriptivo, diseño no experimental. Análisis hidráulico utilizando herramientas de modelado computacional y mediciones de campo. Se recopilaron datos topográficos, hidrológicos y geológicos. Luego, se construyó modelo hidráulico que simula el flujo de detritos en canal Sahuanay. Hicieron pruebas de simulación para evaluar la capacidad de transporte de detritos del canal y se evaluaron los resultados esperados durante eventos extremos. Resultados: Los resultados indican que el canal Sahuanay presenta limitaciones en su capacidad para evacuar flujo de detritos durante eventos de alta intensidad. Conclusiones: El canal de Sahuanay presenta un tirante máximo de 5.88 metros, con velocidad de 7.33 m/s, concentración volumétrica 51%, esfuerzo de cedencia 42.77 pascales y una Viscosidad 431.04 Pa *s , estos datos nos indican el comportamiento del canal y que está diseñado para enfrentar condiciones hidráulicas extremas

Palabras clave : Análisis, hidráulico, canal ,evacuación , flujo de detritos.

ABSTRACT

The main objective of the study is to analyze the hydraulic behavior of the Sahuanay canal, located in the Tamburco district, Abancay, in order to evaluate its capacity for debris flow evacuation. Methodology: inductive-deductive method, applied type, descriptive scope, non-experimental design. Hydraulic analysis using computational modeling tools and field measurements. Topographic, hydrological and geological data were collected. Then, a hydraulic model was built to simulate debris flow in Sahuanay channel. Simulation tests were carried out to evaluate the debris transport capacity of the channel and the expected results during extreme events were evaluated. Results: The results indicate that the Sahuanay channel presents limitations in its capacity to evacuate debris flow during high intensity events. Conclusions: The Sahuanay channel presents a maximum discharge of 5.88 meters, with a velocity of 7.33 m/s, volumetric concentration 51%, yield stress 42.77 pascals and a Viscosity 431.04 Pa *s, these data indicate the behavior of the channel and that it is designed to face extreme hydraulic conditions.

Keywords: Analysis, hydraulic, channel, evacuation, debris flow.

INTRODUCCIÓN

Estudio de análisis de comportamiento hidráulico del canal Sahuanay, con el propósito de evaluar su capacidad para la evacuación de flujo de detritos en Tamburco, Abancay, durante el año 2022. Este canal reviste una importancia crucial en la región, ya que desencadena una serie de efectos hidrológicos y geológicos que pueden poner en riesgo a la población y las infraestructuras locales. La investigación busca proporcionar una comprensión más profunda de su funcionamiento y su impacto en el entorno.

Tamburco, ubicado en Abancay, Perú, se encuentra expuesto a amenazas de flujo de detritos por geografía montañosa y a la presencia de precipitaciones intensas en la región. El canal Sahuanay ha sido diseñado como una medida de mitigación y protección ante estos eventos, pero su eficacia y capacidad real para evacuar el flujo de detritos han sido temas de preocupación en investigaciones previas. Además, los últimos años, se registraron cambios climáticos y eventos extremos que podrían afectar aún más la dinámica hidráulica de este canal.

El problema que aborda esta investigación radica en la necesidad de evaluar el comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en el contexto específico de Tamburco durante el año 2022. Relevancia del problema está en el potencial amenazante para la seguridad de su población y las infraestructuras locales. Esta investigación pretende contribuir al entendimiento de la capacidad de respuesta del canal y proporcionar recomendaciones para su mejoramiento, en caso de ser necesario.

La investigación es relevante tanto en términos prácticos como teóricos. Desde una perspectiva práctica, los resultados de este estudio pueden informar a

autoridades locales y regionales de medidas para mejorar protección de comunidad ante eventos de flujo de detritos. Aportará en avance de conocimiento científico en campo de hidrología y gestión de riesgos naturales, permitiendo comprender a profundidad dinámica de canales similares en regiones montañosas.

Estudio recopiló datos hidrológicos y geológicos, así como la aplicación de modelos hidráulicos y geoespaciales. Se emplearán técnicas de análisis estadístico y se considerarán factores climáticos y geotécnicos relevantes. Además, se realizarán visitas de campo para verificar la información recopilada y obtener una comprensión completa del canal.

La estructura de este trabajo se compone de: Primero, revisión de literatura relacionada con hidrología de canales montañosos y gestión de riesgos naturales. Posteriormente, en la sección de metodología, describe detalles de metodología usada en el estudio. Los resultados se presentan en la sección correspondiente, seguidos de un análisis de estos resultados. Finalmente concluye con recomendaciones e importancia de hallazgos.

CAPÍTULO I

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1 Realidad problemática

Los procesos gravitacionales de remoción de masas son hechos naturales que impactan en asentamientos humanos e infraestructura, estas generan pérdidas humanas y económicas, siendo los flujos de detritos tipología peligrosa por velocidad de desplazamiento, siendo los asentamientos humanos localizados en trayectoria de alta susceptibilidad a ser gravemente perjudicados. (Figuroa, 2013). En Estados Unidos, los deslizamientos y flujos de escombros provocan entre 25 y 50 muertes cada año, estos además pueden provocar accidentes, rotura de líneas eléctricas, de agua, de gas y de alcantarillado, pueden provocar enfermedades y la interrupción de carreteras, así como el acceso a atención sanitaria (Centers for disease control and prevention, 2018). China se ve afectada por los flujos de escombros cada año y, en consecuencia, sufre enormes víctimas y pérdidas de bienes, especialmente en los asentamientos rurales. Durante el período 2005-2018, China experimentó 12.836 eventos de flujos de escombros (Centro de orientación técnica para riesgos geológicos, 2018, Ministerio de recursos naturales de China, 2018), con aproximadamente 855 eventos cada año. La mayoría de estos desastres

se produjeron en asentamientos rurales con escasa capacidad de prevención y recuperación de desastres (Frontiers in earth science, 2021).

A nivel nacional se ha estimado que un total de 2 millones 46,918 personas de 28,511 centros poblados que se distribuyen en 21 departamentos corren riesgo muy alto por posible flujo de detritos entre otros movimientos por lluvias previstas para verano del 2022 (CENEPRED, 2021)

Autoridad Nacional de Agua en estudio de identificar puntos críticos con riesgo a inundación, flujo de detritos y erosión de ríos y quebradas, identificó en los años 2018, 2019 y 2020, incremento de puntos críticos, el año 2020 se identificó un total de 1,171 puntos críticos, para lo cual se han cuantificado un total de 823,706 habitantes, 178,788 viviendas, 786 instituciones educativas, 168 centros de salud, 950,55 km de carretera y un total 90,453.61 hectáreas de áreas de cultivo afectadas, cuya solución requiere un presupuesto aproximado de S/. 2,232,713,432.09 Soles.

Es importante destacar que dicho estudio ha determinado que por cada s/.1.00 sol que se invierte en obras para prevenir activación de quebradas ante inundaciones y erosión en centros poblados vulnerables y otros elementos expuestos, Estado ahorraría s/.15.00 soles en daños a infraestructura de bienes y servicios (Autoridad Nacional de Agua., 2020)

A nivel Regional, según el CENEPRED, el departamento de Apurímac es considerado una zona altamente vulnerable a los fenómenos de flujo de detritos, por precipitaciones de la zona, combinadas con rocas, esto se puede evidenciar en zonas como Haqira, Cotabambas que muestra un índice de vulnerabilidad y riesgo alto, con 0.258 y 0.147 respectivamente, y un nivel de peligrosidad muy alta con 0.57 según el CENEPRED (Alvarez, y otros, 2021).

A nivel local el último reporte de un flujo de detritos de significativa importancia data del 17 de marzo del 2012, fecha en que las precipitaciones pluviales produjeron deslizamientos en el río Sahuanay, creando huaicos que afectó casas en Maucacalle Sahuanay, distrito Tamburco (Abancay), igualmente al día siguiente hubo deslizamientos nuevos en el río Sahuanay creando huayco que afectó casas, caminos y servicio de agua potable, en Tamburco (localidad Sahuanay) y Abancay (localidades Paltaipata y Abancay) (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2012).

Del mismo modo se pudo encontrar un estudio previo respecto a la evaluación de flujo de detritos en Tamburco de donde se concluye que los factores más relevantes con la potencialidad de desencadenar deslizamiento o flujo de detritos son las intensas lluvias, las fuertes pendientes de las laderas, tipo y posición de materiales que la conforman, inestabilidad de taludes por construcción de carreteras, riego indiscriminado, falta de drenaje adecuado y de viviendas en cauce de la quebrada Sahuanay que interrumpen desfogues naturales de la misma. (Villacorta, y otros, 2012)

Por otro lado se concluye que la estructura hidráulica actual en la quebrada Sahuanay es insuficiente de cara a eventos similares a los que ya han ocurrido y que requiere de medidas urgentes que puedan reducir la vulnerabilidad de la población ante el elevado peligro de flujos de detritos existente. Es importante recalcar que más esfuerzo es necesario para caracterizar el clima del área y así poder establecer una relación directa entre ocurrencia de eventos y precipitación. En este sentido pensamos que las Intimpas han demostrado ser sensibles a las

variaciones en la precipitación por lo que se seguirá trabajando para establecer si su uso aportaría información para completar el registro climático de la ciudad de Abancay y por ende de este sector central del territorio peruano. (2016).

En el distrito de Tamburco, la estructura hidráulica actual en Sahuanay es insuficiente para hacer frente a eventos similares a los que ya han ocurrido en el 2012 , lo que pone en peligro a la población ante los flujos de detritos. Esto ha llevado a la necesidad de implementar medidas urgentes para reducir la vulnerabilidad de la población y garantizar su seguridad.

Esta investigación pretende conocer el comportamiento del canal frente a un desbordamiento de flujo de detritos evaluando y conociendo los puntos más vulnerables del canal.

1.2 Planteamiento del problema

Los flujos de detritos son fenómenos hídricos que ocurren frecuentemente en regiones caracterizadas con una geomorfología empinada de montaña, llegando a afectar comunidades, infraestructura urbana, vial, servicios, cultivos, etc. Además, afectan a regiones sometidas a una actividad media a intensa de precipitaciones. En el Perú solo entre diciembre de 2016 a marzo de 2017 se presentaron 11 huaycos según el INEI, así mismo se ha demostrado que el país cuenta con más de 500 centros poblados vulnerables, estos representan más de 50,000 familias y 200,000 personas directamente afectadas, que se traducen en 300 millones de dólares en pérdida económicas (Cornejo, y otros, 2018)

A nivel local, respecto al último flujo de detritos de importancia sucedido en Tamburco, Abancay, se ha evidenciado según un estudio realizado por Villacorta y Valderrama (2012) que este se originó a las faldas del cerro Chuyllurpata, considerado como altamente susceptible a la generación de procesos como

deslizamientos, huaycos y movimientos complejos que pueden ser provocados por precipitaciones pluviales excepcionales o por sismos de gran magnitud, posteriormente el flujo se precipitó por la quebrada Sahuanay, que al no tener canalización apropiada incrementa riesgo y vulnerabilidad del área.

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022?

1.2.2 Problemas específicos

a) ¿Cómo influye la sección del canal en el comportamiento de flujo de detritos en el canal Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022?

b) ¿Cómo influye el caudal máximo en el comportamiento de flujo de detritos en el canal Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022?

c) ¿Cómo los parámetros topográficos influyen en el comportamiento de flujo de detritos en el canal Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay 2022?

1.3 Justificación de la investigación

Justificación teórica porque significa una ampliación del conocimiento generado a través de otras investigaciones desarrolladas en el mismo campo, sobre la misma muestra, este se presenta desde un enfoque que da especial relevancia a la variable del comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay por el cual se pretende abordar el problema, sin dejar de lado los factores geológicos, morfológicos y de naturaleza que ayuden a entender mejor el problema a los actores involucrados.

La justificación práctica se deriva de los resultados, que permitirán conocer el comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay y en qué medida representan

un riesgo y aporta al peligro al que están sujetos los pobladores del área involucrada, además se conocerán los aspectos fisiológicos y mecánicos que requieren ser resueltos para reducir su nivel de influencia en la génesis y desarrollo de flujo de detritos.

Se justifica socialmente porque que tiene como fin que los pobladores se desenvuelvan en un entorno seguro que garantice su desarrollo ante el peligro de un desastre natural, teniendo en cuenta además el incremento poblacional en la provincia de Abancay de acuerdo al último censo del 2017 por INEI, donde del año 2007 al 2017 ha habido un aumento de 14,456 personas, como se muestra en la tabla 1, que se traduce en un incremento porcentual del 15% respecto al 2007 y un crecimiento promedio anual de 1.5%, por tanto, un accionar más pronto evitará que a la larga más gente resulte afectada por posible ocurrencia de flujo de detritos en un futuro. Se conocerá caudal máximo para periodo de retorno de 100 años estudio de suelos de la zona y modelamiento hidráulico del canal, evaluando tirantes y velocidades, conociendo puntos críticos por desborde, colmatación en tramos de canal por sus pendientes, a lo largo del canal.

Tabla 1
Población censada urbana y rural, según provincia, 2007-2017

Provincia	2007						2017					
	Total		Urbana		Rural		Total		Urbana		Rural	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
Total	404190	100.0	134133	33.2	270057	66.8	405759	100.0	185964	45.8	219795	54.2
Abancay	96064	100.0	55849	58.1	40125	41.9	110520	100.0	79657	72.1	30863	27.9
Andahuaylas	143846	100.0	52769	36.7	91077	63.3	142477	100.0	69220	48.6	73257	51.4
Antabamba	12267	100.0			12267	100.0	11310	100.0			11310	100
Aymaraes	29569	100.0	3641	12.3	25928	87.7	24307	100.0	4297	17.7	20010	82.3
Cotabambas	45771	100.0	7081	15.3	38753	84.7	50656	100.0	15853	31.3	34803	68.7
Chincheros	51583	100.0	12244	23.7	39339	76.3	45247	100.0	13832	30.6	31415	69.4
Graú	25090	100.0	2612	10.4	22478	89.6	21246	100.0	3105	14.6	18137	85.4

Nota. Población censada

Fuente: Tomado de (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018)

Población urbana en 2007 fue de 134133 habitantes y rural 270057 habitantes para el 2017 se contabilizo población urbana de 185964 habitantes y 219795 habitantes siendo esta la población beneficiaria.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo General

Determinar el comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en Tamburco, Abancay, 2022

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Establecer cómo influye la sección del canal en el comportamiento de flujo de detritos en el canal Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.
- b) Conocer cómo influye el caudal máximo en el comportamiento de flujo de detritos en el canal Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.
- c) Evaluar cómo los parámetros topográficos influyen en el comportamiento de flujo de detritos en el canal Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.

1.5 Delimitación de la investigación

1.5.1 Espacial

En tramo del canal Sahuanay del distrito de Tamburco, provincia Abancay, departamento de Apurímac.

1.5.2 Temporal

Durante segundo semestre académico del 2022 y primer semestre académico 2023.

1.5.3 Social

Involucra a los pobladores del distrito de Tamburco, especialmente a aquellos que se encuentran ubicados en los márgenes y zonas

vulnerables a los huaycos o flujo de detritos que se desarrollen a lo largo del canal del río Sahuanay, sobre quienes según los criterios en base a resultados obtenidos de esta como de otras investigaciones.

1.5.4 Conceptual

El presente estudio determinó el comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay y su papel en la evacuación del flujo de detritos, de igual manera, condiciones de zona de estudio.

1.6 Viabilidad de investigación

Estudio viable porque tener acceso a objeto de estudio en el cual se pueden llevar a cabo los análisis a través de la toma de muestras, también se cuenta con acceso a las fuentes primarias que brindan información de las variables que se estudian en este proyecto, y de igual manera con las herramientas que se requieran para llevar a cabo análisis estructurales.

1.7 Limitaciones

- La quebrada Sahuanay podría tener tramos de difícil acceso debido a la topografía irregular, lo que dificulta las evaluaciones en terreno y la recolección de datos in situ.
- El presupuesto asignado para la evaluación de riesgos y el modelamiento hidrológico podría ser insuficiente para cubrir todos los aspectos necesarios del estudio, como el monitoreo a largo plazo y la adquisición de equipos especializados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

2.1.1 A nivel internacional

Lecaros (2021) en estudio “Evaluación de susceptibilidad a generar flujos de detritos, ladera oriental entre localidad Chancoquín y La Arena, valle de tránsito, región Atacama”, con el objetivo estudiar susceptibilidad a generar remoción de tipo flujos de detritos y/o barro, en El Tránsito, Atacama, para esto se aplicó una metodología aplicada, semi cuantitativa, no experimental y explicativo. Resultados denotaron que zonas susceptibles son zonas de alteración hidrotermal de Intrusivos Hipabisales Andesíticos, así como zonas de material coluvial fino, areno-arcilloso, de tonos rojizos asociado a zonas bajas de laderas pronunciadas con meteorización de Formación volcano-sedimentaria Algarrobal. Se concluye que las características importantes para generar flujos de detritos son incidencia de pendiente y litología, con cierto grado de susceptibilidad a ser movidos, son depósitos no consolidados además hay potencial erosivo para crear material susceptible a movilización por procesos de flujos a futuro.

Scheidl et al. (2019) en su estudio titulado “Debris-flow behavior in super- and subcritical conditions” se planteó como objetivo determinar conducta de flujo de detritos en condiciones supercríticas y subcríticas. Metodología aplicada, cuantitativa y experimental, según las características es observacional descriptivo. Los resultados indican que la ecuación de vórtice junto con los factores de corrección de $1 < k < 5$ deben considerarse para el flujo supercrítico. Sin embargo, los fenómenos de flujo secundario o de flujo en espiral en la dirección lateral podrían limitar la estimación de la velocidad frontal máxima basada en el peralte y para condiciones de flujo subcrítico, el factor de corrección determinado a partir de experimentos en el canal muestra una mayor desviación en comparación con un fluido newtoniano puro, lo que también se confirma por las observaciones de campo de los eventos reales en Illgraben. Se concluye que para los flujos de escombros y la disminución de los números de froude las fuerzas de inercia se vuelven más importantes, y la evolución de las tensiones internas que gobiernan la deformación está dominada en gran medida por las condiciones de tensión constitutiva de la mezcla a granel como un efecto de las características reológicas. Para ambos conceptos presentados, aplicables para derivar las características dinámicas de los eventos de flujo de escombros, parece que la distribución de presión hidrostática puede ser poco realista cuando se trata del flujo de material granular que tiene fuerza interna debido a su naturaleza friccional

Acero (2019), a través de su investigación que tiene como título “Predicción de flujos de detritos detonados por lluvias extremas con exportación de modelos estocásticos: aplicación en cuenca de Quebrada Grande (Labranza gran de Boyacá, Colombia)”, se dispone alcanzar el objetivo de validar metodologías para calcular amenaza por movimientos en masa y avenidas torrenciales en Colombia,

con metodología cuantitativa, básico, de alcance explicativo cuya muestra es la quebrada grande en el espacio localizado dentro de zona nororiental de Labranza grande en límites con Pisba y Paya, en Boyacá. Los resultados de predicción de eventos probables, muestran que lluvias en 24 horas con más de 45mm en parte alta de cuenca, generaría sobresaturación de subsuelo, causando movimientos en masa masivos de diversos tipos que bajaría por laderas. Así también, si caudal no es suficiente, masa descendida de ladera causaría represamientos, y de continuar precipitaciones se rompería la presa natural, creando flujo hiperconcentrado con velocidad de 8 a 20m/s a la cabecera municipal, en zonas norte y sur de la misma donde se determinó categoría de amenaza media por avenidas torrenciales. Para concluir, se logró elaborar modelo de predicción de ocurrencia futura de movimientos en masa como probabilidades espaciales, en base a inventario de hechos históricos georreferenciados de cuenca de quebrada Grande y otros similares dentro de dominio de cordillera oriental en transición al piedemonte llanero.

Alfaro (2018) en su investigación que tiene como título “Metodología para evaluar amenaza de flujos de detritos usando análisis jerárquico de procesos y software RAMMS, con aplicado a cuenca de estero San Alfonso”, con objetivo crear método para evaluar amenaza de flujos de detritos usando análisis jerárquico de procesos (AHP) y software RAMMS-debris flow. Metodología mixto, aplicado y explicativo. Los resultados muestran que mapa de susceptibilidad de flujos de detritos de cuenca San Alfonso, tiene zonas de alta, media y baja susceptibilidad y es válido a escala 1:20.000, así mismo, factores que dominan susceptibilidad de flujos son: Pendiente, Geomorfología y Geología, donde morfologías que favorece flujos de detritos son zonas de arranque, vías aluviales, deslizamientos y conos de

deyección, unidades geológicas que favorecen son: alteración hidrotermal y depósitos de deslizamientos, glaciales, aluviales y mapa de amenaza de flujos de detritos de cuenca San Alfonso, tiene amenaza muy alto, alto, medio y bajo; válido a escala 1:20.000. En conclusión, método que evalúa susceptibilidad de flujos se pudo aplicar a nivel de cuencas en todo ambiente geológico y escala de trabajo, reconoce características de cada área de estudio cumpliéndose con el objetivo planteado.

Arlegui (2016) a través de su estudio titulado “Análisis de susceptibilidad de ocurrencia de flujos de detritos en subcuenca alta de río Mapocho” con el objetivo analizar susceptibilidad de flujos de detritos en parte superior o andina de subcuenca de Río Mapocho. Metodología es mixto, no experimental con 2 fases: Una de evaluación de susceptibilidad de zona de estudio y otra la determinación final de zonas susceptibles. Resultados determinan que conjunto geológico de cuenca andina de Río Mapocho tiene alto grado de erosión geológica, las unidades intrusivas representan una amenaza leve, la formación de Farellones tienen un nivel de amenaza moderado, la formación abanico tiene un nivel de amenaza “Alto” y en formación Colorado-La Parva considerado muy alto. Respecto a la vegetación, los bosques tienen un nivel de amenaza bajo y medio, los matorrales, nivel de amenaza medio; los herbazales, un nivel alto y finalmente espacios sin vegetación tienen un nivel de amenaza muy alta. Finalmente, respecto a la disponibilidad del material de arrastre, en áreas con altura por sobre los 2.350 msnm presentan un nivel de amenaza medio y aquellas bajo los 2.350 msnm presentan un nivel de amenaza bajo. Se concluye que cuenca andina de Río Mapocho susceptible a generar flujos de detritos, esto explicado por quebradas, pendientes abruptas, vegetación que es

más árida cuando incrementa altitud y genera momentos de riesgos, por creciente presión inmobiliaria en la pre cordillera.

Fallas (2020) en su investigación cuyo título es “modelación y mapeo de flujo de lodos y detritos en cuenca de río zapote” se planteó de objetivo simular flujo de detritos y lodos en zona alta de cuenca de río Zapote, con metodología cuantitativa, no experimental y observacional. Los resultados muestran caracterización fisio geográfica, modelación hidrológica usando HEC-HMS para conseguir hidrogramas de huracán Otto con algoritmo Hydro- Estimator y estación meteorológica Bijagua. Se concluye que flujo del huracán Otto estaba entre valores de concentración volumétrica de sedimentos (Cv) 0.45 a 0.55; con más de 0.65 habría demasiado sedimento, por deslizamientos en sitio o avalancha, perdiendo conducta de flujo de detritos.

2.1.2 A nivel nacional

Huaraca y Vela (2021) en investigación con título “Evaluación de flujo detrítico implementando infraestructuras hidráulicas en la quebrada corrales Chosica – Lima, 2021” con objetivo evaluar conducta de flujo detrítico implementando infraestructuras hidráulicas, con metodología aplicada, cuantitativo, experimental y correlacional y toma como muestra la quebrada Corrales. Los resultados muestran que con estructuras propuestas para retorno en 50 años fue 0.00m² de zona urbana inundada y volumen retenido 3,328.710m³; además velocidad, tirante y profundidad de socavación de flujo detrítico se alteró; zona de inundación se reduce. Se concluye que después de modelamiento implementando infraestructuras hidráulicas en quebrada corrales, estructuras agregadas influyen en conducta de flujo detrítico comparado con modelamiento en condiciones naturales.

Salgado (2020), en su investigación que lleva el título de “Análisis de vulnerabilidad a causa de flujo de detritos en quebrada Chacrasana, Lurigancho – Chosica”, se plantea como objetivo establecer vulnerabilidad por flujo de detritos en quebrada Chacrasana. Con metodología cuantitativa, aplicada y descriptivo, no experimental en 93 predios y 175 familias. Los resultados muestran un valor final de vulnerabilidad de 0.261, lo cual muestra un rango de vulnerabilidad muy alta, en base a 42 manzanas, 17 resultan con una vulnerabilidad muy alta, 9 con vulnerabilidad alta, 11 con vulnerabilidad media y 5 manzanas con vulnerabilidad baja. Se concluye, aplicando análisis multicriterio (AHP) vulnerabilidad por flujo de detritos en quebrada Chacrasana tuvo valor de vulnerabilidad 0.261, según escala CENEPRED, representa quebrada con vulnerabilidad muy alta.

Santuyo y Zambrano (2019), desarrollaron una investigación que tiene como título “Alternativas de mitigación para flujo de detritos en zona de descarga de quebrada Quirio-Chosica-Perú-2019”, con el objetivo de dar alternativas para mitigar flujo de detritos en zona de descarga, con metodología cuantitativa, descriptivo, correlacional y explicativo, no experimental, transversal y retrospectiva, en 154,825.90 m³ de flujo de detritos que afectan zona de descarga de quebrada. Los resultados para tiempo de retorno de 500 años muestran altura en zona de recarga y zona media de 7 m y en la zona de descarga de 1.5 m; respecto a la velocidad máxima oscila entre los 8 a 10 m/s en las zonas de recarga, de 4 a 7 m/s en la zona media y de 1.5 m/s a 3.00 m/s en la zona de descarga; las presiones máximas en las zonas de recarga oscilan entre 250.00 a 350.00 Kpa de presión, en la zonas medias y de descarga este valor oscila entre los 60.00 a 80.00 Kpa; momentos de flujo máximo de detritos entre 35.00 a 50.00 m²/s de cortante y en zona media y descarga entre 10.00 y 13.00 m²/s; por último cortantes de flujo

máximo de flujo de detritos entre 25.00 a 33.00 Kpa de cortante, en zona media y descarga presiones se reducen y los valores oscilan entre los 2.00 y 8.00 Kpa. Se concluye que opción para mitigar flujo de detritos en quebrada Quirio es colocando 5 barreras geodinámicas para retener 7,568.81 m³ de materia sólida y que mitigara zona urbana de 140 ha.

Celi y Tanta (2019) en su proyecto “Modelamiento y simulación de quebrada Llocllamayo para control de flujo de escombros – Puno”, tuvo como objetivo controlar flujo de escombros, mediante modelamiento y simulación de Quebrada Llocllamayo - Puno. Usando modelo FLO – 2D para tiempos de retorno. Metodología cuantitativa, aplicada, analítico y deductivo, cuasi experimental. Resultados de simulaciones indican que para periodo 100 años con caudal 40.89 m³/s, altura de sedimentación entre 1.3 a 1.9 m, la velocidad de torrente varía de 0.6 a 1.3 m/s con intensidad de peligro alta. Se concluye según resultados de modelamiento y simulación en modelo numérico FLO – 2D para periodos de retorno, siendo la propuesta para control de flujo en la quebrada la construcción de dique de contención de 2 m. de alto para romper dinámica de traslado de energía, en eje principal de cauce.

Ccama (2018) estudio de título “Factores condicionantes y desencadenantes en establecer peligro de flujo de detritos aplicando modelo FLO-2D, quebrada Llocllamayo km-295+350, IIRSA Sur tramo –IV”, con objetivo de hacer mapa de peligro, de flujo de detritos, frente a hechos extraordinarios para hoyo y cono de deyección de quebrada, con metodología aplicado, cuantitativo, no experimental y observacional. Los resultados muestran que los factores para flujo de detritos con topografía de terreno por tener variación de cotas de: 300m, longitud de cauce principal 0.75Km, pendiente 40% y área 0.28 Km² y la litología de la quebrada, y

los factores desencadenantes son las precipitaciones propias de la zona con una energía de impacto 35,92 Joule/m²/mm. Se concluye que tramo de carretera Llocllamayo, frente a lluvias, deslizamientos y/o huaycos, derrumbes, es de grado de significancia: peligro alto.

Sinche (2018) en su investigación que lleva como título “Comportamiento hidráulico de flujos en canales abiertos para hallar fallas - canal San Lorenzo - Jauja, 2017”, se planteó objetivo analizar conducta hidráulica de flujos en canales abiertos para hallar fallas - Canal San Lorenzo - Jauja, 2017, con metodología aplicada, explicativo, no experimental y transversal, la muestra es un canal del distrito de San Lorenzo. Los resultados muestran que el canal cuenta con 56 curvas horizontales y 10 pendientes longitudinales, el caudal que se adiciona por lluvia es de 0.114 l/s frente a los 578 l/s que ingresa por la toma, sobre la arena bien graduada existe 18% de fallas y sobre la arena bien graduada 59%, 23% sobre arena bien graduada con falla, cuenta además con revestimiento de concreto de 14 cm. Con juntas cada tres metros, el coeficiente de rugosidad varia de 0.0141 a 0.0277, tiene una pérdida de caudal de 0.05 l/s y por infiltración de 25.56 l/s, el tirante tiene un valor que va desde 0.17 a 0.51 m. finalmente tirante de flujo varía según rugosidad de revestido y caudal. Se concluye que el tipo de suelo determina aparición de asentamientos y topografía influye en velocidad de flujo, clima interviene incrementando caudal de circulación y creando deformación por variar temperatura en concreto y caudal de circulación influye en tirante y velocidad del flujo ya que a más caudal, tirante y velocidad son mayores.

2.1.3 A nivel regional y local

Álvarez y Málaga (2021) en su investigación titulada “Análisis de riesgo por flujo de detritos en Haqira provincia de Cotabambas, Apurímac”, con el objetivo de establecer riesgo por flujos de detritos en Haqira para futuras mitigaciones. La metodología cuantitativa, aplicada y no experimental, descriptivo. Los resultados muestran que sectores cerca de ribera de ríos tienen más riesgo. Según las pendientes la zona de Cayau se encuentra a un nivel de riesgo alto, peligrosidad con peso 0.57 a comparación de vulnerabilidad 0.251 y por ende la zona se ve más afectada por la peligrosidad de flujo de detritos. Se concluye que factor principal son precipitaciones que presiden al causante del evento, que debilitaron y saturaron sustratos superiores de suelo.

Yucra (2022) en su investigación titulada “Evaluación de riesgo por flujo de detritos y modelamiento hidrológico de quebrada Sahuanay en Tamburco, Abancay, 2022”, con objetivo establecer niveles de riesgo por flujo de detritos en alrededores de cauce de quebrada Sahuanay en Tamburco, Abancay, 2022. Cuya metodología cuantitativa, aplicada, descriptivo y no experimental. Resultados donde caudal máximo de 24.30 m³/s con HEC-HMS v 4.10, simulo flujo con HEC-RAS 6.1 con método O'Brien, dando magnitudes de velocidades máximas de hasta 8 m/s y umbrales máximos 1.5 m. Análisis condiciones urbanas, aspectos físicos, socioeconómicos, sociales entre otros y también calculó niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y de riesgo con proceso de análisis jerárquico (PAJ, Concluyendo predios con riesgo muy alto, alto, medio y bajo ante flujo de detritos.

Villasante (2021) en su investigación titulada “Evaluación de niveles de riesgos por flujo de detritos en quebrada Chinchina, Pacsica, Justo Apu sahuaraura, Aymaraes, Apurímac 2021” cuyo objetivo Evaluar nivel de riesgos por flujos de

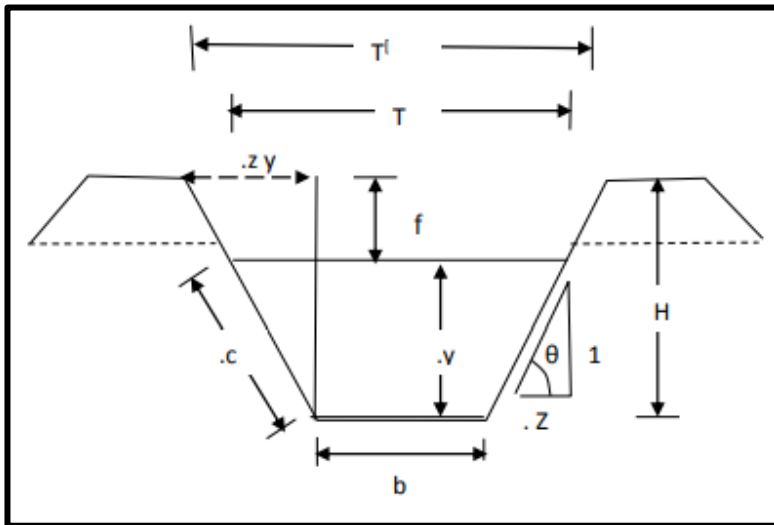
detritos en quebrada Chinchña. Metodología método inductivo, enfoque cuantitativo, explicativo, alcance descriptivo, no experimental. Resultados usaron datos de levantamiento topográfico con dron, estudio de suelo, imágenes satelitales, caudales. Escenario de períodos de retorno 100 años con caudal 62.53 m³/s el volumen es agua más sedimentos. Hizo mapas de niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo, con método SAATY cumpliendo parámetros y descriptores según (CENEPRED, 2015), identificando peligro, 40.85% afectadas en zona de riesgo muy alto, 4.23% zona de riesgo media, 22.54% y 32.38% zona de riesgo bajo, zona agrícola afectada es 6.22 ha. Se propone planes de mitigación y así reducir impacto en población.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Comportamiento hidráulico del canal

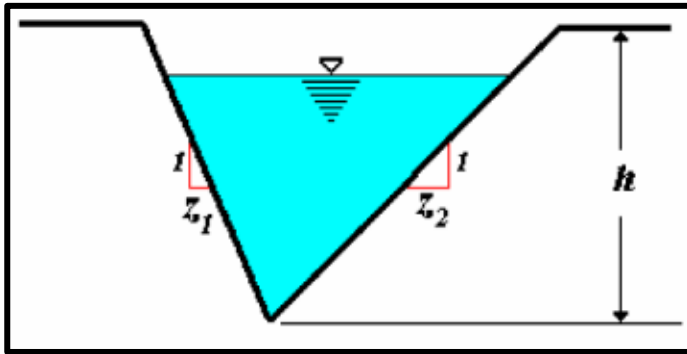
Hidráulica es aplicar método integral de mecánica de fluidos en problemas prácticos en los que intervienen líquidos (Cadavid, 2020), se deduce que el comportamiento hidráulico del canal es aplicar mecánica de fluidos para establecer conducta de flujo de agua.

Dentro de los tipos de canales, los abiertos se clasifican en naturales y artificiales (French, 2017). Respecto a los canales naturales, Castellanos et al. (2017) menciona al respecto se crearon por ecosistemas para drenar agua de tierra como arroyos o ríos, con flujo en “cauces”; es irregular por variación de caudal en el tiempo, hace que dimensiones, profundidad y forma varíen en canal. Por otro lado, canal abierto es conducto para flujo con superficie libre (Guitierrez, 2011), vale decir, una frontera está expuesta a atmósfera.

Figura 1*Canal de sección trapezoidal*

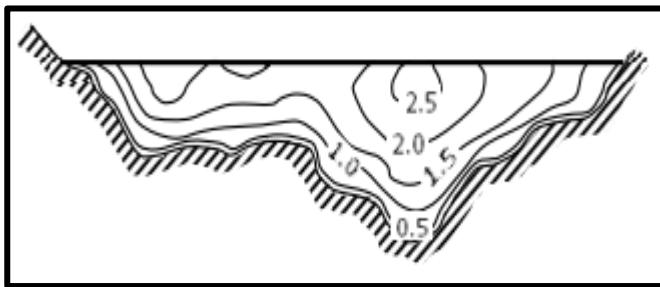
Nota. (Cruz, 2016)

Donde:**y:** Tirante de agua. Profundidad máxima de agua en canal.**b:** Ancho de solera o base de canal.**T=B:** Espejo de agua o base superior de canal / ancho de superficie libre de agua.**H:** Altura de canal después de añadido espacio libre.**H-y:** Borde libre, altura vertical entre punto más alto de pared canal respecto al nivel de agua.**z:** Relación entre proyección horizontal sobre la vertical (talud hidráulico).**e:** Ángulo de inclinación de paredes laterales con horizontal.**c:** Lados sumergidos de canal.**T:** Anchura máxima de canal.**Canal triangular.** Parámetro talud Z_1, Z_2 y por h , como drenaje.

Figura 2*Canal triangular*

Nota. (Cadavid, 2020)

Canal natural. Los canales naturales muestran formas en secciones transversales por procesos para crearlas, de ello que descripción geométrica se hace con sistema de coordenadas cartesiano (Cadavid, 2020)

Figura 3*Canal natural*

Nota. (Guitierrez, 2011)

Los canales abiertos también se ven determinados por distintos factores, Sinche (2018), menciona en su investigación que los factores influyentes en los canales abiertos son:

Las condiciones del lugar. Que hace referencia al revestimiento o ausencia de este para el aguante ante el empuje del suelo, así mismo limitaciones topográficas delimitan tomar pendiente compatible con naturaleza de revestimiento según costo, seguridad, materiales disponibles, etc. Esto para el transporte de un gasto Q . El tipo de revestido, el cual dependerá de la disponibilidad, costo, propósito del canal y método de construcción, cuyos materiales pueden ser concreto, madera, acero,

etc., y el caudal de circulación.

Por otro lado, también se determinan factores que influyen en la dinámica de flujos, como la tirante del canal, la velocidad y el tipo de flujo

Tirante. Rojas y Olarte (2021) en su investigación mencionan al tirante de agua, también denominado como profundidad de flujo, como distancia vertical desde punto más bajo de canal hasta superficie libre, asimismo, puede ser crítico y normal dependiendo del estado del flujo

Velocidad. Magnitud física que denota relación entre desplazamiento y tiempo tarda cambiar de posición (Rojas, y otros, 2021)

En canal, velocidad no es uniforme por la superficie libre y paredes del canal que alteran su velocidad (Guitierrez, 2011), en tanto que magnitud velocidad varía de punto en punto en el plano, este se transforma a lo largo del canal por factores como pendiente de canal, rugosidad de paredes laterales y de fondo, irregularidad de sección transversal y modificaciones de alineamiento; modificación temporal de caudal da cambios de igual índole a velocidad, por tanto velocidad tiene una representación funcional completa que es $V_s = V_s(x, y, z, t)$, en tanto que si flujo es transitorio, la velocidad media en sección ubicada en "s" y en tiempo "t", está determinada por $V = V(s, t)$, respecto a la velocidad máxima, este se da normalmente entre 0.05 y 0.25 de la profundidad del canal, en la que factores como el viento, cambios en las corrientes del canal o presencia de sectores transversales no influyen usualmente sobre esta (Cadavid, 2020).

Tipo de flujo. De acuerdo a French (2017) el tipo de flujo se puede definir por diferentes factores, tales como, la variación del tirante en el tiempo y en el espacio, donde si se toma el tiempo como variante, estos pueden ser de flujo permanente que en teoría mantiene el mismo tirante en el tiempo, este a su vez

puede ser de flujo discontinuo, y flujo no permanente, donde tirante tiene que cambiar en el tiempo. Si se toma el espacio como variable, el flujo sería uniforme, si la tirante de flujo no varía con distancia, o no uniforme si sucede lo contrario, puede ser rápidamente variado o gradualmente variado. En la práctica, para la determinación del tipo de flujo se toma en cuenta los valores promedios para de esa manera ser más útiles. Por otro lado un flujo puede ser laminar, cuando fuerzas de viscosidad son más grandes que fuerzas inerciales ($R \leq 500$); turbulento, cuando fuerzas inerciales son relativamente más grandes que fuerzas de viscosidad ($12,500 \leq R$); y transicional ($500 \leq R \leq 2,500$), esto están basados en el parámetro de Reynolds, este es

$R = UL/v$, donde: U = velocidad característica de flujo, luego de tomar velocidad promedio de flujo, L = longitud característica y v = viscosidad cinemática

También se pueden clasificar como homogéneos o estratificados, de acuerdo a variación de densidad en flujo; tal que resistencia de estratificación de densidad, es número gradiente Richardson ($Ri = g(dp/dy)/\rho(du/dy)^2$) n donde: g = aceleración de gravedad, P = densidad de fluido, y = coordenada vertical

dp/dy = gradiente de velocidad en dirección vertical

du/dy = gradiente de densidad en dirección vertical

Finalmente, dependiendo magnitud de proporción de fuerzas de gravedad e inercia, flujo clasificado como sub crítico, crítico o supercrítico. Parámetro en que se basa clasificación se llama número de Fronde tal que $F = \frac{U}{\sqrt{gL}}$, donde U = velocidad característica de flujo y L = longitud característica; tal que $F = 1$, flujo está en régimen crítico con fuerzas inerciales y gravitacionales en equilibrio. $F < 1$, flujo está en régimen sub crítico, y fuerzas gravitacionales predominan. $F > 1$, flujo está en un régimen supercrítico y fuerzas de inercia predominan.

2.2.1.1. Precipitaciones. Toda agua meteórica recogida de superficie terrestre, lluvia, nieve, granizo, rocío y escarcha. Según su origen estas pueden ser ciclónicas, provocadas por borrascas o ciclones; de convección, producida por el ascenso de bolsas de aire caliente y precipitaciones orográficas, que se forman por la elevación de aire húmedo ante una barrera montañosa. Por otro lado, para establecer precipitación máxima se recurre a una serie pluviométrica larga, generalmente más de 20 años, para establecer probabilidad de que precipitaciones de siguiente año superen determinado valor; por otro lado, la intensidad de la precipitación se mide a través del promedio diario o como intensidad máxima para un intervalo de tiempo (Sanchez, 2022).

2.2.1.2 Características de suelo. Dependen de varios factores: tipo de roca que los originó, antigüedad, relieve, clima, vegetación y animales que viven en él, además de modificaciones por actividad humana.

Tamaño de partículas minerales puede determinar propiedades físicas como textura, estructura, capacidad de drenaje de agua, aireación. Las partículas son más grandes en *suelos arenosos*, *suelos limosos* por su lado, tienen gránulos de tamaño intermedio, son pesados y con pocos nutrientes, y los *suelos arcillosos* están formados por partículas muy pequeñas, pesados, no drenan ni se desecan fácilmente y contienen buenas reservas de nutrientes. Al secarse se endurecen y forman terrones. Son fértiles, pero difíciles de trabajar cuando están muy secos (FAO, s.f.).

Clasificación de suelos

De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el suelo se clasifica de acuerdo al tamaño y textura de partículas, y su símbolo se representa

por dos letras. Para realizar la clasificación se debe hacer previamente la granulometría del suelo mediante la técnica del tamizado 200,

Suelos se clasifican en: gruesos, suelos finos y suelos orgánicos, siendo los gruesos aquellos que no pasan el tamiz, y los finos aquellos que logran pasar, a su vez, los suelos gruesos se dividen en gravas y arena, y se puede determinar a través del tamiz N°4. Suelos finos se dividen en 3 grupos limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) y limos y arcillas orgánicas (O), y estos se subdividen a su vez de acuerdo a límite líquido. Si límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo general la letra L (low compresibility). Si es mayor de 50 se añade la letra H (hight compresibility), así se obtienen los siguientes tipos de suelo:

ML: Limos Inorgánicos de baja compresibilidad.

OL: Limos y arcillas orgánicas.

CL: Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad.

CH: Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

MH: Limos inorgánicos de alta compresibilidad.

OH: arcillas y limos orgánicas de alta compresibilidad.

Entre los tipos de suelos según el SUCS si tienen a: Grava (G), Arena (S), Limo (M), Arcilla (C), Orgánico (O), Turba (Pt)

2.1.1.3. Parámetros topográficos

Topografía. Dafonte et al. (2014) En su artículo mencionan que la topografía está muy relacionada con las propiedades del suelo, esta gobierna la distribución espacial de propiedades físicas, químicas y biológicas de suelo. Así mismo, existencia de modelos de elevación digital de mejor calidad, y la existencia de herramientas de análisis geográfico ha permitido obtener de una manera sencilla parámetros topográficos como: pendiente, curvatura, índices de humedad

topográficos, índice de potencia de corriente, área de drenaje, índice de posición topográfico.

2.2.2. Factores que influyen en deslizamientos

Criterios de clasificación de factores. La clasificación se basa en criterios como **Según influencia en equilibrio por relación entre fuerza de gravedad y fuerza resistente.** Estos rompen equilibrio desde 2 puntos de vista.

1. Incrementando fuerza de gravedad al cargar más peso de masa propensa, por ejemplo, lluvias, granizo, o causadas por actividades humanas como edificaciones, vertederos, etc.
2. Reduciendo resistencia de terreno de diversos modos:
 - Reduciendo o eliminando soporte lateral, efecto que realizan factores como poder erosivo de lluvia, corrientes o construcciones de obras lineales, eliminación de muros, etc.
 - Vibraciones en terreno por terremotos y explosiones, maquinaria y tráfico por carretera o aire.
 - Reducción de soporte de subsuelo por disolución de materiales granulares y solubles, minería, pérdida de resistencia o colapso de material.
 - Incremento de presión lateral en grietas y cavernas por congelación de agua, hidratación de minerales y movilización de tensiones residuales.

b) Según tiempo de influencia.

1. Permanentes: características de terreno, sin cambio o que varían de punto de vista de perspectiva humana, como pueden ser geología y topografía.
2. Variables: aquellos, relacionados con característica entorno, que cambian rápidamente como resultado de alguna variación en dicho entorno, como,

por ejemplo, vibración del suelo, elevación del nivel de aguas, etc.

c) Según su campo de acción.

1. Geometría: cambian geometría de terreno, ejemplo: erosión hídrica o eólica, acción humana, etc.
2. Material: factores que dañan material debilitándolo, ejemplo: erosión, degradación química, meteorización, etc.
3. Tensiones: se dividen en a fuerzas externas: debidas a la acción humana, terremotos y la lluvia; y aquellos que afectan a las presiones intersticiales provocando el aumento de las mismas como es el caso de las precipitaciones y los terremotos.

2.2.2.1 Factores influyentes en desencadenamiento de deslizamiento

1. Factores Naturales. En este caso destaca tipo de material relacionado con inestabilidad que puede producirse. Los terrenos pueden se pueden dividir en rocas, suelos y derrubios o materiales de relleno.

Antes de desencadenarse un deslizamiento se da una movilización de los materiales de dos tipos:

- Mecánica: incluye disgregación granular, descamación y fragmentación.
- Química: meteorización salina y acción bioquímica de suelos.

Tipo de material influye en forma de pendiente y rotura.

En materiales homogéneos isótropos, superficie de rotura es circular.

Si material tiene planos de debilidad, rotura según superficie plana, creándose movimiento en planos de deslizamiento.

Pendientes rocosas con materiales coluviales causan deslizamientos con superficies de rotura planas. Por otro lado, destaca la pendiente, que mientras más inclinada es, más influencia de gravedad y más probabilidad de un deslizamiento.

Dependerá de tipo de material constituyente y humedad. El agua, factor natural como factor condicionante y causante de deslizamientos. Se puede presentar como corrientes en ríos, corrientes subterráneas, lluvias, hielo, nieve, etc. Disminuye la estabilidad de las pendientes, así como tiene un efecto de carga que añade fuerza gravitatoria al terreno. Además, destaca su efecto erosivo, causa 2 tipos de debilitamiento: químico, disminuye ángulo de rozamiento y resistencia al corte y debilitamiento físico por perder material por erosión. Actividad sísmica, cuya aceleración de la propagación de las vibraciones de diferentes frecuencias, originan fluctuaciones en estado de esfuerzos en el interior de terreno afectando equilibrio. Erupciones volcánicas, Estos alteran resistencia de suelos y rocas, incrementando y reduciendo cámaras de magma, causan fluctuaciones de niveles de lagos de lava e incrementa temblores de tierra. La actividad volcánica puede provocar una sobre elevación del terreno y causar deslizamientos. La actividad Biológica, este condiciona acción de factores relevantes. Destaca la acción de vegetación que puede ayudar a tener estabilidad de terreno con raíces, contribuye drenaje y atenúa degradación superficial; pero algunas raíces disgregan terreno reduciendo resistencia.

2. Factores por Actividad Humana

Principalmente minería y obra civil, pueden inducir, acelerar o retardar deslizamientos. Desarrolla y construye infraestructura, obras lineales y excavaciones de pendiente en desmontes (Gonzales, 2003).

Estudio hidrológico

Área de cuenca de recepción.

Castillo (2006) a más área, más cantidad de agua que captará y más volumen de flujo. (gutierrez, 2021).

Pendiente.

Castillo (2006) a más pendiente, más velocidad de flujo y más posibilidad de erosión e inestabilidad de zona. (gutierrez, 2021)

Clima.

Castillo, (2006) menciona que, donde produzca fuertes lluvias se activará quebrada y flujo de escombros. (gutierrez, 2021)

Tipo de suelo.

Depende de tipo de suelo (material fino y grueso), resistencia a efecto erosivo, permeabilidad, cobertura vegetal son factores de contribución.

Reología de flujos de detritos

Flujos de detritos son como fluido no permanentes, cantidad de solidos transportados incrementa, mezcla pasa densidad de agua, por tanto, resistencia a deformación crece, flujo newtoniano su comportamiento es lineal es permanente.

Solís (1995) decía que transformación reológica es por fluido intersticial y colisiones entre partículas que crean leyes constituyentes de mezcla, si concentración de finos pasa 10% fluido intersticial lubrica granos por tanto controla dinámica de mezcla por otro lado si tamaño de granos es pequeño la viscosidad domina la mecánica de fluido.

Sotelo Ávila (1997) Shames (1995), señala a fluidos newtonianos donde fuerza tangencial entre 2 láminas separadas a distancia (dy), y que se desplaza de acuerdo al perfil parabólico de velocidades (v) y $(v+(av/ay) dy)$. (Ccama, 2018)

Los no newtonianos son igual de viscosos donde esfuerzo cortante se relaciona con tasa de corte (av/ay). Ley de potencia describe conducta de materiales viscosos.

$$\tau = k(av/ay)^n$$

Para fluido newtoniano $k=u$ y $n=1$, para otros valores de n sería fluido no newtoniano.

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).

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 se logra a través de la integración numérica de las ecuaciones de movimiento y conservación del volumen del fluido, bien sea para inundaciones o para flujos de detritos. (Gutiérrez, 2021)

Software HEC-RAS v-6.1

Es un software de modelamiento hidráulico HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System), tiene la función de calcular los perfiles del flujo, del mismo modo considera el modelamiento de transporte de sedimentos. Los resultados de la simulación por un flujo no permanente gradualmente variado nos

permiten observar los umbrales máximos y mínimos como también las velocidades máximas y mínimas se basa en la ecuación de continuidad y la ecuación de conservación de momento.

Ecuación de continuidad.

describe la conservación de la masa para un sistema unidimensional y que se representa por la siguiente ecuación.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} - q_1 = 0$$

Donde:

x: La distancia a lo largo del canal Q: Flujo

t: Tiempo A: área

S: Almacenamiento de porciones de seccion transversal no transportados

q1: Flujo de entrada lateral por unidad de distancia

Ecuación de momento.

Se representa por la siguiente ecuación.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (VQ)}{\partial x} + gA (\frac{\partial z}{\partial x} + sf) = 0$$

Donde:

g: Aceleración de la gravedad

Sf: 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.

Detritos

Los detritos son fragmentos o restos de materia orgánica o inorgánica que resultan

de la descomposición, desgaste o desintegración de sustancias. Estos fragmentos pueden ser pequeños trozos de roca, madera, hojas, conchas u otros materiales que se acumulan en el suelo o en otros entornos naturales como resultado de procesos naturales o actividades humanas. Los detritos también pueden referirse a restos de comida, desechos orgánicos o cualquier tipo de residuo que queda después de un proceso o actividad. En resumen, los detritos son fragmentos o restos de materia que se encuentran en la naturaleza o en distintos entornos.

Clasificación de los detritos

La clasificación de detritos, en el contexto de la geología y la geomorfología, se refiere a la categorización de los materiales que componen los depósitos acumulados por procesos de erosión, transporte y deposición, generalmente en el entorno de la superficie terrestre. Estos materiales, conocidos como detritos, son fragmentos de roca, sedimentos y otros materiales que se desprenden y se mueven debido a la acción de agentes geológicos como el agua, el viento, el hielo y la gravedad. La clasificación de detritos se basa en diversas características, como el tamaño de las partículas, la composición, la forma y la forma en que se transportan y depositan. Aquí hay una clasificación básica de los detritos:

1. Por tamaño de partículas:

- **Detritos gruesos:** Incluyen fragmentos grandes de roca, como bloques y cantos rodados.
- **Detritos finos:** Comprende partículas más pequeñas, como arena, limo y arcilla.

2. Por origen geológico:

- **Detritos ígneos:** Provenientes de la erosión de rocas ígneas.
- **Detritos sedimentarios:** Originados a partir de la erosión de rocas sedimentarias.

- **Detritos metamórficos:** Resultantes de la erosión de rocas metamórficas.

3. Por forma de transporte:

- **Detritos fluviales:** Transportados por ríos y arroyos.
- **Detritos glaciares:** Transportados por glaciares.
- **Detritos eólicos:** Transportados por el viento.
- **Detritos marinos:** Transportados por corrientes marinas y olas.

4. Por composición mineral:

- **Detritos silíceos:** Contienen principalmente minerales de sílice, como cuarzo.
- **Detritos carbonatados:** Con una alta proporción de minerales carbonatados, como calcita.
- **Detritos arcillosos:** Dominados por minerales arcillosos.

5. Por forma y textura:

- **Detritos angulares:** Con partículas con bordes afilados y esquinas.
- **Detritos redondeados:** Con partículas suavizadas y redondeadas debido al transporte.

6. Por origen y proceso de deposición:

- **Detritos aluviales:** Depositados por corrientes de agua.
- **Detritos glaciares:** Depositados por glaciares en su retroceso.
- **Detritos eólicos:** Depositados por el viento.
- **Detritos coluviales:** Depositados en laderas de montañas debido a la gravedad.
- **Detritos marinos:** Depositados en el fondo del mar debido a procesos marinos.

Softwares usados en el procesamiento de los datos

ArcGIS

ArcGIS es una plataforma de software desarrollada por Esri (Environmental

Systems Research Institute) que se utiliza ampliamente en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Permite a los usuarios crear, editar, analizar y visualizar datos geospaciales en forma de mapas interactivos. ArcGIS es ampliamente utilizado en la cartografía, la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, la toma de decisiones empresariales y muchas otras aplicaciones donde la ubicación y la geografía son fundamentales. Ofrece una variedad de herramientas y extensiones para el análisis espacial y la creación de mapas.

Hec-RAS

Hec-RAS es un software desarrollado por el US Army Corps of Engineers que se utiliza para el análisis de flujo en ríos y canales. Está diseñado específicamente para modelar y analizar inundaciones, evaluar la capacidad de flujo de ríos y calcular los niveles de inundación en diferentes escenarios. Hec-RAS se utiliza comúnmente en ingeniería hidráulica y civil para la planificación y el diseño de infraestructuras relacionadas con el agua, como puentes, presas, sistemas de control de inundaciones y más

Hec HMS

Hec-HMS es otro software desarrollado por el US Army Corps of Engineers que se utiliza para modelar y simular el ciclo hidrológico en cuencas fluviales. Permite a los ingenieros y profesionales del agua realizar análisis de precipitación, escorrentía, infiltración y flujo en cuencas, lo que es fundamental para la gestión de recursos hídricos, la planificación de embalses, la predicción de crecidas y la evaluación de impactos de eventos climáticos en el flujo de agua en una región específica. Hec-HMS es una herramienta importante para la gestión de recursos hídricos y la planificación de proyectos relacionados con el agua.

ydrognomon

Hydrognomon es un software para la gestión y análisis de datos hidrológicos. La parte principal del análisis de datos hidrológicos consiste en aplicaciones de procesamiento de series de tiempo, tales como la agregación y regularización de intervalos de tiempo, interpolación, análisis de regresión y llenado de valores faltantes, pruebas de consistencia, filtrado de datos, visualización gráfica y tabular de series de tiempo

2.3 Marco conceptual

- **Flujo de detritos:** “Es una masa móvil, saturada en agua, compuesta de una mezcla de rocas, sedimentos, agua y gases, donde entre el 50 y el 80% del material es sólido y se encuentra suspendido en agua” (SERNAGEOMIN, 2017)
- **Deslizamiento:** Es “todo desplazamiento de una masa de terreno que se moviliza por efecto de las fuerzas gravitatorias. Los materiales movilizados pueden ser rocas, derrubios, suelos o combinaciones de los mismos”
- **Caudal de río:** Se refiere a la cantidad de agua que fluye a través de una sección transversal y se expresa en volumen por unidad de tiempo (Organización Meteorológica Mundial, 1994)
- **Pendiente:** “Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical” (Suarez, 1998)
- **Susceptibilidad:** Capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado (Sepulveda, 1998)
- **Escarpe principal:** Es la superficie de gran pendiente que aparece en la

periferia del hundimiento superior. Se desarrolla debido al material que desliza hacia abajo y hacia adentro respecto de la superficie estable, y forma parte de la superficie de rotura (Gonzales, 2003)

- **Erosión:** Camargo, Pacheco y López (2017) mencionan que este es un fenómeno natural que implica el desprendimiento de suelo y/o fragmentos de roca .
- **Meteorización:** Colegial et al (2017) lo definen como, el conjunto de procesos que cambian las características originales de la roca, la cual se somete a los agentes activos de la intemperie como la presencia de agua, la temperatura y la actividad de los organismos .
- **Degradación del suelo:** Se refiere a la disminución en la capacidad productiva del suelo resultado de cambios adversos en sus propiedades hidrológicas, biológicas, químicas y físicas (Lopez, 2002).
- **Topografía:** Ciencia aplicada que estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada (Alcantara, 2014).
- **Vulnerabilidad:** Es el grado de exposición a un peligro que puede presentar un área, asentamiento humano u obra. Puede ser medido en una proporción (0 a 100%) del costo susceptible a ser perdido por la ocurrencia de un evento peligroso dado (Sepulveda, 1998).
- **Fluidos:** Castellanos et al. (2017) señala que estos son elementos líquidos o gaseosos que al tener baja cohesión molecular adoptan la forma del recipiente que los contiene.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El análisis del comportamiento hidráulico para la evacuación de flujo de detritos es significativo en el canal de Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.

3.1.2 Hipótesis específicas

1. La sección del canal influye en el comportamiento de flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito Tamburco, de Abancay, 2022.
2. El caudal máximo influyen en el comportamiento de flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.
3. Los parámetros topográficos influyen en el comportamiento de flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.

3.2 Método

El método inductivo-deductivo es una metodología de investigación que combina la observación y el razonamiento lógico para analizar un tema

específico. En el contexto del "Análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos

El desarrollo de la investigación estuvo bajo un enfoque cuantitativo; de acuerdo con Arispe et al. (2020). Este se encuentra bajo el enfoque positivista, donde interesa la medición y cuantificación, que utiliza la estadística como herramienta. La ruta cuantitativa es apropiada cuando se quiere estimar las magnitudes u ocurrencia de los fenómenos y se pretende describir, explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos (Sampieri, 2018).

3.3 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, de acuerdo a Arias y Covinos (2021), este busca resolver un problema práctico a través de la teoría desarrolladas en investigaciones básicas, es decir, en base a investigación básica, pura o fundamental en las ciencias fácticas o formales se formulan problemas para resolver los problemas de la sociedad.

3.4 Nivel o alcance de investigación

El alcance de la presente investigación fue descriptivo, de acuerdo a Sampieri (2018) , estos miden o recolectan datos y reportan información sobre diversos conceptos, variables, aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o problema a investigar. En ese sentido se pretende dar a conocer el comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay y su papel en la evacuación del flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay, 2022.

3.5 Diseño de investigación

En el diseño fue no experimenta porque no se manipulo ninguna de las variables intencionalmente (Hernandez, y otros, 2018) Es de corte longitudinal

porque estudia las características de las variables en un proceso de cambio, el cual es recomendable cuando se tratan problemas que involucren situaciones sociales, tendencias, comportamientos (Arias, y otros, 2021).

3.6 Operacionalización de variables

3.6.1 Variable independiente

X: Comportamiento hidráulico de canal

3.6.2 Variable dependiente

Y: Flujo de detritos

Matriz de operacionalización

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	TIPO	ESCALA	VALOR
Variable independiente Comportamiento hidráulico	Aplicación de la mecánica de fluidos para determinar el comportamiento de flujo de agua del canal. Desplazamiento relativo o consecutivo del caudal, ya que generalmente se produce por los fenómenos de las lluvias y por lo cual esto no se puede examinar teóricamente.	forma y las dimensiones físicas de un canal de agua, ya sea natural o artificial, como un río, un arroyo, un canal de riego o un canal de navegación	Sección del canal	Ancho Altura	Cuantitativa	De Razón	m m
		la máxima cantidad de agua que fluye en un río, arroyo, canal u otro cuerpo de agua en un período de tiempo determinado, generalmente medido en metros cúbicos por segundo (m³/s) o litros por segundo (L/s).	Caudal máximo	Hidrogramas Caudal pico Tiempo de concentración Precipitación Max	Cuantitativa	De Razón	M³/s
		Son medidas o características utilizadas para describir la topografía o la superficie de un terreno o una región geográfica en la Tierra.	Parámetros topográficos	Pendiente	Cualitativa	Ordinal	Llano (-1° - muy baja) Pendiente suave (1° a 5°) Pendiente moderada (5° a 15°) Pendiente fuerte (15° a 25°) Pendiente muy escarpada (+45°)
Variable dependiente Flujo de detritos	Según Oldrich Hungr, el flujo de detritos, como su nombre indica es un flujo muy rápido y extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.	Profundidad del agua o la altura del flujo de material detrito (como lodo, rocas, sedimentos y escombros) en un canal o cauce durante un evento de flujo de detritos	Tirante	Altura o nivel del flujo de detritos	Cuantitativo	De Razón	m
		Velocidad a la que se desplaza una mezcla de materiales sueltos, como rocas, tierra, sedimentos y agua, a lo largo de un terreno	Velocidad	Variación de la velocidad	Cuantitativo	De Razón	m/s
		Propiedades que se utilizan para describir el comportamiento de los materiales en respuesta a fuerzas mecánicas, especialmente en lo que respecta a su fluidez y deformación.	Parámetros reológicos	Concentración volumétrica Esfuerzo de cedencia Viscosidad	Cuantitativo	De Razón	% Pa Pa*s

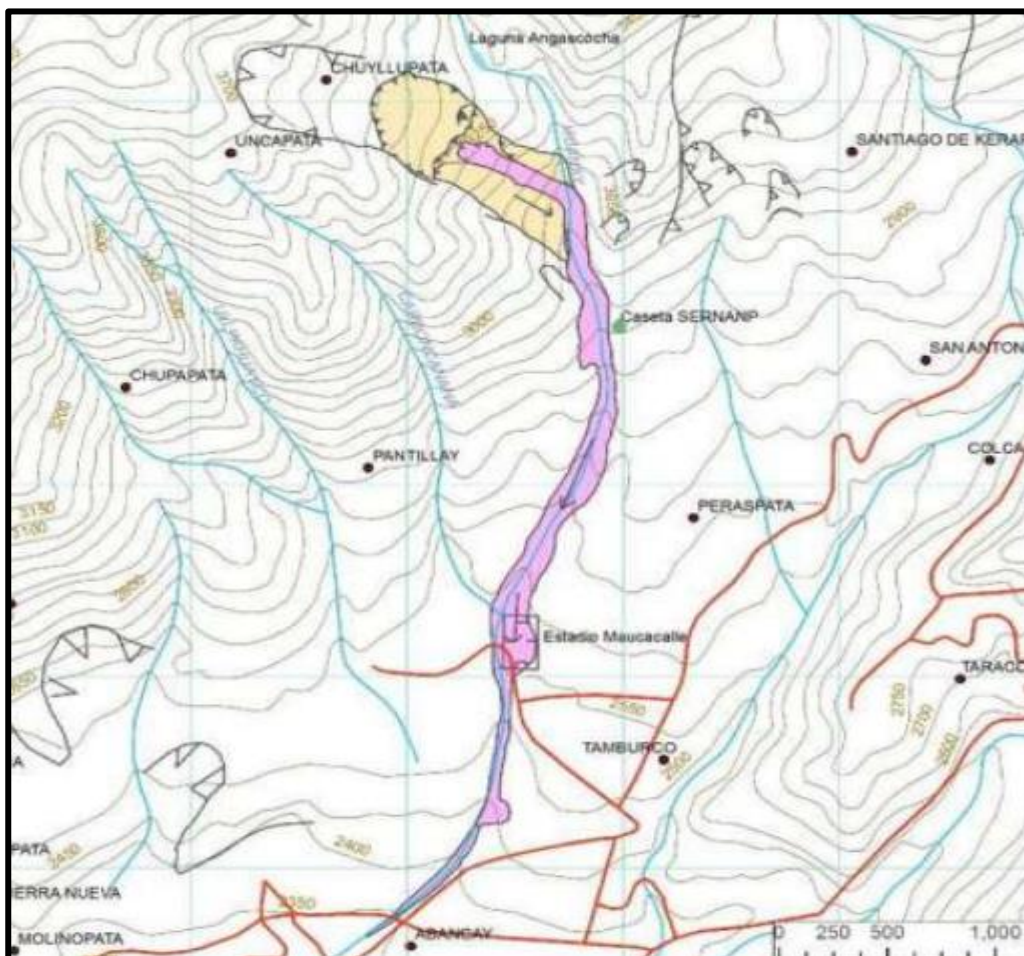
3.7 Población, muestra y muestreo

Población

Es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes delimitada por el problema y por los objetivos del estudio, mediante ella se pueden definir y elaborar instrumentos adecuados para llegar a las conclusiones más relevantes de la investigación (Cabezas, y otros, 2018). En este caso la población está determinada por km 03+106 del canal de Sahuanay, el cual es afluente al Rio Mariño e inicia en el cerro Chuyllupata.

Figura 4

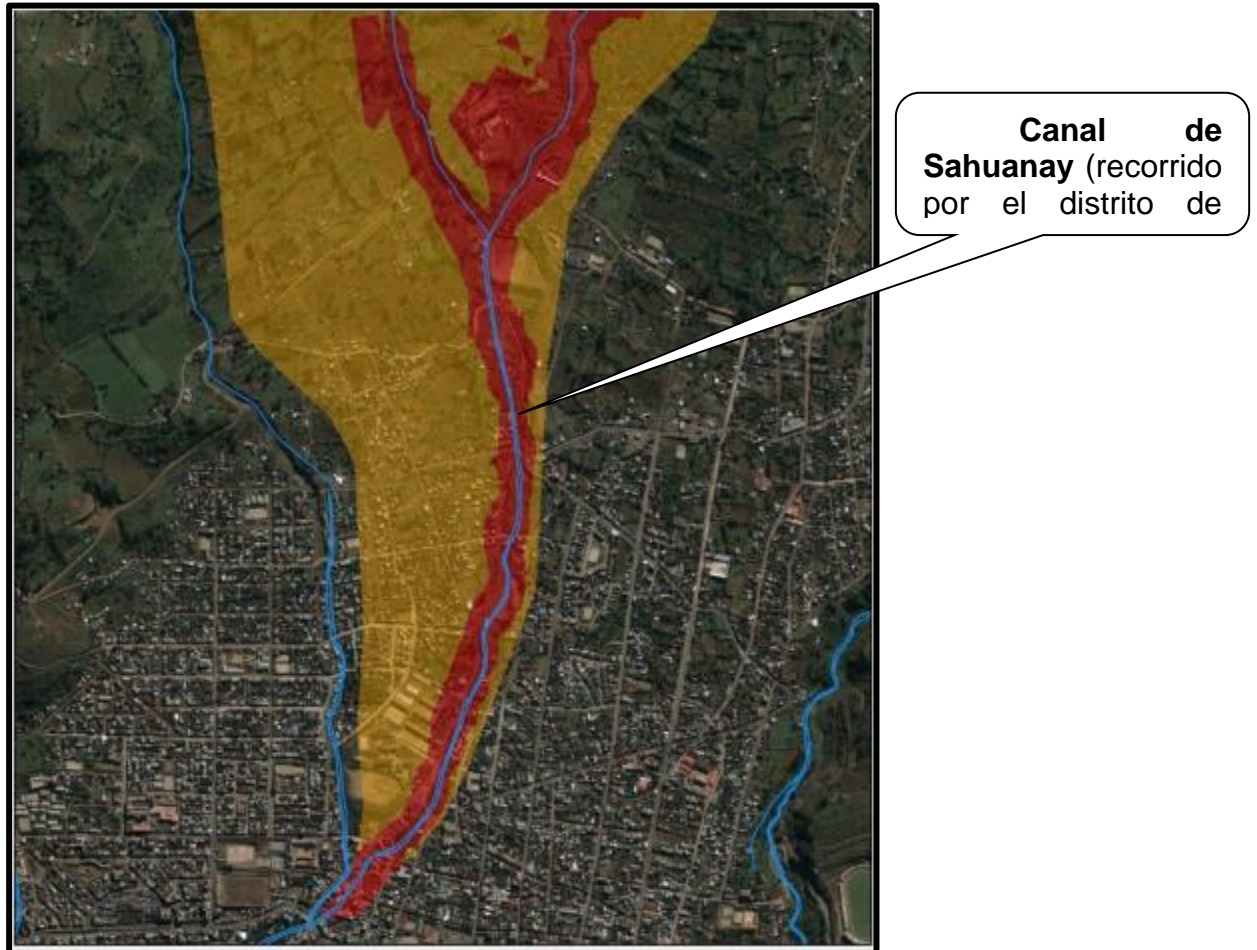
Afluente de flujo de detritos por canal de Sahuanay con origen en cerro Chuyllupata



Fuente: Tomado de (Villacorta, y otros, 2012)

Figura 5

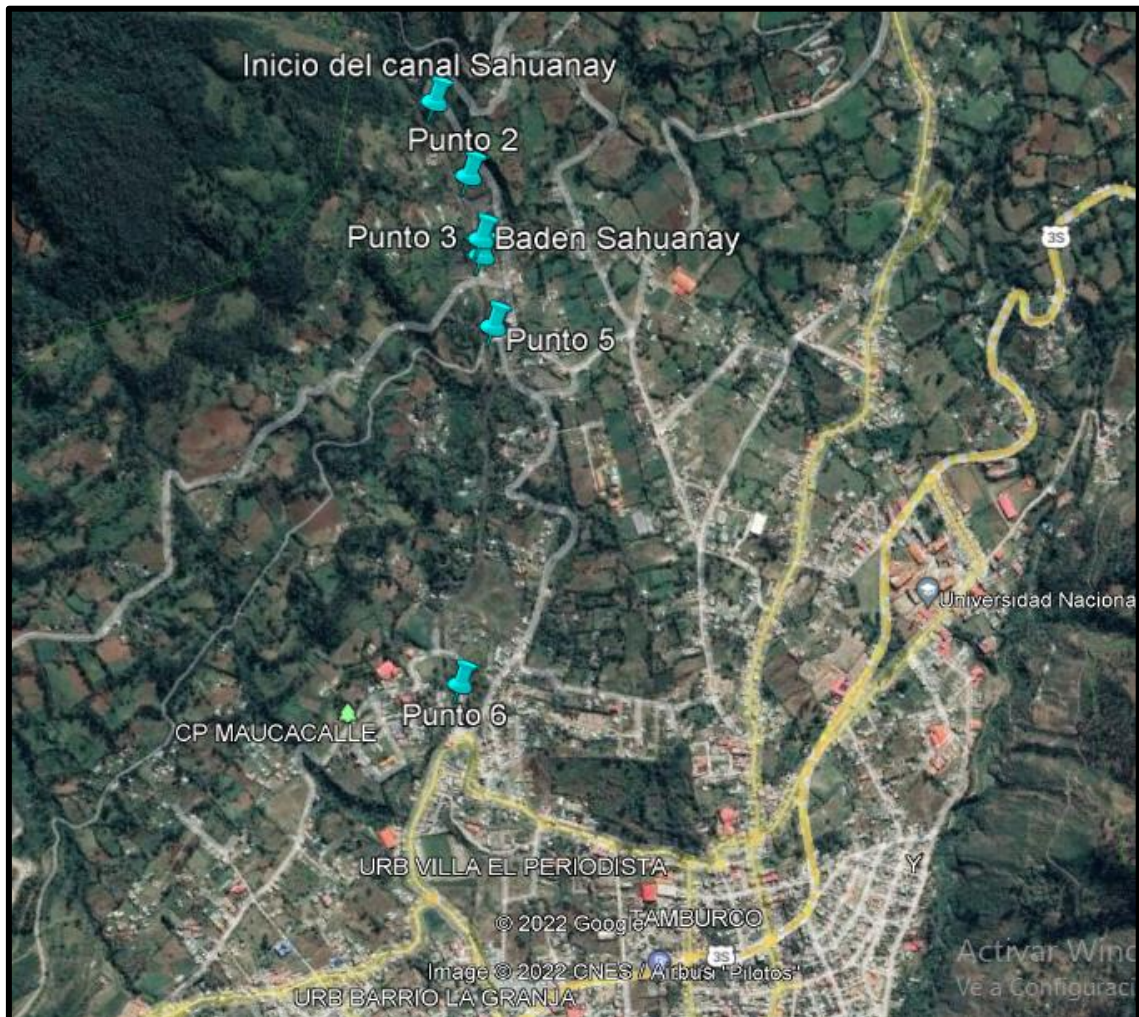
Mapa de peligros a la ocurrencia en masa del canal de Sahuanay, distrito de Tamburco



Fuente: Tomado de (Díaz Calero, 2013)

Muestra

Se refiere al subgrupo de casos de una población en el cual se recolectan los datos que ayuda con la precisión y exactitud de los datos (Arispe, y otros, 2020) en este caso la muestra estará constituida por el tramo Km 2+480 .92 del canal de Sahuanay que pasa por el distrito de Tamburco tomando como punto inicial el inicio del canal.

Figura 6*Puntos de muestra del canal de Sahuanay*

Fuente: Elaboración propia

El muestreo para obtener la muestra es no probabilístico de tipo intencional. Este tipo de muestreo se caracteriza porque los elementos o el subconjunto se seleccionan según sus características bajo el criterio del investigador (Arispe, y otros, 2020)

3.8 Técnicas e instrumentos

3.8.1 Técnicas

La técnica a emplearse es la observación, que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis, este nos provee información confiable y segura para

desarrollar nuestro tema de investigación además que es clave para la obtención de datos verídicos de un hecho, caso o fenómeno, los mismos que pueden ser comprobados.

La técnica en el presente proyecto se divide en los siguientes procesos:

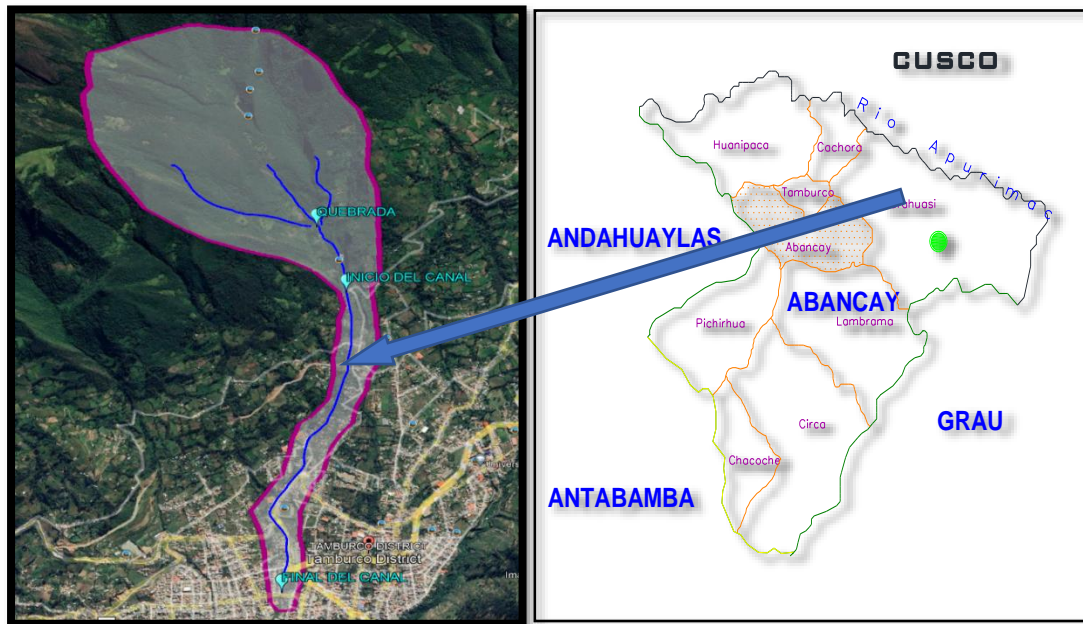
Recopilación de información secundaria.

En esta etapa se procederá a recolectar toda la información de trabajos anteriores, incluye contenido cartográfico y documental haciendo uso especial de aquella información que permita establecer una metodología apropiada para el estudio del comportamiento hidráulico de canales abiertos naturales, así como aquellas variables determinantes que establezcan una relación causal entre el comportamiento hidráulico de canales abiertos naturales y el flujo de detritos.

Desarrollo del trabajo de campo.

Ubicación. En primer lugar, se establecerán las dimensiones del canal, desde su origen hasta su fin respecto al distrito de Tamburco, provincia de Abancay, estableciendo las latitudes, longitudes y altitudes, para así establecer los puntos donde se llevarán a cabo los ensayos, análisis y toma de muestras

Para el acceso a la zona partimos de la avenida 4 de noviembre hasta el canal Sahuanay que presenta una longitud de 2 Km + 480.92 siendo el tipo de vía trocha carrozable

Figura 7*Ubicación del canal de Sahuanay*

Fuente: Elaboración propia

Análisis del objeto de estudio.

En esta etapa se procedió a realizar el reconocimiento de la zona de estudio que es el canal de Sahuanay, donde se realizaron la extracción de 5 muestra de suelo usando en método de la calicata determinado su ubicación bajo las coordenadas geográficas como la altitud y coordenadas este y norte, cuya profundidad de las calicatas fueron de 1.8 metros, para la determinación del tipo de suelo se hicieron los ensayos de análisis granulométrico por tamizado, Límites de Atterberg, contenido de humedad y la gravedad específica de los suelos. Para la clasificación de los suelos se usó el método SUCS y AASHTO que nos permitieron elaborar el perfil estratigráfico de cada calicata.

El reconocimiento inicia en la cabecera del deslizamiento ubicadas en la parte más alta del ámbito del proyecto del sector Sahuanay, donde inicia el

kilómetro 0+000, para luego ir hacia parte baja, km 2+480.92, ubicado en puente de la avenida 4 de noviembre.

Se procedió a realizar el levantamiento topográfico apoyados de una estación total, 1 topógrafo, 3 ayudantes porta prisma y un chofer asignado para el manejo de la unidad vehicular . las labores se iniciaron con a monumentación de 10 puntos de control cuyas dimensiones son: diámetro de 15 cm de base y 35 cm de altura con una placa de metal de 15x15 cm².

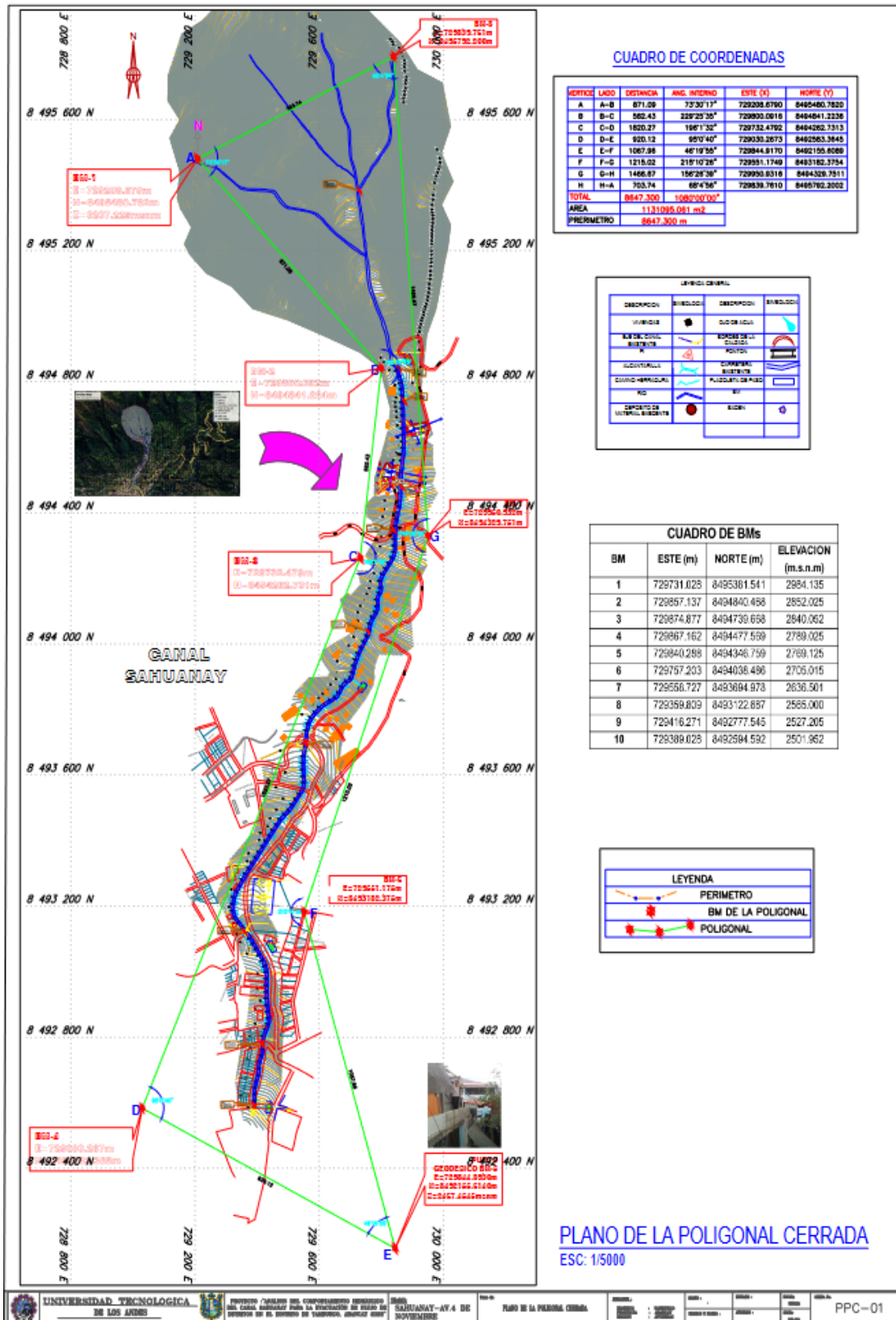
El levantamiento topográfico que fue ejecutado por el método de la poligonal cerrada con la Estación Total ES - 105. A partir de puntos de poligonal o puntos auxiliares se inició con la toma de puntos, tomándose todos los detalles como la ubicación del canal, badenes, entre otras obras existentes ubicados en el área de estudio. La poligonal cerrada consta de 8 lados con un área de 113.11 Ha (hectáreas) y un perímetro de 8647.30 metros .

Los trabajos de gabinete consistieron básicamente en el control topográfico, el cual fue llevado a cabo en forma diaria, los datos correspondientes al levantamiento topográfico han sido procesados en sistemas computarizados, se utilizó el Software "Civil 3D 2018" para realizar el procesamiento y representación de los datos tomados en campo a planos topográficos.

Una vez exportados los puntos se generaron las curvas de nivel a cada 1 metro de desnivel, sucesivamente se ubicaron y dibujaron la quebrada, el trayecto del canal, obras existentes y otros detalles. Se procedió al dibujo de los planos de planta y perfil, planos de secciones transversales y el plano de la poligonal cerrada que delimita el canal de Sahuanay.

Figura 8

Delimitación de la cuenca mediante la poligonal cerrada



Fuente: Elaboración propia

Instrumentos utilizados

- ✓ 01 estación Total Topcon Es 105
- ✓ 03 prismas y 03 porta prismas
- ✓ 01 Trípode
- ✓ 01 wincha de 50m
- ✓ 01 wincha de 5m
- ✓ 01 GPS GARMIN 64s
- ✓ 01 auto

Un estudio hidrológico es un proceso integral que implica la recopilación, análisis y evaluación de datos relacionados con el ciclo del agua en una determinada área geográfica en este caso se estudió el canal de Sahuanay, donde se proporcionó un resumen de los procedimientos comunes que se siguen en un estudio hidrológico. Teniendo en cuenta que la complejidad y los detalles específicos pueden variar según el alcance y los objetivos del estudio.

Se procedió a realizar el estudio hidrológico con los datos históricos de la estación de san Antonio obtenidos por el ANA, se usaron datos hidrológicos de la estación en un periodo de 31 años partiendo del 1987 hasta 2019 considerando los doce meses por año e identificando la precipitación máxima en 24 horas. Se consideraron las precipitaciones máximas en 24 horas para cada año.

Se realizó la detección de los datos dudosos (Outlier), para verificar que no existan datos erróneos basados en parámetros estadístico posteriormente se ordenó los datos en forma ascendente haciendo una corrección de datos recomendado por la OMM con factor de 1.13 por día (P_{max}).

Se realizó el análisis estadístico de datos hidrológicos basados en las pruebas de bondad de ajuste que son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución

elegida. Se uso la prueba de kolmogorov – smirnov que consiste en comparar el máximo valor absoluto para ver a que distribución de probabilidad mejor se ajusta, según los datos analizados y calculados manualmente por el hidrognomon se ajusta mejor nuestros datos a la distribución teórica de LOG PEARSON III.

Estos datos permitirán generar las curvas IDF con el método Dick Peschke es aplicable para Pmax24 horas, teniendo la ecuación de intensidad mediante las curvas IDF, realizamos el hietograma por el método de bloque alterno, se consideró los parámetros de factor de ajuste y el número de observaciones para poder elaborar hietogramas para 100 años de la microcuenca de Sahuanay apoyados por software Arcgis. se calculó los parámetros geomorfológicos y el número de curva, los datos considerados anteriormente permitirán el cálculo del caudal para un periodo de retorno de 100 usando el software Hec hms .

Para el estudio hidráulico, se hizo uso de los puntos topográficos del canal junto con la quebrada y los culvert , el análisis granulométrico del estudio de suelos se aplicó para el cálculo del porcentaje de arcilla. el diámetro 50 del análisis granulométrico del estudio de suelos y los parámetros no newtonianos se ingresaron al programa Hec ras que viene hacer la concentración volumétrica el esfuerzo de cedencia y viscosidad con apoyo de las tablas de o'brien que sirvieron para el modelamiento del flujo en los canales

Los resultados arrojados por el modelamiento en 2d en el software Hec ras – evidenciaron puntos críticos, tirantes y velocidades.

3.8.2 Instrumentos

Según Arizpe (2022) Los instrumentos hacen posible la aplicación de la técnica y son elaborados con pertinencia, considerando las variables e indicadores. Es requerido tener la validez (contenido y constructo) y

confiabilidad de los datos Debe haber una coherencia entre la técnica y el instrumento

3.9 Consideraciones éticas

El análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos, es un tema de gran relevancia tanto desde el punto de vista técnico como ético. A continuación, se presentan algunas consideraciones éticas que deben ser tomadas en cuenta

El análisis hidráulico y las decisiones tomadas deben priorizar la seguridad y el bienestar de la comunidad de Tamburco y sus alrededores. Esto implica garantizar que las soluciones propuestas sean seguras y eficaces, y que se minimicen los riesgos para la población local.

Es esencial involucrar a la comunidad en el proceso de análisis y toma de decisiones. Se deben llevar a cabo consultas públicas, proporcionar información clara y comprensible, y fomentar la participación activa de los residentes locales en todas las etapas del proyecto.

El análisis hidráulico debe considerar los posibles impactos ambientales y buscar minimizarlos. Se debe garantizar la protección de los recursos naturales locales y promover prácticas sostenibles en el diseño y ejecución del proyecto.

3.10 Procedimiento estadístico

Para el análisis se aplicó cálculos matemáticos y para el análisis estadístico se usaron parámetros estadísticos. El estudio presentara contrastación de hipótesis por tratarse de una investigación de alcance descriptivo ya que buscamos conocer y comprender el comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay para la evacuación del flujo de detritos.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

Estudio de suelos

Para este proceso es necesario conocer y aplicar los respectivos ensayos como Análisis Granulométrico por Tamizado, Límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia, contenido de humedad y Gravedad Específica de los Suelos de las cuales obtendremos propiedades importantes las que serán detalladas en el presente informe, estos ensayos a realizar serán de gran experiencia para la interpretación de los resultados obtenidos para luego ser aplicados.

El presente informe documenta los resultados mediante ensayos de laboratorio con el fin de conocer y analizar las propiedades del material para el Proyecto: "análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay 2022."

Ubicación del área de estudio

El terreno en estudio se encuentra ubicado en el canal de Sahuanay en el Distrito de Tamburco en la Provincia de Abancay, Departamento de Apurímac.

Coordenadas Geográficas

Delimitamos el proyecto con las coordenadas georreferenciadas de los puntos en donde se efectuó las calicatas in situ.

La presente tabla evidencia las 5 muestras de suelo tomadas con el propósito de evaluar y determinar el tipo de suelo a su vez conocer el perfil estratigráfico de las 5 calicatas

Tabla 2
Coordenadas Geográficas

Punto	Altitud	Coordenadas	
		Este	Norte
C-01	2831.92m.s.n.m	729860.00 m E	8494718.00 m S
C-02	2768.15 m.s.n.m	729824.00 m E	8494344.00 m S
C-03	2695.31 m.s.n.m	729725.00 m E	8493978.00 m S
C-04	2642.30 m.s.n.m	729603.00 m E	8493702.00 m S
C-05	2514.43 m.s.n.m	729391.00 m E	8492664.00 m S

Nota: coordenadas geográficas.

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3
Consolidado de los ensayos de laboratorio

Calicata	Descripción	Progresiva y/o sector	Contenido de humedad%	Gravedad específica	Limites L.I l.p	Índice de plasticidad	Clasificación SUCS AASHTO
01	CANAL SAHUANAY	0+141	5.16	2.670	21.08 16.09	4.99	GC-GM A-1-b
02	CANAL SAHUANAY	0+518	5.59	2.682	20.95 16.08	4.87	GC-GM A-1-b
03	CANAL SAHUANAY	0+913	5.80	2.685	20.90 16.12	4.78	GC-GM A-1-b
04	CANAL SAHUANAY	1+240	5.58	2.665	20.92 16.22	4.70	GC-GM A-1-b
05	CANAL SAHUANAY	2+402	4.94	2.665	20.91 16.28	4.63	GC-GM A-1-b

Nota: consolidado de los ensayos de laboratorio.


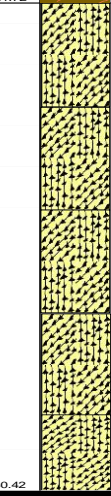
Fuente. Elaboración propia

La presente tabla muestra el consolidado de los resultados de laboratorio de las 5 muestras tomadas para la evaluación del contenido de humedad, gravedad específica, límites de consistencia y el índice e plasticidad para la determinación de los tipos de suelo de cada muestra.

Perfil estratigráfico de las calicatas

Figura 9

Calicata 1 progresiva Km 0+141

REGISTRO DE SONDAJES						
PROF. (m)	COTA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	
					SUCS	AASHTO
0.00	2831.92		Material de cultivo de color marrón oscuro con presencia de raíces	E-1		
0.20	2831.72		Grava arcilloso - limosa con arena con bloques, con presencia de fragmentos de roca mayores a 15 pulgadas.	E-2	GC - GM	A-1-b
1.50	2830.42					

Nota: Perfil estratigráfico de calicata N°1

Fuente: Elaboración propia

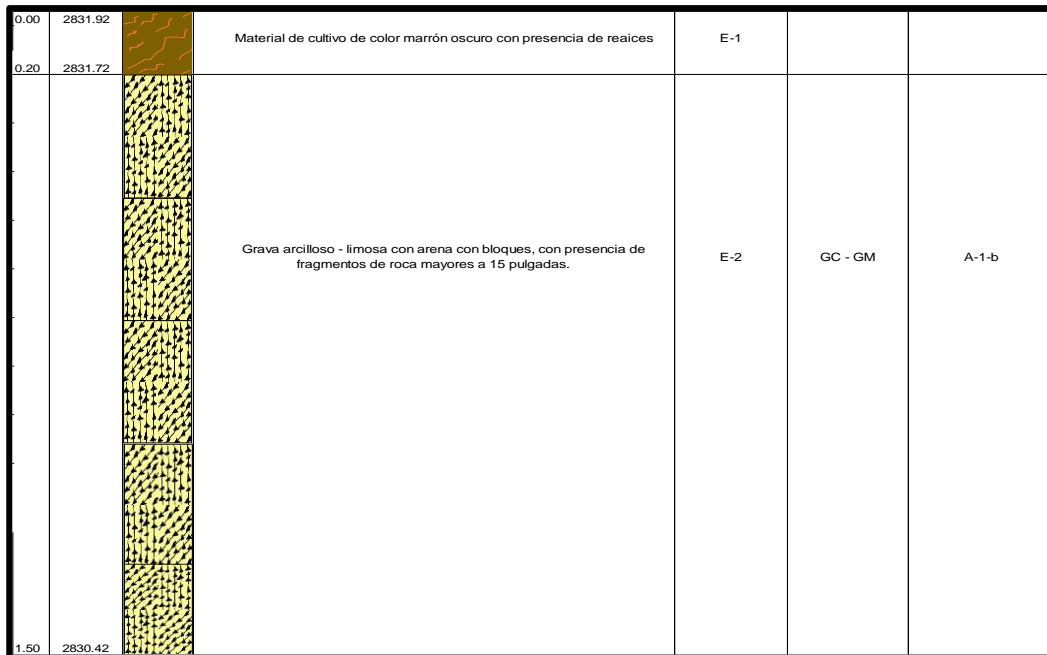
Figura 10

Calicata 1 progresiva Km 0+141



Nota: vista de excavación de la calicata N°1

Fuente: Elaboración propia

Figura 11*Calicata 2 progresiva Km 0+518*

Nota: Perfil Estratigráfico de calicata N°2

Fuente: Elaboración propia



Figura 12*Calicata 2 progresiva Km 0+518*

Nota: vista de excavación de la calicata N°2

Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Figura 14*Calicata 3 progresiva Km 0+913*


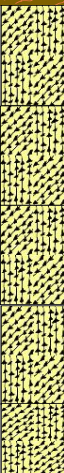
PROF. (m)	COTA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	
					SUCS	AASHTO
0.00	2695.31		Material de cultivo de color marrón oscuro con presencia de raíces	E-1		
0.25	2695.06		Grava arcilloso - limosa con arena con bloques, con presencia de fragmentos de roca mayores a 15 pulgadas.	E-2	GC - GM	A-1-b
1.50	2693.81					

Nota: Perfil estratigráfico de calicata N°3
Fuente: Elaboración propia

Figura 15*Calicata 3 progresiva Km 0+913*

Nota: vista de excavación de la calicata N°3
Fuente: Elaboración propia

Figura 16*Calicata 4 progresiva Km 1+240*


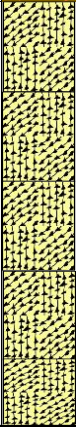
PROF. (m)	COTA	SIMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	ESTRATO	CLASIFICACION	
					SUCS	AASHTO
0.00	2642.30		Material de cultivo de color marrón oscuro con presencia de raíces	E-1		
0.20	2642.10		Grava arcilloso - limosa con arena con bloques, con presencia de fragmentos de roca mayores a 15 pulgadas.	E-2	GC - GM	A-1-b
1.50	2640.80					

Nota: Perfil estratigráfico de calicata N°4
Fuente: Elaboración propia

Figura 17*Calicata 4 progresiva Km 1+240*

Nota: vista de excavación de la calicata N°4
Fuente: Elaboración propia

Figura 18*Calicata 5 progresiva Km 2+402*

PROF. (m)	COTA	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	ESTRATO	CLASIFICACIÓN	
					SUCS	AASHTO
0.00	2514.43		Material de cultivo de color marrón oscuro con presencia de raíces	E-1		
0.30	2514.13		Grava arcilloso - limosa con arena con bloques, con presencia de fragmentos de roca mayores a 15 pulgadas.	E-2	GC - GM	A-1-b
1.50	2512.93					

Nota: Perfil estratigráfico de calicata N°5

Fuente: Elaboración propia

Figura 19*Calicata 5 progresiva Km 2+402*

Nota: vista de excavación de la calicata N°5

Fuente: Elaboración propia

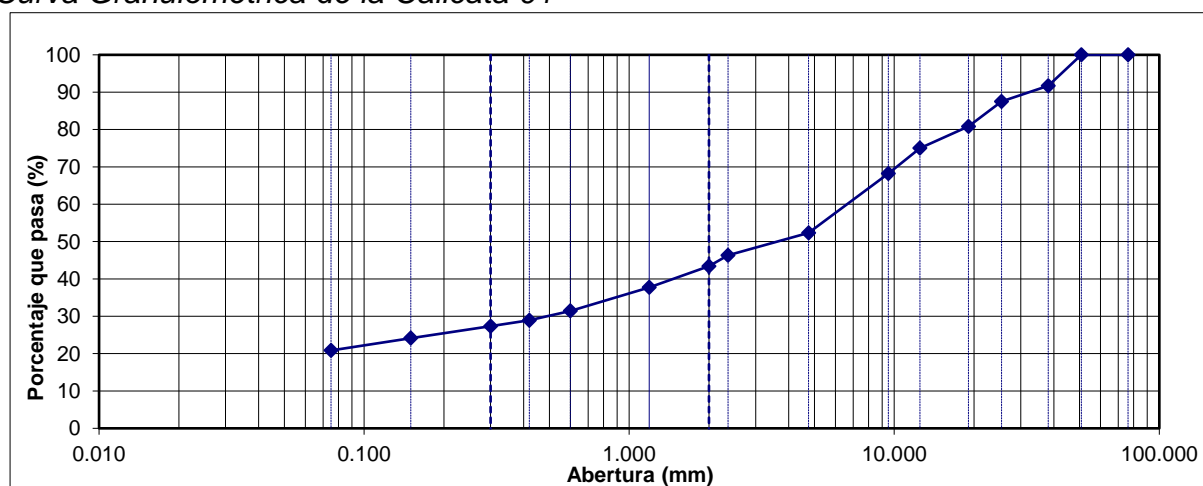
Análisis granulométrico del canal

Tabla 4
Análisis Granulométrico de la Calicata 01

Calicata : 01 Progresiva Km 00+141						Tamaño Máximo	
Muestra : 01						Peso inicial seco :	10141
(Prof.) : 1.50						Peso lavado seco :	199.2
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación	Descripción de la muestra
3"	76.2		0.00	0.00	100.00		
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.1	842	8.30	8.30	91.70		
1"	25.4	425	4.19	12.49	87.51		
3/4"	19.05	679	6.70	19.19	80.81		
1/2"	12.5	588	5.80	24.99	75.01		
3/8"	9.5	689	6.79	31.78	68.22		
Nº 4	4.75	1612	15.90	47.68	52.32		
Nº 8	2.36	57.4	6.01	53.68	46.32		
Nº 10	2	27.7	2.90	56.58	43.42		Clasificación: SUCC: GC - GM
Nº 16	1.19	54.4	5.69	62.28	37.72		ASTHO: A-1-b
Nº 30	0.6	60.2	6.30	68.58	31.42		
Nº 40	0.42	23.9	2.50	71.08	28.92		
Nº 50	0.3	15.2	1.59	72.67	27.33		
Nº 100	0.15	30.5	3.19	75.86	24.14		
Nº 200	0.075	31.5	3.30	79.15	20.85		
< Nº 200	Fondo	199.2	20.85	100.00	0.00		

Nota. Granulometría calicata 1

Fuente: datos procesados en el laboratorio.

Figura 20
Curva Granulométrica de la Calicata 01


Nota. Curva Granulometría calicata 1

Fuente: datos procesados en el laboratorio

Tabla 5
Análisis Granulométrico de la Calicata 02

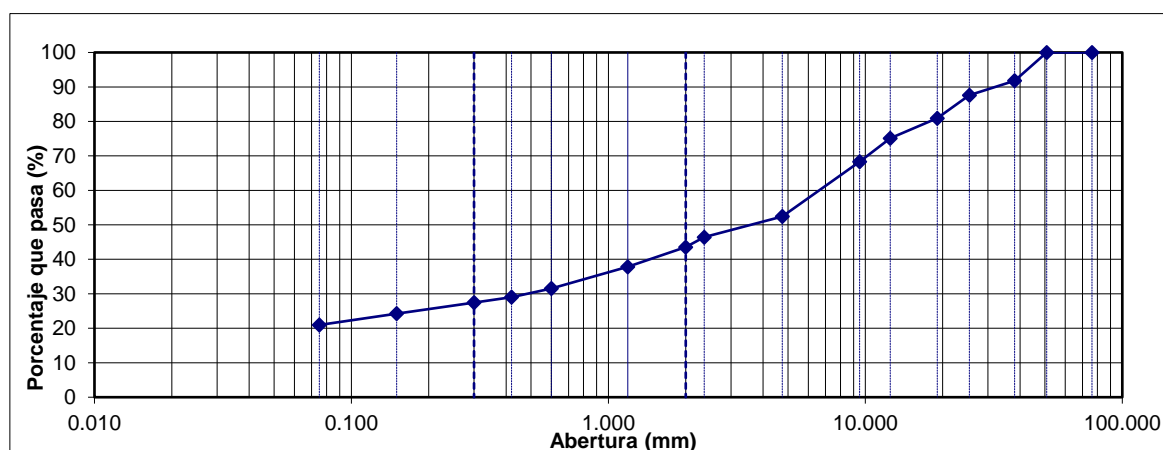
Calicata	: 02 Progresiva Km 00+518					Tamaño Máximo	
Muestra	: 02					Peso inicial seco :	12541
(Prof.)	: 1.50					Peso lavado seco :	199.9
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación	Descripción de la muestra
3"	76.2		0.00	0.00	100.00		
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.1	1028	8.20	8.20	91.80		
1"	25.4	526	4.19	12.39	87.61		
3/4"	19.05	840	6.70	19.09	80.91		
1/2"	12.5	727	5.80	24.89	75.11		
3/8"	9.5	852	6.79	31.68	68.32		
Nº 4	4.75	1994	15.90	47.58	52.42		
Nº 8	2.36	57.2	6.00	53.58	46.42		Clasificación:
Nº 10	2	27.6	2.89	56.47	43.53		SUCC: GC - GM
Nº 16	1.19	54.3	5.69	62.16	37.84		ASTHO: A-1-b
Nº 30	0.6	60.1	6.30	68.46	31.54		
Nº 40	0.42	23.8	2.50	70.96	29.04		
Nº 50	0.3	15.2	1.59	72.55	27.45		
Nº 100	0.15	30.5	3.20	75.75	24.25		
Nº 200	0.075	31.4	3.29	79.04	20.96		
< Nº 200	Fondo	199.9	20.96	100.00	0.00		

Nota. Granulometría calicata 2.

Fuente: datos procesados en el laboratorio.

Figura 21

Curva Granulométrica de la Calicata 02



Nota. Curva Granulometría calicata 2

Fuente: datos procesados en el laboratorio.

Tabla 6
Análisis Granulométrico de la Calicata 03

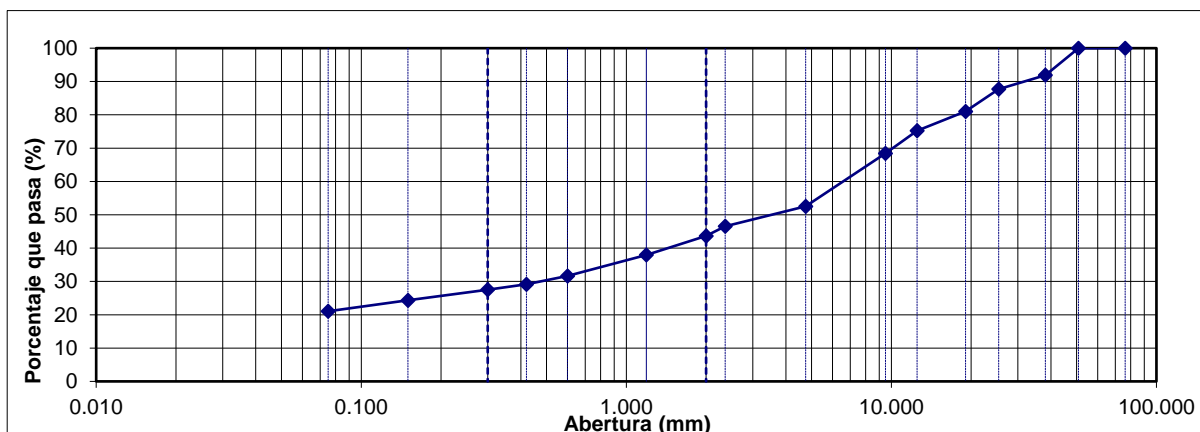
Calicata : 03 Progresiva Km 00+913						Tamaño Máximo	
Muestra : 03						Peso inicial seco :	9684
(Prof.) : 1.50						Peso lavado seco :	200.3
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación	Descripción de la muestra
3"	76.2		0.00	0.00	100.00		
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00		
1 1/2"	38.1	784	8.10	8.10	91.90		
1"	25.4	406	4.19	12.29	87.71		
3/4"	19.05	648	6.69	18.98	81.02		
1/2"	12.5	561	5.79	24.77	75.23		
3/8"	9.5	658	6.79	31.57	68.43		
Nº 4	4.75	1539	15.89	47.46	52.54		
Nº 8	2.36	57.1	6.00	53.46	46.54		Clasificación :
Nº 10	2	27.6	2.90	56.36	43.64		SUCC: GC - GM
Nº 16	1.19	54.2	5.70	62.06	37.94		AASTHO: A- 1-b
Nº 30	0.6	60	6.30	68.36	31.64		
Nº 40	0.42	23.8	2.50	70.86	29.14		
Nº 50	0.3	15.2	1.60	72.46	27.54		
Nº 100	0.15	30.4	3.19	75.65	24.35		
Nº 200	0.075	31.4	3.30	78.95	21.05		
< Nº 200	Fondo	200.3	21.05	100.00	0.00		

Nota. Granulometría calicata 3

Fuente: datos procesados en el laboratorio

Figura 22

Curva Granulométrica de la Calicata 03



Nota. Curva Granulometría calicata 3

Fuente: datos procesados en el laboratorio

Tabla 7
Análisis Granulométrico de la Calicata 04

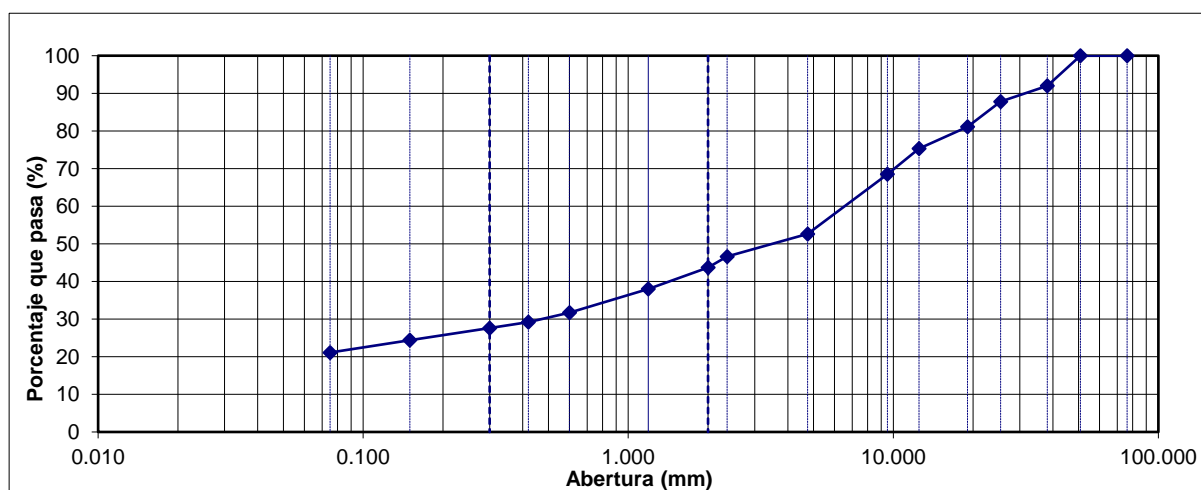
Calicata	: 04 Progresiva Km 1+240				Tamaño Máximo	
Muestra	: 04				Peso inicial seco	10079
(Prof.)	: 1.50				Peso lavado seco	200.6
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación
3"	76.2		0.00	0.00	100.00	
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.1	806	8.00	8.00	92.00	
1"	25.4	423	4.20	12.19	87.81	
3/4"	19.05	675	6.70	18.89	81.11	
1/2"	12.5	584	5.79	24.68	75.32	
3/8"	9.5	685	6.80	31.48	68.52	
Nº 4	4.75	1602	15.89	47.38	52.62	
Nº 8	2.36	57	6.00	53.37	46.63	
Nº 10	2	27.6	2.90	56.28	43.72	Clasificación: SUCC: GC - GM
Nº 16	1.19	54.2	5.70	61.98	38.02	AASTHO: A-1-b
Nº 30	0.6	59.9	6.30	68.29	31.71	
Nº 40	0.42	23.8	2.50	70.79	29.21	
Nº 50	0.3	15.2	1.60	72.39	27.61	
Nº 100	0.15	30.4	3.20	75.59	24.41	
Nº 200	0.075	31.3	3.29	78.89	21.11	
< Nº 200	Fondo	200.6	21.11	100.00	0.00	

Nota. Granulometría calicata 4

Fuente: datos procesados en el laboratorio

Figura 23

Curva Granulométrica de la Calicata 04



Nota. Curva Granulometría calicata 4

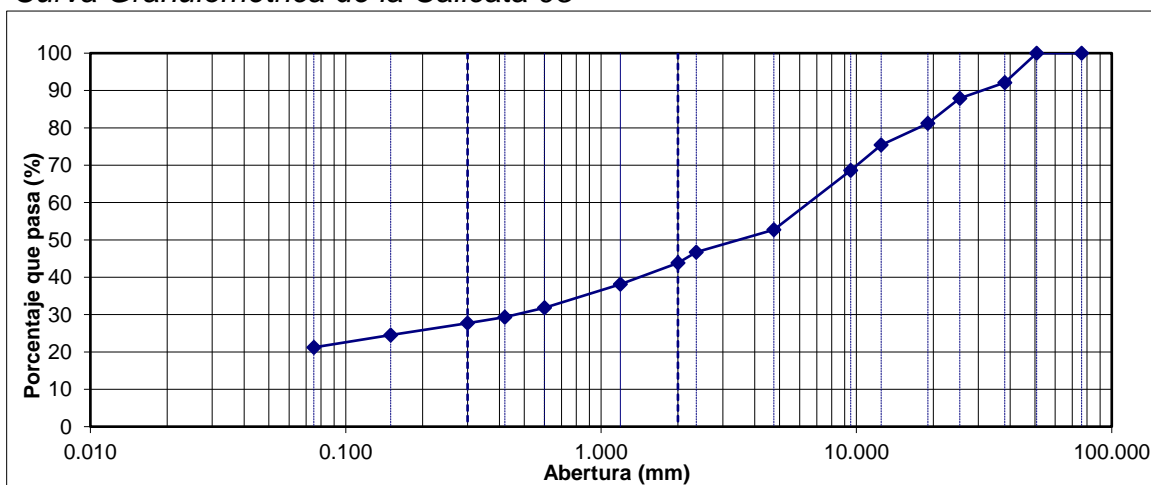
Fuente: datos procesados en el laboratorio

Tabla 8**Análisis Granulométrico de la Calicata 05**

Calicata	: 05 Progresiva Km 2+402				Tamaño Máximo	
Muestra	: 05				Peso inicial seco	13150
(Prof.)	: 1.50				Peso lavado seco	201.3
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje que pasa	Especificación
3"	76.2		0.00	0.00	100.00	
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.1	1038	7.89	7.89	92.11	
1"	25.4	552	4.20	12.09	87.91	
3/4"	19.05	881	6.70	18.79	81.21	
1/2"	12.5	762	5.79	24.59	75.41	
3/8"	9.5	894	6.80	31.38	68.62	
Nº 4	4.75	2090	15.89	47.28	52.72	
Nº 8	2.36	56.9	6.00	53.28	46.72	
Nº 10	2	27.5	2.90	56.18	43.82	Clasificación: SUCC: GC - GM
Nº 16	1.19	54.1	5.70	61.88	38.12	AASTHO: A-1-b
Nº 30	0.6	59.7	6.30	68.18	31.82	
Nº 40	0.42	23.7	2.50	70.68	29.32	
Nº 50	0.3	15.2	1.60	72.28	27.72	
Nº 100	0.15	30.3	3.19	75.47	24.53	
Nº 200	0.075	31.3	3.30	78.77	21.23	
< Nº 200	Fondo	201.3	21.23	100.00	0.00	

Nota. Granulometría calicata 5

Fuente: datos procesados en el laboratorio

Figura 24**Curva Granulométrica de la Calicata 05**

Nota. Curva Granulometría calicata 5

Fuente: datos procesados en el laboratorio

Estudio topográfico

El estudio topográfico proporciona información detallada sobre la topografía del terreno, incluyendo la elevación, la pendiente, la ubicación de cuerpos de agua, las características naturales y las estructuras existentes. Esta información es fundamental para el diseño y la planificación.

Tabla 9

Identificación del canal Sahuanay punto de inicio y longitud

Desde	Hasta	Longitud	Tipo de Vía
Av. 4 de noviembre	Sahuanay	2k+480.92	Trocha Carrozable

Nota. tramos del canal de sahuayanay

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Cuadro BMS







Cuadro de BMS			
BM	Este (M)	Norte (M)	Elevación (m.s.n.m)
1	729731.028	8495381.541	2984.135
2	729857.137	8494840.468	2852.025
3	729874.877	8494739.668	2840.052
4	729867.162	8494477.569	2789.025
5	729840.288	8494346.759	2769.125
6	729757.203	8494038.486	2705.015
7	729558.727	8493694.978	2636.501
8	729359.809	8493122.687	2565.000
9	729416.271	8492777.545	2527.205
10	729389.028	8492594.592	2501.952






Nota ubicación

Fuente: Elaboración propia

La presente tabla evidencia los 10 puntos de control con sus coordenadas y cotas de elevación.

Tabla 11*Puntos de control para el levantamiento topográfico canal Sahuanay*

BM	ESTE	NORTE	COTA	OBSERVACIÓN	FOTOS
BM Geodésico	729844.893	8492155.614	2467.455	Se encuentra ubicado en las instalaciones de la EPS EMUSAP SAC, en la esquina de la cara de válvulas, mediante una placa de metal.	
BM-01	729731.028	8495381.54	2984.135	Ubicado en la parte superior del trayecto del canal	
BM-02	729857.137	8494840.47	2852.025	Ubicado al lado derecho del eje del canal, en la progresiva 0+015km	
BM-03	729874.877	8494739.67	2840.052	Ubicado al lado derecho del eje del canal, en la progresiva 0+120km	
BM-04	729867.162	8494477.57	2789.025	Ubicado al lado derecho del eje del canal, en la progresiva 0+380km	
BM-05	729840.288	8494346.76	2769.125	Ubicado al lado izquierdo del canal, en la progresiva 0+510km	

BM-06	729757.203	8494038.49	2705.015	Ubicado en el lado izquierdo del canal, en la progresiva 0+845km	
BM-07	729558.727	8493694.98	2636.501	Ubicado en el borde derecho del canal, en la progresiva 1+260km	
BM-08	729359.809	8493122.69	2565	Ubicado al lado izquierdo del eje del canal, en la progresiva 1+910km	
BM-09	729416.271	8492777.55	2527.205	Ubicado en el borde izquierdo del eje del canal, en la progresiva 2+280km	
BM-10	729389.028	8492594.59	2501.952	Ubicado en el borde del canal, en la progresiva 2+470km	

Nota. Levantamiento topográfico
Fuente: Elaboración propia

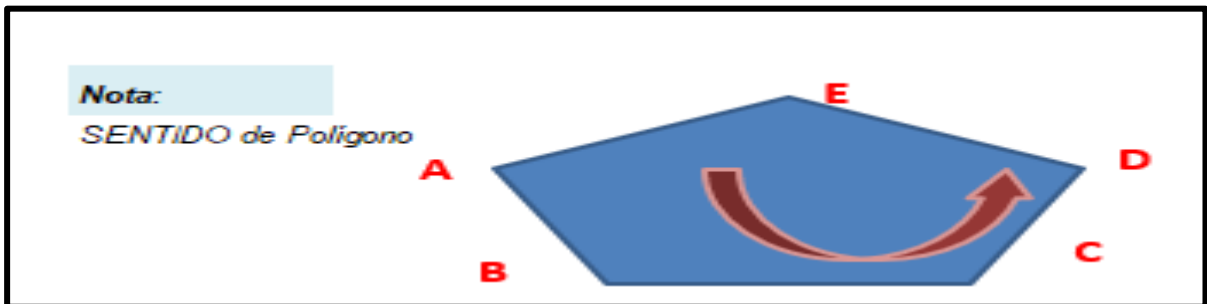
Tabla 12
Poligonal de cerrada

EST. P.V.	ÁNGULO INTERNO OBSERVADO	CORRECCIÓN	ÁNGULOS CORREGIDOS	AZIMUT	N S	RUMBO	E W	E - sen - W N - cos - S		DISTANCIA (m)	PROYECCIONES				COORD. PARCIALES		COORD. TOTALES			
								E	W		N	S	ΔE	ΔN	E	N				
E F	46 ° 19 ' 55 " 0 "		46° 19' 55"	344° 02' 06"	N	15° 57' 54"	W	0.275050103 0.961429894		1067.960			-0.0016	-0.0018			-293.741	1026.767	729844.92	8492155.61
F G	215 ° 10 ' 27 " -1 "		215° 10' 26"	19° 12' 32"	N	19° 12' 32"	E	0.329013154 0.944325338		1215.020	0.0022			-0.0021			399.760	1147.372	729551.18	8493182.38
G H	156 ° 26 ' 40 " 0 "		156° 26' 40"	355° 39' 12"	N	4° 20' 48"	W	0.075790896 0.997123734		1466.670			-0.0006	-0.0026			-111.160	1462.449	729950.94	8494329.75
H A	68 ° 4 ' 57 " -1 "		68° 04' 56"	243° 44' 08"	S	63° 44' 08"	W	0.896761211 0.442514781		703.740			-0.0035		0.0006		-631.083	-311.416	729839.78	8495792.20
A B	73 ° 30 ' 17 " 0 "		73° 30' 17"	137° 14' 25"	S	42° 45' 35"	E	0.678925339 0.734207317		871.090	0.0033				0.0011		591.408	-639.562	729208.69	8495480.78
B C	229 ° 25 ' 36 " -1 "		229° 25' 35"	186° 40' 00"	S	6° 40' 00"	W	0.116092914 0.993238358		582.430			-0.0004		0.0010		-67.616	-578.493	729800.10	8494841.22
C D	196 ° 1 ' 33 " -1 "		196° 01' 32"	202° 41' 32"	S	22° 41' 32"	W	0.385780806 0.922590467		1820.270			-0.0039		0.0030		-702.221	-1679.367	729732.49	8494262.73
D E	95 ° 0 ' 39 " -1 "		95° 00' 38"	117° 42' 10"	S	62° 17' 50"	E	0.885371089 0.46488497		920.120	0.0045				0.0008		814.652	-427.751	729030.26	8492583.36
Σ	1080° 00' 04"	-5 "	1079° 59' 59"							8647.30		1805.810	1805.831	3636.594	3636.582	0.000	0.000			
											-0.020		0.013							

Nota. La siguiente tabla muestra los datos de los 8 puntos de la poligonal cerrada para determinar el área y perímetro de la poligonal
Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

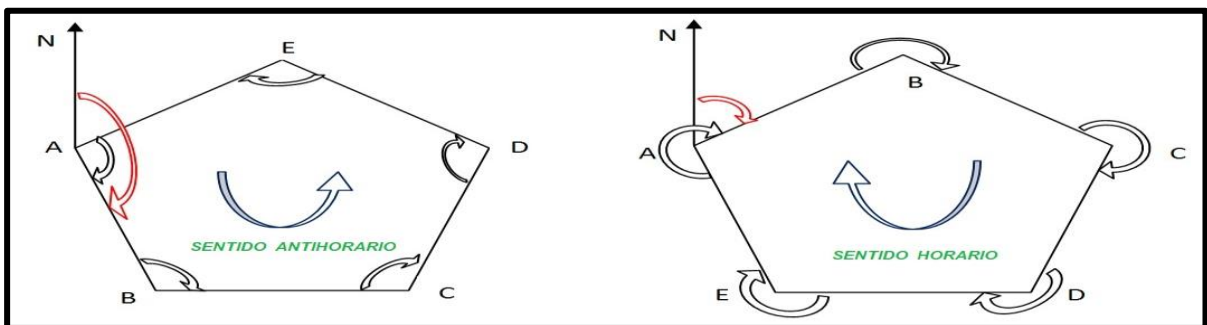
Sentido de la poligonal



Nota sentido de la poligonal
Fuente: Elaboración propia

Figura 26

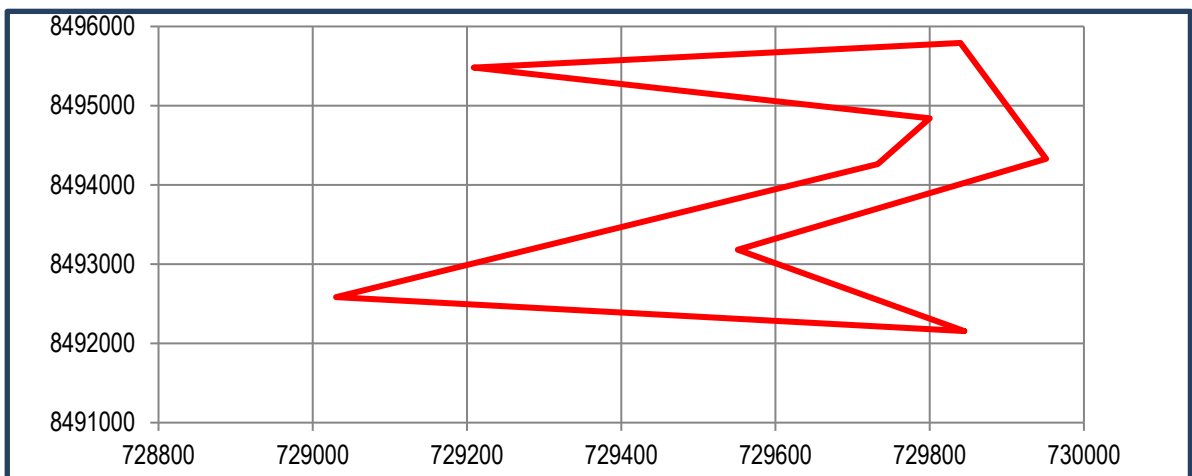
sentidos de la poligonal



Nota Sentidos de la poligonal
Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Gráfico de la poligonal



Nota: diseño de la poligonal cerrada
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13*Cuadro técnico de la poligonal cerrada*

Cuadro Técnico		
Área:	113.11	Ha.
Perímetro:	8647.30	MI

Nota. Poligonal cerrada

Fuente: Elaboración propia

La siguiente tabla se muestra el cuadro técnico donde se determina el área de la poligonal cerrada de 113.11 Hectáreas y 8647.30 metros lineales de perímetro.

Tabla 14*Cuadro de coordenadas de la poligonal cerrada*

Cuadro de Coordenadas		
Vértice	E	N
A	729,844.917	8,492,155.609
B	729,551.176	8,493,182.376
C	729,950.936	8,494,329.748
D	729,839.776	8,495,792.197
E	729,208.693	8,495,480.781
F	729,800.101	8,494,841.219
G	729,732.486	8,494,262.726
H	729,030.264	8,492,583.359
A	729,844.917	8,492,155.609

Nota. Cuadro de coordenadas

Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Medición de la sección del canal



Nota. Se tomaron las medidas del canal para poder diseñar las secciones.
Fuente: Elaboración propia

Figura 29

Toma de puntos al borde del canal cerca al baden de Sahuanay.



Nota. Se tomaron las medidas del canal para poder diseñar las secciones.
Fuente: Elaboración propia

Estudio hidrológico

El estudio hidrológico de la cuenca Sahuanay nos permitió un análisis detallado de las características y el comportamiento del agua en una determinada área geográfica que drena hacia un punto común. Este tipo de estudio tiene como objetivo principal comprender cómo fluye el agua en la cuenca, cómo se recoge, se almacena y se distribuye a lo largo del tiempo, y cómo responde a diferentes eventos climáticos o hidrológicos, como lluvias intensas o sequías.

Recopilación de datos

Los datos recopilados en la presente tabla nos permitieron conocer algunos parámetros de la cuenca, nos centraremos en los parámetros de área, perímetro y pendiente para el presente estudio.

Tabla 15

Parámetros de la cuenca

Descripción	Und	valor
De la superficie		
Área	km ²	19.52
Perímetro de la cuenca	km	22.61
Cotas		
Cota máxima	m	5200.00
Cota mínima	m	2881.67
Centroide (psc: wgs 1984 utm zona 18s)		
X centroide	m	727379.15
Y centroide	m	8498289.11
Z centroide	msnm	4172.82
Altitud		
Altitud media	msnm	4172.82
Altitud más frecuente	msnm	4735
Altitud de frecuencia media	msnm	4277.15
Pendiente		
Pendiente promedio de la cuenca	%	14.73
De la red hídrica		
Longitud del curso principal	km	7.92
Orden de la red hídrica	und	4
Longitud de la red hídrica	km	61.57
Pendiente promedio de la red hídrica	%	1.52
Parámetros generales		
Tiempo de concentración	horas	0.5238
Pendiente del cauce principal	%	0.2927
Factor forma		0.311210336
longitud de desembocadura al centro de gravedad	km	4.22
kc		2.04

Nota. Parámetros de la cuenca

Fuente: Elaboración propia

Área de la cuenca Sahuanay

La cuenca Sahuanay presenta un área de 19.52 km² en toda su longitud, para Villon la cuenca está considerada como pequeña. (Villon, 2011)

Perímetro de la cuenca Sahuanay

La cuenca Sahuanay presenta un perímetro de 22.61 km lineales en toda su extensión.

Pendiente de la cuenca Sahuanay

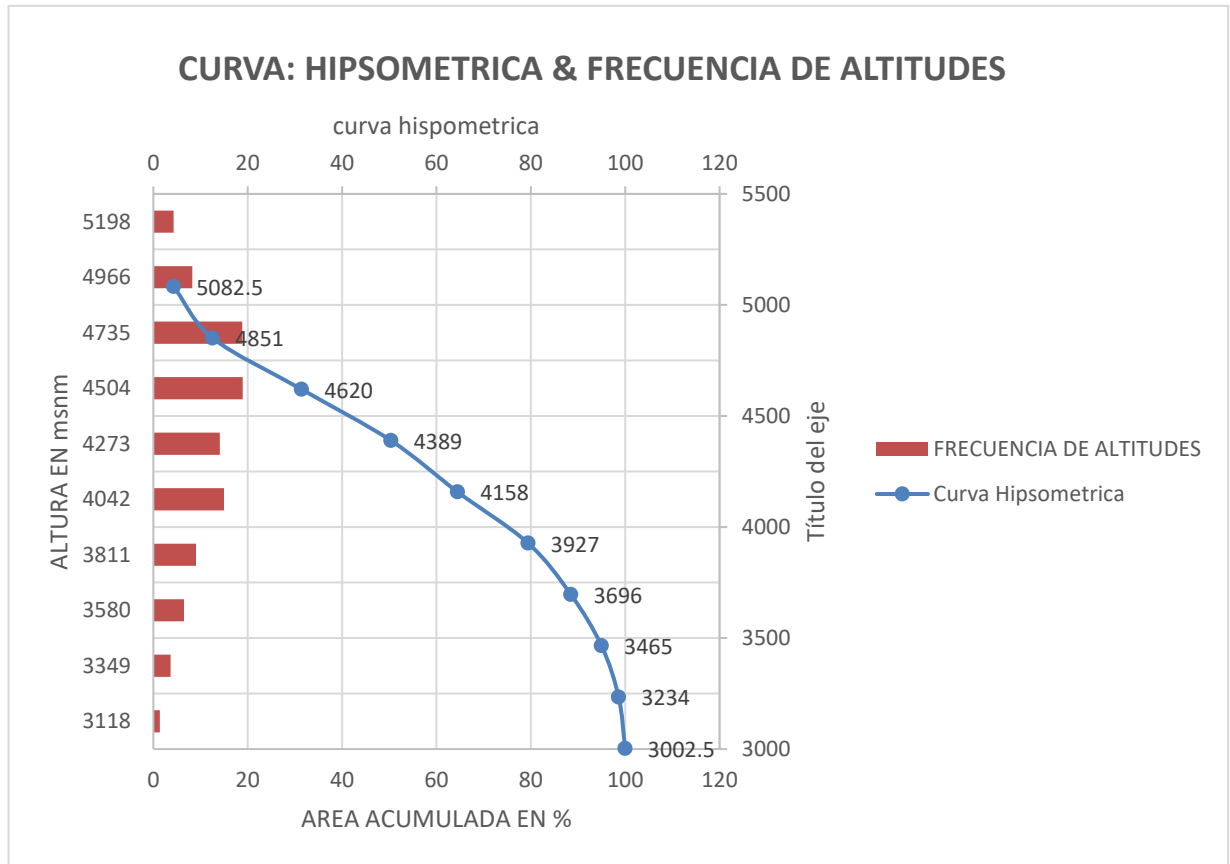
La cuenca de Sahuanay presenta una pendiente promedio de 14.73% en toda su longitud.

Curva Hipsométrica

La curva hipsométrica de la cuenca de Sahuanay muestra la distribución de altitudes o elevaciones del área geográfica. La cuenca de Sahuanay que presenta un área de 19.52 km² en toda su extensión que representa al 100% del área de estudio y presenta una variación de altitudinal que va desde 3118 msnm hasta 4966 msnm.

Figura 30

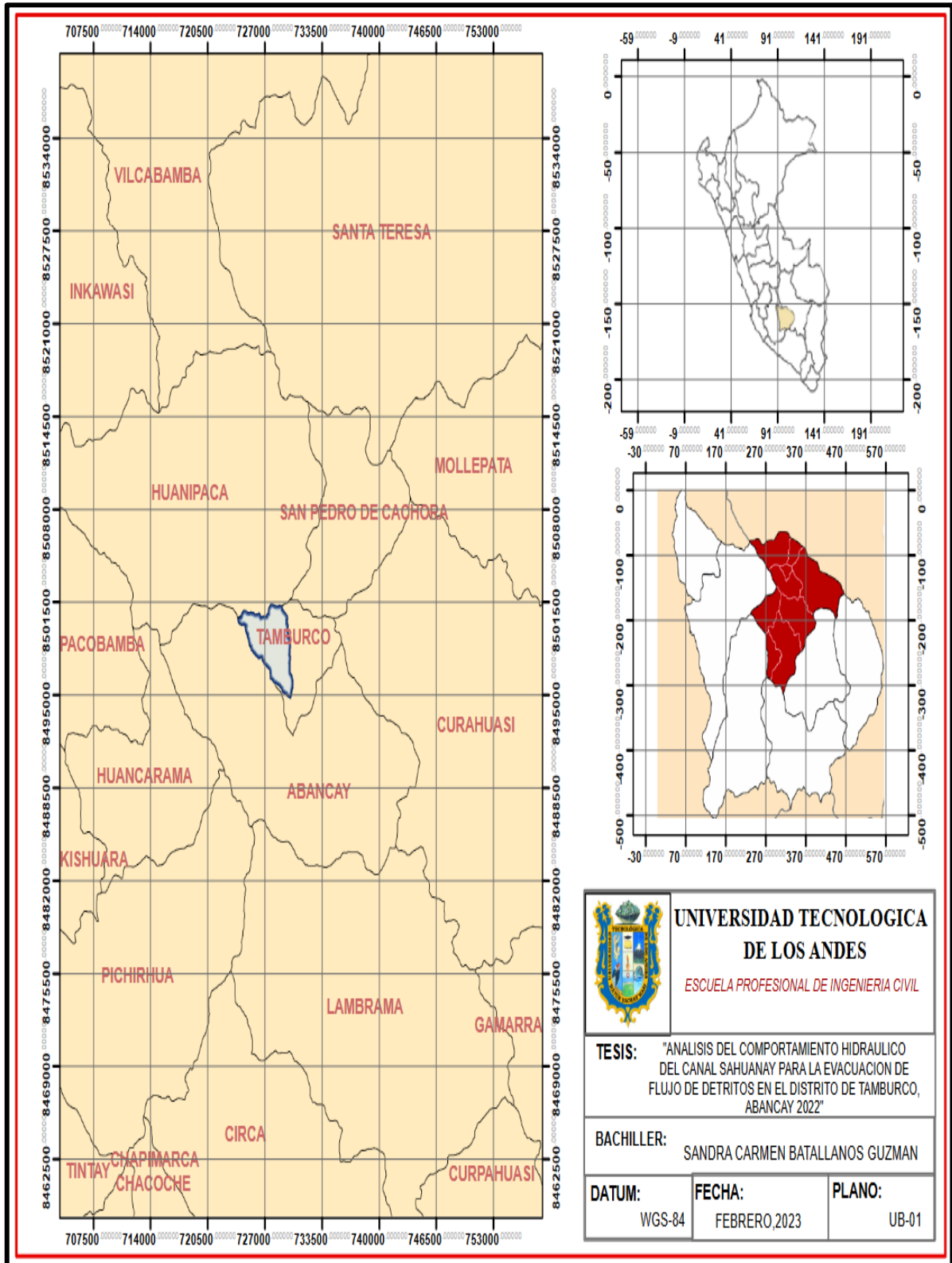
Curva hipsométrica del canal de Sahuanay



Nota. Curva hipsométrica
Fuente: Elaboración propia

Figura 31

Plano de ubicación



Fuente: Elaboración propia

Datos hidrológicos estación de Abancay (granja san Antonio)

Según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje (pág. 22) menciona que la representatividad, calidad, extensión y consistencia de los datos es primordial para el inicio del estudio hidrológico, por ello, se recomienda contar con un mínimo de 25 años de registro que permita a partir de esta información histórica la predicción de eventos futuros con el objetivo que los resultados sean confiables. Por ello para este estudio se utilizó los datos evaluados de 31 años a partir del año 1987 hasta el año 2019 analizando los 12 meses y para el estudio solo se consideraron las precipitaciones máximas.

Tabla 16
Precipitación máxima en 24 horas en (mm)

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Precipitación
1987	11.7	12.3	17.9	6.8	9.4	9.7	9.5	6.2	0	11.6	19.7	22.5	22.5
1988	18	21.5	19.3	16.5		2.4	3.1	0	2	8.4		17	21.5
1989						4.8	0	4.2	1.3	20	12.2	17	20
1990	21	9.5	14	12.6	6	9	3.6	10.1	5	16	20.9	24.5	24.5
1991	12.4	12	22.2	0.9	6.2	4.7	0	0	5.8	13.1	5.2	3.9	22.2
1992	5.4	25	18	10	0	25	0	21.3	0	15.3	9	10	25
1993	27	23.5	20	15	4.1	0	8						27
1996	35	26.3	23.5	13.5	2.4	2	4	9.3	13.4	13.5	14.8	9.9	35
1997	37.2		37.2	16.5	13.9	2.4	0	13.4	8.2	12.8	14.8	24.8	37.2
1998	17.6	23.5	24.9	6.2	9	1.8	0	0.7	7.4	16.6	13.3	16.6	24.9
1999	25.1	40.2	28.5	11.6	7.2	7.4	2.3	0	19.4	16.5	22.3	26.4	40.2
2000	25.6	26.2	13.6	26.3	5.8	6.7	9.4	18.1	7.1	27.3	18.8	20	27.3
2001	21.7	21.1	19.5	27.3	20.6	0.7	15.2	9.9	3	8.6	8.1	24.4	27.3
2002	17.1	16.6	23.4	20.2	10.7	7.7	18.3	7.4	17.4	18.6		24	24
2003	35.8	26.7	30.2	9.2	2.7	0	0.9	11.2	13.6	43.7	7	23.8	43.7
2004	21.9	28.6	14.1		3.7	14.5	15.2	11.7	19.7	8.5	8.9	20.4	28.6
2005	12.1	30.6		11		0	10.6		15	18.8	30.6	23.8	30.6
2006	24.6	23.4	14.8	9.9	0	10.5	0	0	1.7		19.1	22.6	24.6
2007	28.2	23.6	20.6	8.7	15.7		14,1						28.2
2008	16.5	25	16		11.8		0,0	7.4	4.9	8.2	22.8	34.9	34.9
2009	33	35.9	17.8	15.6	2.8			16.1					35.9
2010	32.8	30.9	17	45.1	16.6	0	1.6	5.7	5.4	13.5	8.8	14.9	45.1
2011	22.5	26.5	24.8			6.5					19.6	14.4	26.5
2012	28.8				6.7	6.2	3.8	3.8	5.6	18.4	6.1	27.6	28.8
2013	25.4	34.5		10.0	6.4	5.7	4.2	32.2	4.2	11.7	10.7	38.8	38.8
2014	38.9	54.1	16.6	17.3	5.9	3.2	3.2	3.1	7.2	25.5	12.5	31.5	54.1
2015	27.9	35.9	19.3	14.0	2.8	1.1	5	20.3	1.6	11.9	25.3	58.2	58.2
2016	17.8	36.3	14.2	20.7	1.5	7.2	7.5	4.7	7.5		21.5	20.9	36.3
2017	26.8	30.1	32.8	7.0	15.9	0.5	0.9	7.6	5.1	17.4	20.0	23.6	32.8
2018	23.9	33.4	19.1	8.2	9.5	12.4	11	18.2	7.2	29.5	10.6	25.5	33.4
2019	39.5	35.1	17.4	9.5									39.5

Nota. Precipitación máxima
Fuente: Elaboración propia

Tabla 17
Precipitación máxima en 24 horas

N°	AÑO	PRECIPITACIÓN máx. en 24 horas (mm)	Corrección recomendada por la OMM de 1.13	LOG (Pmax24hrs)
1	1987	22.5	25.425	1.4053
2	1988	21.5	24.295	1.3855
3	1989	20	22.6	1.3541
4	1990	24.5	27.685	1.4422
5	1991	22.2	25.086	1.3994
6	1992	25	28.25	1.4510
7	1993	27	30.51	1.4844
8	1996	35	39.55	1.5971
9	1997	37.2	42.036	1.6236
10	1998	24.9	28.137	1.4493
11	1999	40.2	45.426	1.6573
12	2000	27.3	30.849	1.4892
13	2001	27.3	30.849	1.4892
14	2002	24	27.12	1.4333
15	2003	43.7	49.381	1.6936
16	2004	28.6	32.318	1.5094
17	2005	30.6	34.578	1.5388
18	2006	24.6	27.798	1.4440
19	2007	28.2	31.866	1.5033
20	2008	34.9	39.437	1.5959
21	2009	35.9	40.567	1.6082
22	2010	45.1	50.963	1.7073
23	2011	26.5	29.945	1.4763
24	2012	28.8	32.544	1.5125
25	2013	38.8	43.844	1.6419
26	2014	54.1	61.133	1.7863
27	2015	58.2	65.766	1.8180
28	2016	36.3	41.019	1.6130
29	2017	32.8	37.064	1.5690
30	2018	33.4	37.742	1.5768
31	2019	39.5	44.635	1.6497

Nota. Precipitación máxima en 24 horas

Fuente: Elaboración propia

2.- Datos dudosos de Outlier

Los valores atípicos son puntos de datos que se apartan significativamente de la tendencia de los datos restantes, La retención, modificación, eliminación de estos valores atípicos puede afectar significativamente a los parámetros estadísticos computados a partir de los datos, especialmente en el caso de muestras pequeñas. Todos los procedimientos para tratar los valores atípicos requieren, en última

instancia, un juicio que incluya consideraciones tanto matemáticas como hidrológicas.

Figura 32

Valores de K_n para la prueba de datos dudosos

Valores K_n para la prueba de datos dudosos							
Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n	Tamaño de muestra n	K_n
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Nota. Prueba de datos dudosos

Fuente: U.S. water resources Council , 1981. Esta table contiene valores de K_n de un lado con un nivel significativo del 10% para la distribución normal

OUTLIER

Si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos. Si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos.

Cuando la asimetría de la estación esta entre -0.4 y +0.4, deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos.

Tabla 18
Parámetros estadísticos del canal Sahuanay

Parámetros Estadísticos	P24hr	Log(P24hr)
Número de datos (N)	31	31
Sumatoria	1128.418	47.905
Valor Máximo	65.766	1.818
Valor Mínimo	22.6	1.354
Media:	36.401	1.545
Varianza:	110.027	0.014
Desviación Estándar:	10.489	0.117
Coefficiente Variación:	0.288	0.075
Coefficiente de Sesgo:	1.125	0.523
Se Considera:	Datos dudosos	

Nota. Parámetros estadísticos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19
Valor K_{31} para la evaluación de la precipitación máxima aceptada

n	31
k_n	2.577

Nota. Evaluación de precipitación máxima aceptada

Fuente: Elaboración propia

Datos dudosos altos

K_n : Valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%) Umbral de

datos dudosos altos (x_H : unidad. Logarítmicas)

$$x_H = \bar{x} + k_n \cdot s$$

$$X_H = 1.846$$

Precipitación máxima aceptaba

$$PH = 10^{x_H}$$

$$PH = 70.140\text{mm}$$

No existen datos dudosos altos de la muestra

Datos dudosos bajos

Umbral de datos dudosos bajos (x_L : unidad. Logarítmicas)

$$x_L = \bar{x} - k_n \cdot s$$

$$PH = 10^{xH}$$

$$xL = 1.245$$

$$PH = 17.566\text{mm}$$

3.-Análisis estadístico de datos hidrológicos -Pruebas de bondad de ajuste

Según el manual de hidrología, hidráulica y drenaje, las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida., para este estudio usamos la prueba de Smirnov Kolgomorov con las distribuciones de probabilidades más usadas en el análisis de máximas avenidas en hidrología

Manual de hidrología hidráulica y drenaje (2012)

Tabla 20
Distribuciones de probabilidad (con Smirnov Kolgomogorov)

PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE SMIRNOV KOLGOMOROV																		
m	Pp máx. 24h P=X (mm)	Weibull P(x)=m/n+1	Normal			Log-Normal			Pearson-III			Log Pearson-III			Gumbel		LogGumbel	
			Z=X-Xm/S	F(Xm)	$ F_e(x_{m,n})-F(x_{m,n}) $	F(Xm)	$ F_e(x_{m,n})-F(x_{m,n}) $	(X-Xo)	F(Xm)	$ F_e(x_{m,n})-F(x_{m,n}) $	Ln(X)-Xo	F(Xm)	$ F_e(x_{m,n})-F(x_{m,n}) $	F(Xm)	$ F_e(x_{m,n})-F(x_{m,n}) $	F(Xm)	$ F_e(x_{m,n})-F(x_{m,n}) $	
			Normal	LogNormal	Pearson III	LogPearson III	Gumbel	Log Gumbel										
1	22.6	0.031	-1.316	0.094	0.063	0.051	0.019	4.853	0.040	0.008	0.587	0.031	0.0003	0.048	0.017	0.010	0.021	
2	24.295	0.063	-1.154	0.124	0.062	0.085	0.023	6.548	0.083	0.020	0.659	0.068	0.0057	0.085	0.022	0.039	0.024	
3	25.086	0.094	-1.079	0.140	0.047	0.106	0.012	7.339	0.108	0.014	0.691	0.092	0.0021	0.106	0.013	0.061	0.032	
4	25.425	0.125	-1.046	0.148	0.023	0.115	0.010	7.678	0.120	0.005	0.705	0.103	0.0222	0.117	0.008	0.073	0.052	
5	27.12	0.156	-0.885	0.188	0.032	0.168	0.012	9.373	0.184	0.028	0.769	0.167	0.0108	0.174	0.018	0.146	0.010	
6	27.685	0.188	-0.831	0.203	0.016	0.188	0.001	9.938	0.207	0.020	0.790	0.191	0.0037	0.196	0.008	0.175	0.013	
7	27.798	0.219	-0.820	0.206	0.013	0.193	0.026	10.051	0.212	0.007	0.794	0.196	0.0226	0.200	0.018	0.181	0.038	
8	28.137	0.250	-0.788	0.215	0.035	0.205	0.045	10.390	0.226	0.024	0.806	0.211	0.0388	0.214	0.036	0.199	0.051	
9	28.25	0.281	-0.777	0.219	0.063	0.209	0.072	10.503	0.231	0.050	0.810	0.216	0.0649	0.218	0.063	0.205	0.076	
10	29.945	0.313	-0.615	0.269	0.043	0.277	0.035	12.198	0.305	0.008	0.868	0.296	0.0167	0.290	0.022	0.302	0.011	
11	30.51	0.344	-0.562	0.287	0.057	0.301	0.043	12.763	0.330	0.014	0.887	0.323	0.0208	0.315	0.028	0.334	0.010	
12	30.849	0.375	-0.529	0.298	0.077	0.315	0.060	13.102	0.345	0.030	0.898	0.339	0.0357	0.331	0.044	0.353	0.022	
13	30.849	0.406	-0.529	0.298	0.108	0.315	0.091	13.102	0.345	0.062	0.898	0.339	0.0669	0.331	0.076	0.353	0.053	
14	31.866	0.438	-0.432	0.333	0.105	0.359	0.078	14.119	0.389	0.048	0.931	0.388	0.0493	0.376	0.061	0.410	0.027	
15	32.318	0.469	-0.389	0.349	0.120	0.379	0.090	14.571	0.409	0.060	0.945	0.410	0.0590	0.397	0.072	0.435	0.034	
16	32.544	0.500	-0.368	0.357	0.143	0.389	0.111	14.797	0.419	0.081	0.952	0.420	0.0796	0.407	0.093	0.447	0.053	
17	34.578	0.531	-0.174	0.431	0.100	0.478	0.054	16.831	0.504	0.027	1.012	0.512	0.0188	0.496	0.035	0.547	0.016	
18	37.064	0.563	0.063	0.525	0.037	0.580	0.018	19.317	0.599	0.036	1.082	0.613	0.0501	0.596	0.033	0.649	0.086	
19	37.742	0.594	0.128	0.551	0.043	0.606	0.013	19.995	0.623	0.029	1.100	0.637	0.0433	0.621	0.027	0.672	0.078	
20	39.437	0.625	0.289	0.614	0.011	0.668	0.043	21.690	0.678	0.053	1.144	0.693	0.0681	0.679	0.054	0.725	0.100	
21	39.55	0.656	0.300	0.618	0.038	0.672	0.015	21.803	0.681	0.025	1.147	0.697	0.0403	0.682	0.026	0.728	0.072	
22	40.567	0.688	0.397	0.654	0.033	0.705	0.017	22.820	0.711	0.024	1.172	0.726	0.0388	0.714	0.026	0.755	0.067	
23	41.019	0.719	0.440	0.670	0.049	0.719	0.000	23.272	0.724	0.005	1.183	0.739	0.0199	0.727	0.008	0.766	0.047	
24	42.036	0.750	0.537	0.704	0.046	0.749	0.001	24.289	0.750	0.000	1.208	0.765	0.0147	0.754	0.004	0.789	0.039	
25	43.844	0.781	0.710	0.761	0.020	0.796	0.015	26.097	0.793	0.011	1.250	0.805	0.0240	0.798	0.016	0.824	0.042	
26	44.635	0.813	0.785	0.784	0.029	0.814	0.002	26.888	0.809	0.003	1.268	0.821	0.0084	0.815	0.002	0.837	0.024	
27	45.426	0.844	0.860	0.805	0.039	0.831	0.012	27.679	0.825	0.019	1.285	0.835	0.0085	0.830	0.014	0.849	0.005	
28	49.381	0.875	1.237	0.892	0.017	0.898	0.023	31.634	0.887	0.012	1.369	0.892	0.0170	0.892	0.017	0.896	0.021	
29	50.963	0.906	1.388	0.917	0.011	0.917	0.011	33.216	0.906	0.001	1.400	0.909	0.0026	0.910	0.003	0.910	0.003	
30	61.133	0.938	2.358	0.991	0.053	0.981	0.043	43.386	0.973	0.035	1.582	0.969	0.0313	0.973	0.036	0.961	0.024	
31	65.766	0.969	2.800	0.997	0.029	0.990	0.022	48.019	0.985	0.016	1.655	0.981	0.0118	0.985	0.016	0.972	0.004	
X	36.401							α	3.162		α	14.625		α	8.179	α	0.209	
S	10.489							β	5.898		β	0.070		μ	31.680	μ	3.437	
CS	1.125							Xo	17.747		Xo	2.531						
n	31			Δ .Maximo	0.14344		0.11088			0.08107			0.079645		0.09334		0.09970	
a	0.05			Δ critico> Δ max	Si se ajusta		Si se ajusta			Si se ajusta			Si se ajusta		Si se ajusta		Si se ajusta	
Δ critico	0.244			mejor ajuste	6		5			2			1		3		4	

Nota. Distribución de probabilidad
 Fuente: Elaboración propia

Prueba de contraste de distribuciones de probabilidad con el software hidrognomon

Se realizó una prueba de bondad de ajuste en Excel para ver a que probabilidad se ajusta mejor, y se contrasto con el software hydrognomon.

Tabla 21

Prueba de Kolmogorov Smirnov

Kolmogorov-Smirnov test for:All data	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
GEV-Min (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.87%	0.06153
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.34%	0.0697
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	98.52%	0.0752
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.46%	0.07964
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.03%	0.08107
Pareto (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.77%	0.08703
GEV-Max (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.21%	0.08823
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.06%	0.09052
Galton	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.33%	0.09187
Exponential (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	92.07%	0.09233
GEV-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.79%	0.09283
EV1-Max (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.54%	0.09326
Exponential	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	87.41%	0.09958
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86.56%	0.10075
GEV-Max (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	84.80%	0.1031
EV2-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	84.31%	0.10373
Pareto	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.45%	0.11192
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.43%	0.11195
EV2-Max	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	67.71%	0.12256
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	48.58%	0.14344
EV3-Min (Weibull)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	47.09%	0.14518
Normal (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	45.45%	0.14713
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	42.57%	0.15063
GEV-Min (kappa specified)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	29.99%	0.16796
GEV-Min (kappa specified, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.24%	0.17074
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	13.21%	0.20253
EV1-Min (Gumbel)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	12.58%	0.20438

Nota. Para la presente investigación según la distribución de la probabilidad basada en la prueba de kolmogorov – Smirnov consideraremos los valores de log Pearson III por ajustarse mejor a la distribución de datos higrológicos con los siguientes valores de un 97.46 % logrado con un factor de ajuste de 1.3 y 1 observaciones por día.

Fuente: Elaboración propia

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. Para el estudio se consideró la distribución log Pearson III y el apoyo del software Hidrognomon determinamos las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 50 a 100 años

Tabla 22

Numero de intervalos de observación

Numero de intervalos de la observación	Relación
1	1.13
2	1.04
3-4	1.03
5-8	1.02
9-24	1.01

Nota. La tabla muestra el número de intervalos de observaciones y su relación para el estudio, consideraremos la relación 1.13 para un intervalo de observación.

Fuente: Elaboración propia

La organización meteorológica mundial en su guía práctica hidrológicas, explica que estudios de miles de años, estación de datos pluviométricos indican que al multiplicar las cantidades máximas anuales diaria u horaria para un solo intervalo fijo de observaciones de una a 24 horas por el factor 1.13, se producirán valores que se aproximan mucho a los que se obtendrán de un máximo de los reales. Se requieren ajustes mucho menores cuando las cantidades máximas observadas se determinan a partir de dos o más intervalos de observación fija.

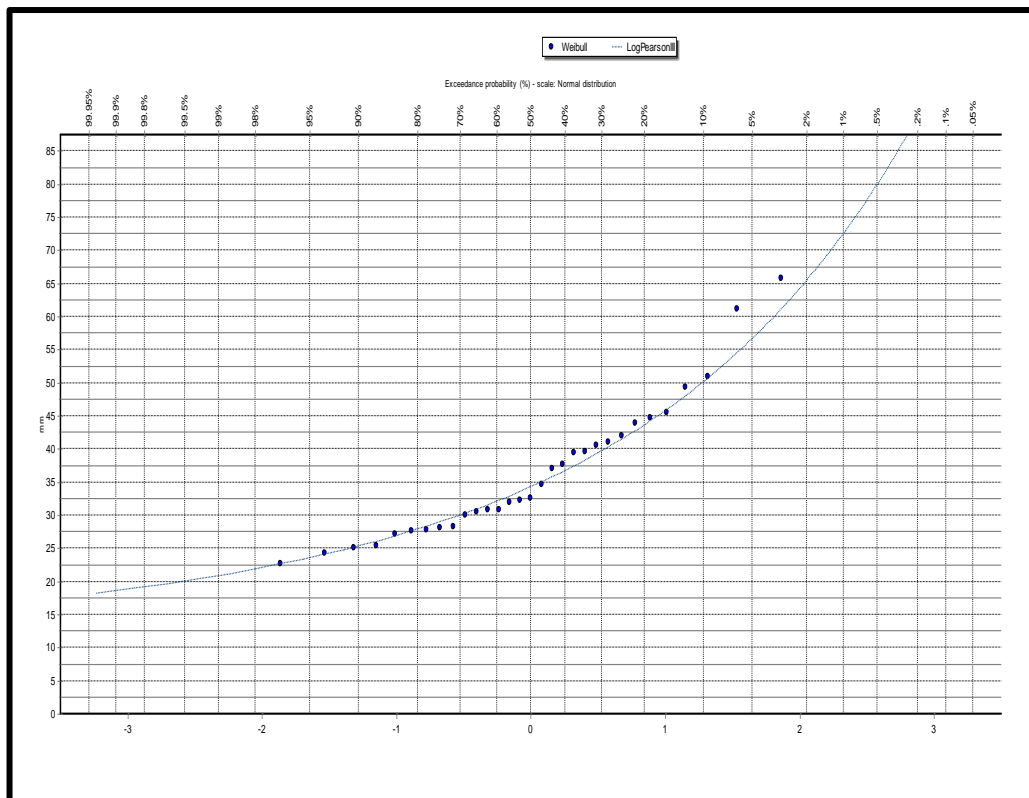
Tabla 23
Periodos de retorno en años

Periodo de retorno T (años)	Hydrognomon Pmax(mm)	Pmax Corregido
2	34.2924	38.750
5	43.5907	49.257
10	50.0998	56.613
25	58.7433	66.380
50	65.4975	74.012
100	72.5304	81.959
200	79.9015	90.289
500	90.2465	101.979
1000	98.5824	111.398
10000	129.971	146.867

Nota. Los periodos de retorno a considerar fueron 50 y 100 años
Fuente: Elaboración propia

Figura 33

Distribución log Pearson - III



Nota. Distribución log Pearson - III
Fuente: Elaboración propia

4. Tormenta de diseño

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el diseño de un sistema hidrológico. Usualmente la tormenta de diseño conforma la entrada al sistema, y los caudales resultantes a través de éste se calculan utilizando procedimientos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales.

Manual de hidrología hidráulica y drenaje (2012)

Curvas IDF

Las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) en hidrología son herramientas utilizadas para analizar y estimar la lluvia máxima probable en un área geográfica específica durante un período de tiempo determinado. Estas curvas son fundamentales en el diseño de infraestructuras hidrológicas y de drenaje, como sistemas de alcantarillado, presas, diques y otros proyectos relacionados con la gestión del agua

Método Dick Peschke

Generamos curvas IDF a partir del método Dick peschke, ya que es aplicable para precipitaciones máximas de 24 horas

Modelo de Dick Peschke

$$P_D = P_{24h} \times \left(\frac{D}{1440}\right)^{0.25}$$

P_D = precipitación máxima de duración D , en mm

P_{24h} = precipitación máxima de 24 horas, en mm

D = duración de la precipitación, en horas

Tabla 24
Intensidad de precipitación en minutos

Duración (Minutos)	Precipitación en 24 horas (mm)								
	38.75	49.26	56.61	66.38	74.01	81.96	90.29	101.98	111.40
	Periodo de Retorno (Años)								
	2	5	10	25	50	100	200	500	1000
Precipitación (mm)									
5	9.407	11.957	13.743	16.113	17.966	19.895	21.917	24.755	27.041
10	11.186	14.219	16.343	19.162	21.365	23.660	26.064	29.439	32.158
15	12.380	15.736	18.086	21.206	23.645	26.184	28.845	32.579	35.589
20	13.303	16.910	19.435	22.788	25.408	28.136	30.996	35.009	38.242
25	14.066	17.880	20.550	24.095	26.866	29.750	32.774	37.017	40.436
30	14.722	18.714	21.508	25.219	28.119	31.138	34.302	38.743	42.322
35	15.300	19.449	22.353	26.210	29.223	32.361	35.650	40.266	43.985
40	15.820	20.109	23.112	27.099	30.215	33.460	36.860	41.633	45.478
45	16.293	20.710	23.803	27.909	31.118	34.460	37.962	42.877	46.837
50	16.727	21.263	24.438	28.654	31.949	35.379	38.975	44.021	48.087
55	17.131	21.776	25.027	29.345	32.719	36.233	39.915	45.083	49.247
60	17.507	22.255	25.578	29.991	33.439	37.029	40.793	46.074	50.330
120	20.820	26.465	30.417	35.665	39.766	44.036	48.511	54.792	59.853
180	23.041	29.289	33.662	39.470	44.008	48.733	53.686	60.637	66.238
240	24.759	31.473	36.172	42.413	47.290	52.367	57.689	65.158	71.177
300	26.180	33.278	38.248	44.846	50.003	55.372	60.999	68.897	75.261
360	27.401	34.830	40.031	46.938	52.335	57.954	63.844	72.110	78.770
420	28.477	36.199	41.604	48.782	54.391	60.231	66.352	74.943	81.865
480	29.444	37.428	43.016	50.438	56.237	62.276	68.605	77.487	84.644
540	30.324	38.546	44.302	51.945	57.918	64.137	70.655	79.803	87.174
600	31.133	39.575	45.484	53.332	59.463	65.848	72.541	81.932	89.500
660	31.884	40.529	46.581	54.618	60.897	67.436	74.290	83.908	91.659
720	32.585	41.420	47.605	55.819	62.237	68.919	75.923	85.753	93.674
780	33.244	42.258	48.568	56.947	63.495	70.312	77.458	87.487	95.568
840	33.865	43.048	49.476	58.012	64.682	71.627	78.906	89.123	97.355
900	34.455	43.797	50.337	59.021	65.807	72.873	80.279	90.673	99.048
960	35.015	44.509	51.155	59.981	66.878	74.059	81.585	92.148	100.660
1020	35.550	45.189	51.937	60.897	67.899	75.190	82.831	93.555	102.197
1080	36.061	45.839	52.684	61.773	68.876	76.272	84.023	94.902	103.668
1140	36.552	46.463	53.401	62.614	69.813	77.310	85.167	96.193	105.078
1200	37.024	47.063	54.090	63.422	70.714	78.307	86.266	97.435	106.435
1260	37.478	47.640	54.754	64.201	71.582	79.268	87.324	98.630	107.741
1320	37.917	48.198	55.395	64.952	72.420	80.196	88.346	99.784	109.001
1380	38.340	48.736	56.014	65.677	73.229	81.092	89.333	100.899	110.219
1440	38.750	49.257	56.613	66.380	74.012	81.959	90.289	101.979	111.398

Nota. Intensidad de precipitación en minutos

Fuente: Elaboración propia

5.- Intensidad y curvas IDF

Intensidad de precipitación en horas

Calculamos la intensidad a partir de la precipitación máxima y duración de la precipitación en horas

La curva de intensidad-duración-frecuencia (IDF) es una herramienta utilizada en hidrología y climatología para analizar y predecir eventos climáticos extremos, específicamente en relación con la precipitación pluvial. Esta curva es importante en la gestión de recursos hídricos, el diseño de infraestructuras hidráulicas y la planificación urbana.

$$I = \frac{P_D}{D}$$

P_D = precipitación máxima de duración D , en mm

D = duración de la precipitación, en horas

Tabla 25
Intensidad de Precipitación en horas

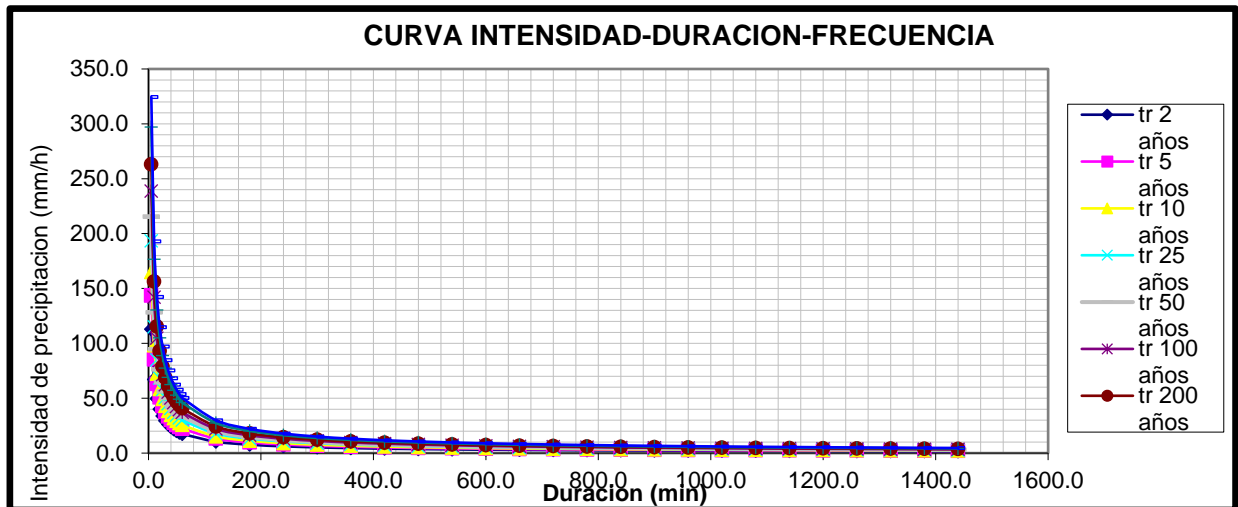
Duración (Horas)	Duración (min)	Periodo de Retorno (Años)								
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00	200.00	500.00	1000.00
0.083	5	112.878	143.485	164.910	193.361	215.594	238.744	263.007	297.058	324.497
0.167	10	67.118	85.316	98.056	114.973	128.193	141.958	156.385	176.632	192.947
0.250	15	49.519	62.945	72.345	84.826	94.579	104.735	115.379	130.317	142.354
0.333	20	39.908	50.729	58.305	68.364	76.224	84.409	92.987	105.026	114.727
0.417	25	33.758	42.912	49.320	57.829	64.478	71.401	78.657	88.841	97.047
0.500	30	29.444	37.428	43.016	50.438	56.237	62.276	68.605	77.487	84.644
0.583	35	26.229	33.341	38.320	44.931	50.097	55.476	61.114	69.027	75.403
0.667	40	23.730	30.164	34.668	40.649	45.323	50.190	55.290	62.449	68.217
0.750	45	21.723	27.614	31.737	37.212	41.491	45.946	50.616	57.169	62.450
0.833	50	20.073	25.516	29.326	34.385	38.339	42.455	46.770	52.825	57.705
0.917	55	18.688	23.755	27.303	32.013	35.694	39.526	43.543	49.181	53.724
1.000	60	17.507	22.255	25.578	29.991	33.439	37.029	40.793	46.074	50.330
2.000	120	10.410	13.233	15.209	17.832	19.883	22.018	24.255	27.396	29.926
3.000	180	7.680	9.763	11.221	13.157	14.669	16.244	17.895	20.212	22.079
4.000	240	6.190	7.868	9.043	10.603	11.822	13.092	14.422	16.290	17.794
5.000	300	5.236	6.656	7.650	8.969	10.001	11.074	12.200	13.779	15.052
6.000	360	4.567	5.805	6.672	7.823	8.722	9.659	10.641	12.018	13.128
7.000	420	4.068	5.171	5.943	6.969	7.770	8.604	9.479	10.706	11.695
8.000	480	3.680	4.678	5.377	6.305	7.030	7.784	8.576	9.686	10.581
9.000	540	3.369	4.283	4.922	5.772	6.435	7.126	7.851	8.867	9.686
10.000	600	3.113	3.957	4.548	5.333	5.946	6.585	7.254	8.193	8.950
11.000	660	2.899	3.684	4.235	4.965	5.536	6.131	6.754	7.628	8.333
12.000	720	2.715	3.452	3.967	4.652	5.186	5.743	6.327	7.146	7.806
13.000	780	2.557	3.251	3.736	4.381	4.884	5.409	5.958	6.730	7.351
14.000	840	2.419	3.075	3.534	4.144	4.620	5.116	5.636	6.366	6.954
15.000	900	2.297	2.920	3.356	3.935	4.387	4.858	5.352	6.045	6.603
16.000	960	2.188	2.782	3.197	3.749	4.180	4.629	5.099	5.759	6.291
17.000	1020	2.091	2.658	3.055	3.582	3.994	4.423	4.872	5.503	6.012
18.000	1080	2.003	2.547	2.927	3.432	3.826	4.237	4.668	5.272	5.759
19.000	1140	1.924	2.445	2.811	3.295	3.674	4.069	4.482	5.063	5.530
20.000	1200	1.851	2.353	2.705	3.171	3.536	3.915	4.313	4.872	5.322
21.000	1260	1.785	2.269	2.607	3.057	3.409	3.775	4.158	4.697	5.131
22.000	1320	1.723	2.191	2.518	2.952	3.292	3.645	4.016	4.536	4.955
23.000	1380	1.667	2.119	2.435	2.856	3.184	3.526	3.884	4.387	4.792
24.000	1440	1.615	2.052	2.359	2.766	3.084	3.415	3.762	4.249	4.642

Nota. Intensidad de precipitación en horas

Fuente: Elaboración propia

Figura 34

Curva de intensidad -duración -frecuencia



Nota . curva IDF muestra la intensidad de precipitación y la duración Ecuación general de las curvas IDF

Fuente: Elaboración propia

$$I_{max} = \frac{K \times T^m}{D^n}$$

I max =intensidad máxima de lluvia, en mm/hr

T = periodo de retorno, en años

D = duración, en minutos

$$\log I_{max} = \log K \times T^m \times D^{-n}$$

$$\log I_{max} = \log K + \log T^m + \log D^{-n}$$

$$y = X_1 + mX_2 - nX_3$$

Análisis de regresión múltiple

El análisis de regresión múltiple es una técnica estadística utilizada para investigar la relación entre una variable dependiente y dos o más variables independientes.

Se utiliza para comprender cómo las variables independientes afectan a la variable dependiente y para predecir valores futuros de la variable dependiente en función de los valores de las variables independientes.

Tabla 26
Análisis de regresión múltiple para 50 años

duración	Tiempo de	Intensi	Duraci	Periodos de	Intensi
		(mm/hr	m	n	k
d	T	I	x3=Lo	x2=Log(T)	y=Log(I
			0.1641	-0.7504	366.558
5	50	215.594	0.699	1.699	2.334
10	50	128.193	1.000	1.699	2.108
15	50	94.579	1.176	1.699	1.976
20	50	76.224	1.301	1.699	1.882
25	50	64.478	1.398	1.699	1.809
30	50	56.237	1.477	1.699	1.750
35	50	50.097	1.544	1.699	1.700
40	50	45.323	1.602	1.699	1.656
45	50	41.491	1.653	1.699	1.618
50	50	38.339	1.699	1.699	1.584
55	50	35.694	1.740	1.699	1.553
60	50	33.439	1.778	1.699	1.524
120	50	19.883	2.079	1.699	1.298
180	50	14.669	2.255	1.699	1.166
240	50	11.822	2.380	1.699	1.073
300	50	10.001	2.477	1.699	1.000
360	50	8.722	2.556	1.699	0.941
420	50	7.770	2.623	1.699	0.890
480	50	7.030	2.681	1.699	0.847
540	50	6.435	2.732	1.699	0.809
600	50	5.946	2.778	1.699	0.774
660	50	5.536	2.820	1.699	0.743
720	50	5.186	2.857	1.699	0.715
780	50	4.884	2.892	1.699	0.689
840	50	4.620	2.924	1.699	0.665
900	50	4.387	2.954	1.699	0.642
960	50	4.180	2.982	1.699	0.621
1020	50	3.994	3.009	1.699	0.601
1080	50	3.826	3.033	1.699	0.583
1140	50	3.674	3.057	1.699	0.565
1200	50	3.536	3.079	1.699	0.548
1260	50	3.409	3.100	1.699	0.533
1320	50	3.292	3.121	1.699	0.517
1380	50	3.184	3.140	1.699	0.503
1440	50	3.084	3.158	1.699	0.489

Nota. Análisis de regresión
Fuente: Elaboración propia

Tabla 27
Análisis de regresión múltiple para 100 años

			Duración	Periodos de retorno	Intensi dad
duración (min)	Tiempo de retorno(años)	Intensi dad (mm/hr)	m	n	k
			0.1641	-0.7504	366.55 88
d	T	I	x3=Log(d)	x2=Log(T)	y=Log(I)
5	100	238.744	0.699	2.000	2.378
10	100	141.958	1.000	2.000	2.152
15	100	104.735	1.176	2.000	2.020
20	100	84.409	1.301	2.000	1.926
25	100	71.401	1.398	2.000	1.854
30	100	62.276	1.477	2.000	1.794
35	100	55.476	1.544	2.000	1.744
40	100	50.190	1.602	2.000	1.701
45	100	45.946	1.653	2.000	1.662
50	100	42.455	1.699	2.000	1.628
55	100	39.526	1.740	2.000	1.597
60	100	37.029	1.778	2.000	1.569
120	100	22.018	2.079	2.000	1.343
180	100	16.244	2.255	2.000	1.211
240	100	13.092	2.380	2.000	1.117
300	100	11.074	2.477	2.000	1.044
360	100	9.659	2.556	2.000	0.985
420	100	8.604	2.623	2.000	0.935
480	100	7.784	2.681	2.000	0.891
540	100	7.126	2.732	2.000	0.853
600	100	6.585	2.778	2.000	0.819
660	100	6.131	2.820	2.000	0.788
720	100	5.743	2.857	2.000	0.759
780	100	5.409	2.892	2.000	0.733
840	100	5.116	2.924	2.000	0.709
900	100	4.858	2.954	2.000	0.686
960	100	4.629	2.982	2.000	0.665
1020	100	4.423	3.009	2.000	0.646
1080	100	4.237	3.033	2.000	0.627
1140	100	4.069	3.057	2.000	0.609
1200	100	3.915	3.079	2.000	0.593
1260	100	3.775	3.100	2.000	0.577
1320	100	3.645	3.121	2.000	0.562
1380	100	3.526	3.140	2.000	0.547
1440	100	3.415	3.158	2.000	0.533

Nota. Análisis de regresión múltiple
Fuente: Elaboración propia

Tabla 28*Consolidada estadística de la regresión*

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99953144
Coefficiente de determinación R ²	0.9990631
R ² ajustado	0.99905707
Error típico	0.01723366
Observaciones	314

Nota. Consolidación estadística

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29*Análisis de varianza*

	Coeficientes	
Intercepción	2.56414363	
	0.69897	0.75036059
	0.30103	0.16413936

Nota análisis de varianza

Fuente: Elaboración propia

$n = 0.75$ (Duración)

$m = 0.16$ (Periodos de retorno)

$k = 10^{2.56} = 366.55$ (Intensidad)

Estimación de la intensidad de precipitación con el tiempo de concentración

La estimación de la intensidad de precipitación con el tiempo de concentración es un concepto utilizado en ingeniería hidrológica y civil para calcular la tasa de precipitación máxima que se espera en una determinada área durante un evento de lluvia, teniendo en cuenta el tiempo de concentración de una cuenca o una superficie impermeable.

El tiempo de concentración se refiere al tiempo que tarda el agua de lluvia en recogerse y fluir hacia un punto de drenaje específico, como un canal, un río o un sistema de alcantarillado. Este tiempo depende de varios factores, como la pendiente del terreno, la rugosidad de la superficie, la forma de la cuenca y la

vegetación presente. Cuanto más corto sea el tiempo de concentración, mayor será la tasa de escurrimiento y la intensidad de la precipitación que la cuenca o superficie puede manejar antes de producir inundaciones.

La fórmula de Kirpich se expresa de la siguiente manera:

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Tiempo de concentración de la cuenca (Fórmula Kirpich)

L cauce principal =7.92km

Pendiente =0.2927m/m

Tiempo concentración = 0.5211h

Tiempo de duración de la tormenta =1h=60min

Curvas IDF de la cuenca

$$I = \frac{365.44 \times T^{0.164}}{D^{0.75}}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de Retorno (años)

D= Tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla 30

Intensidad de precipitación según duración, frecuencia y periodo de retorno

Valores de Intensidad de precipitación según Duración de la misma y Frecuencia de repetición

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
5	122.45	142.31	159.44	185.29	207.60	232.59	302.85
10	72.81	84.62	94.80	110.18	123.44	138.30	180.08
15	53.72	62.43	69.95	81.29	91.07	102.04	132.86
20	43.29	50.31	56.37	65.51	73.40	82.23	107.07
25	36.62	42.56	47.68	55.42	62.09	69.56	90.57
30	31.94	37.12	41.59	48.33	54.15	60.67	79.00
35	28.45	33.07	37.05	43.06	48.24	54.05	70.37
40	25.74	29.92	33.52	38.95	43.64	48.90	63.67
45	23.57	27.39	30.68	35.66	39.95	44.76	58.28
50	21.78	25.31	28.35	32.95	36.92	41.36	53.86
55	20.27	23.56	26.40	30.68	34.37	38.51	50.14
60	18.99	22.07	24.73	28.74	32.20	36.08	46.97

Nota. Intensidad de precipitación

Fuente: Elaboración propia

7.- Hietograma de diseño

Un hietograma de diseño es una representación gráfica de la distribución temporal de la intensidad de lluvia en un evento o tormenta.

Se utiliza comúnmente en ingeniería hidrológica y de drenaje para estimar la cantidad y el patrón de precipitación que se espera en un área específica durante un evento, como una tormenta de 10, 25 o 100 años de retorno.

El proceso de creación de un hietograma de diseño implica dividir el período de la tormenta en intervalos de tiempo discretos y asignar una intensidad de lluvia a cada uno de estos intervalos.

Tabla 31

Hietograma para 50 años

Hietograma para periodo retorno 50 años						
Duración de la tormenta (h)	1	60	min			
Intensidad de lluvia (mm/h)	32.20					
Precipitación en 24 horas (mm)	32.20					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	207.60	17.30	17.30	207.60	0.74	8.90
10	123.44	20.57	3.27	39.28	0.87	10.43
15	91.07	22.77	2.19	26.34	1.06	12.77
20	73.40	24.47	1.70	20.37	1.40	16.84
25	62.09	25.87	1.40	16.84	2.19	26.34
30	54.15	27.08	1.21	14.48	17.30	207.60
35	48.24	28.14	1.06	12.77	3.27	39.28
40	43.64	29.10	0.96	11.46	1.70	20.37
45	39.95	29.96	0.87	10.43	1.21	14.48
50	36.92	30.76	0.80	9.60	0.96	11.46
55	34.37	31.51	0.74	8.90	0.80	9.60
60	32.20	32.20	0.69	8.31	0.69	8.31

Nota. Evaluación de intensidad, duración y periodo de retorno evaluados en 50 años y una duración máxima de 60 minutos

Fuente: Elaboración propia

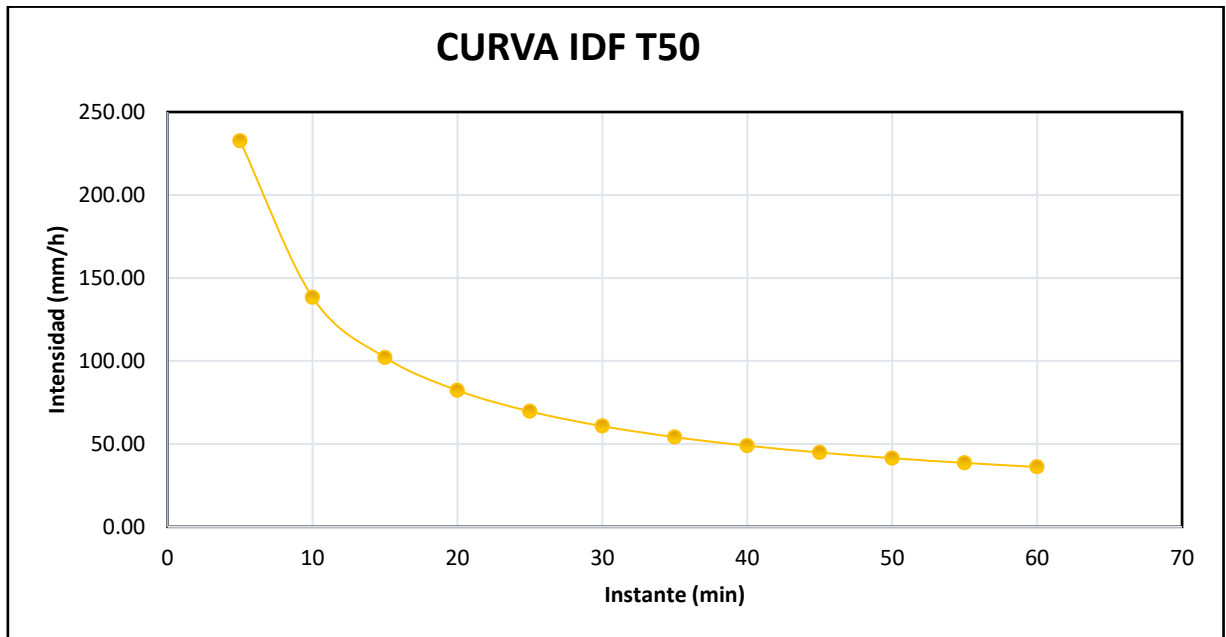
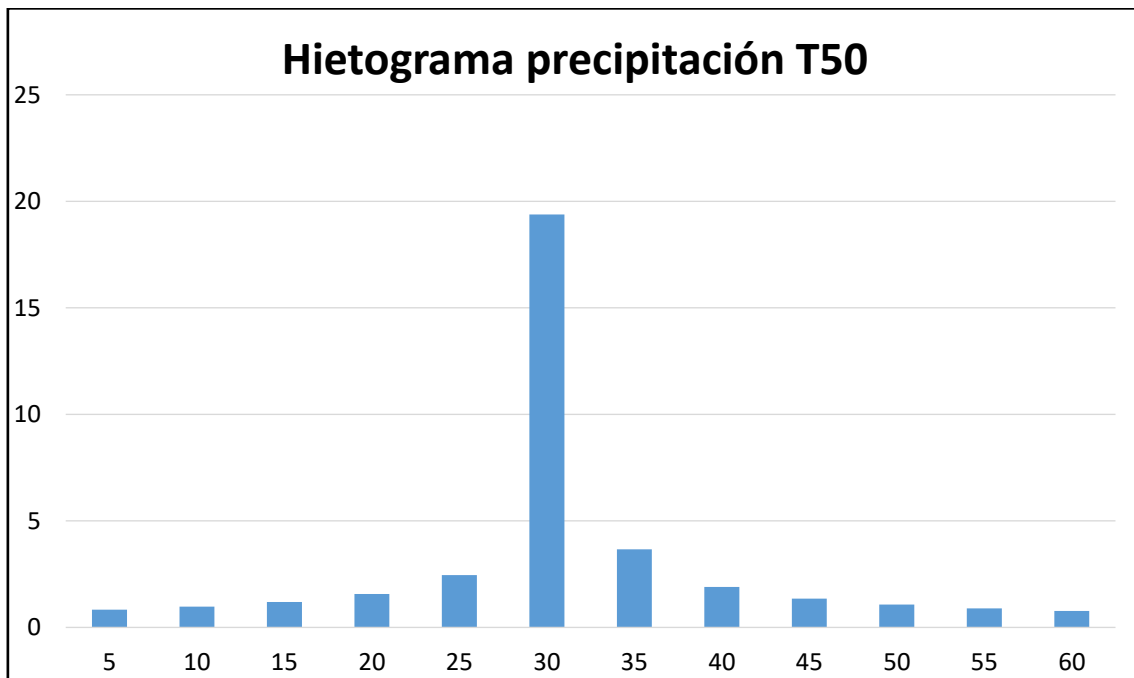
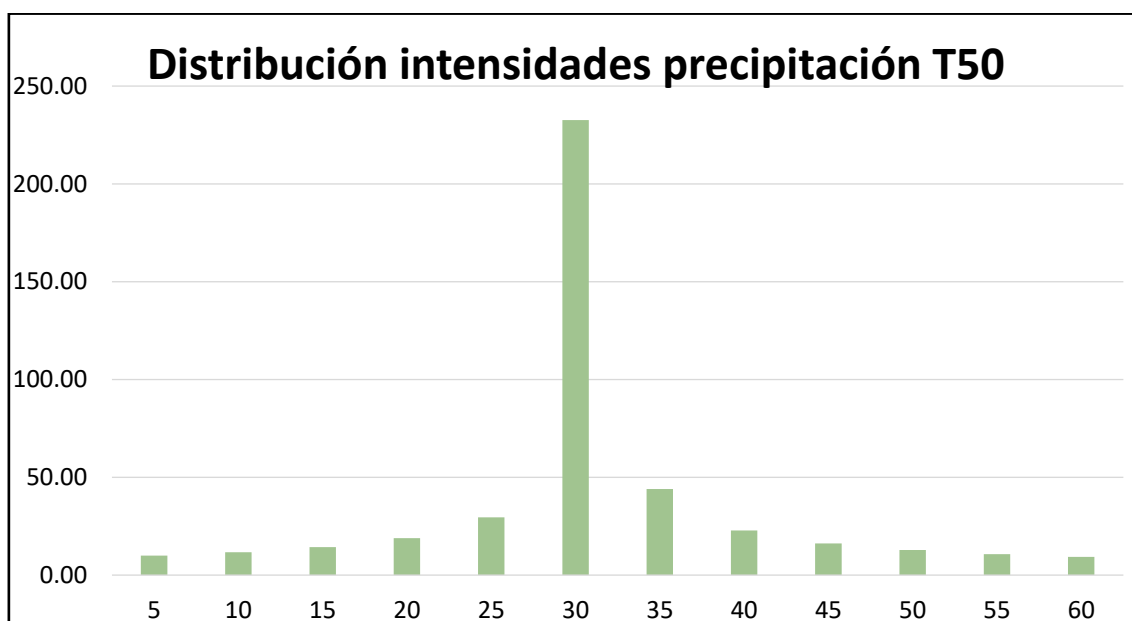
Figura 35*Curva IDF T_{50}* *Fuente: Elaboración propia***Figura 36***Hietograma precipitación T_{50}* *Fuente: Elaboración propia*

Figura 37*Distribución intensidades precipitación T₅₀*

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32*Hietograma para 100 años*

Hietograma para periodo retorno 100 años						
Duración de la tormenta (h)	1		60		min	
Intensidad de lluvia (mm/h)	36.08					
Precipitación en 24 horas (mm)	36.08					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	232.59	19.38	19.38	232.59	0.83	9.97
10	138.30	23.05	3.67	44.01	0.97	11.69
15	102.04	25.51	2.46	29.51	1.19	14.30
20	82.23	27.41	1.90	22.83	1.57	18.87
25	69.56	28.98	1.57	18.87	2.46	29.51
30	60.67	30.34	1.35	16.22	19.38	232.59
35	54.05	31.53	1.19	14.30	3.67	44.01
40	48.90	32.60	1.07	12.84	1.90	22.83
45	44.76	33.57	0.97	11.69	1.35	16.22
50	41.36	34.47	0.90	10.75	1.07	12.84
55	38.51	35.30	0.83	9.97	0.90	10.75
60	36.08	36.08	0.78	9.32	0.78	9.32

Nota. Evaluación de intensidad, duración y periodo de retorno evaluados en 100 años y una duración máxima de 60 minutos.

Fuente: Elaboración propia

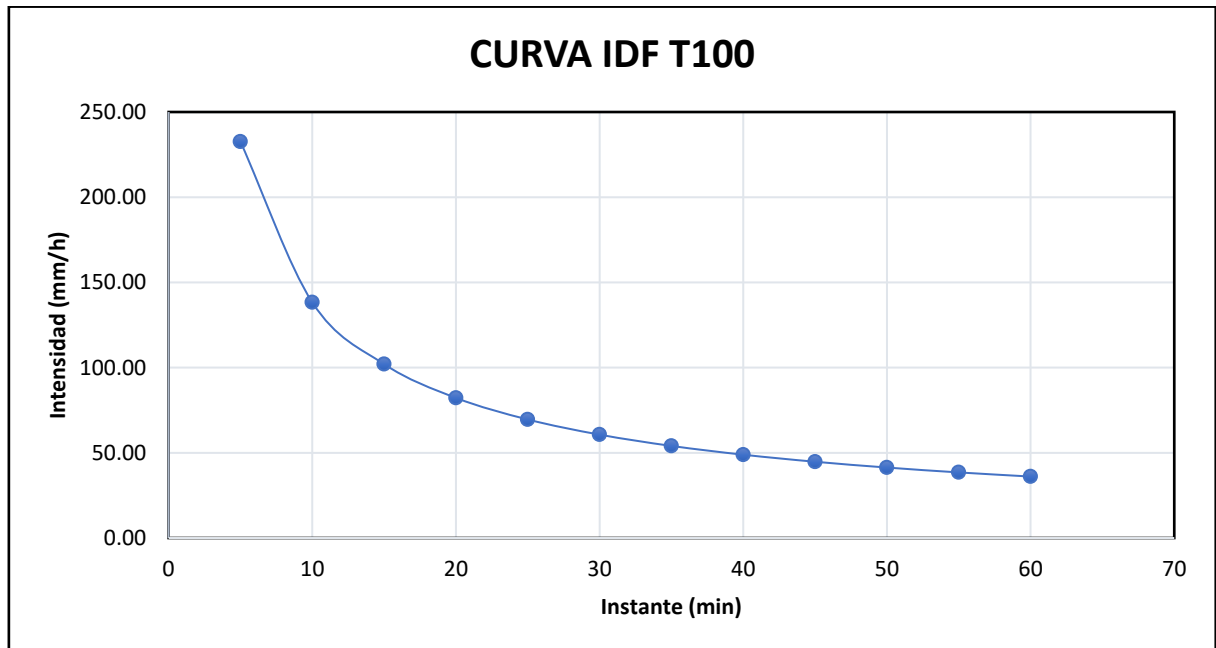
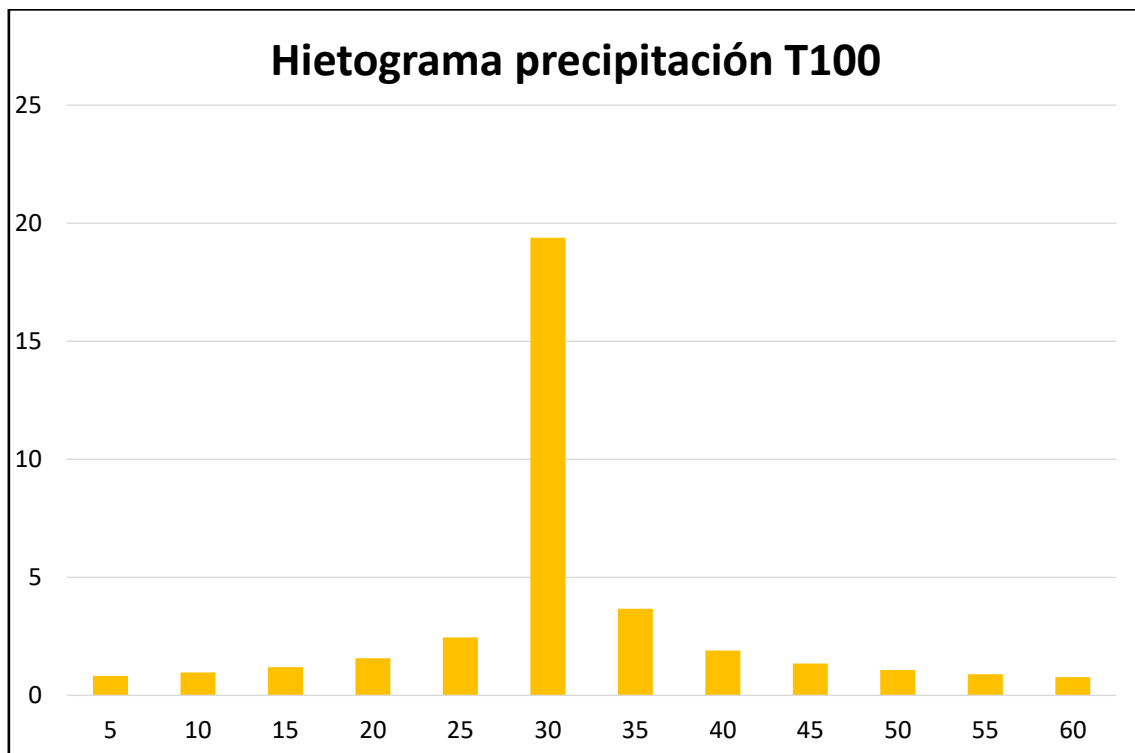
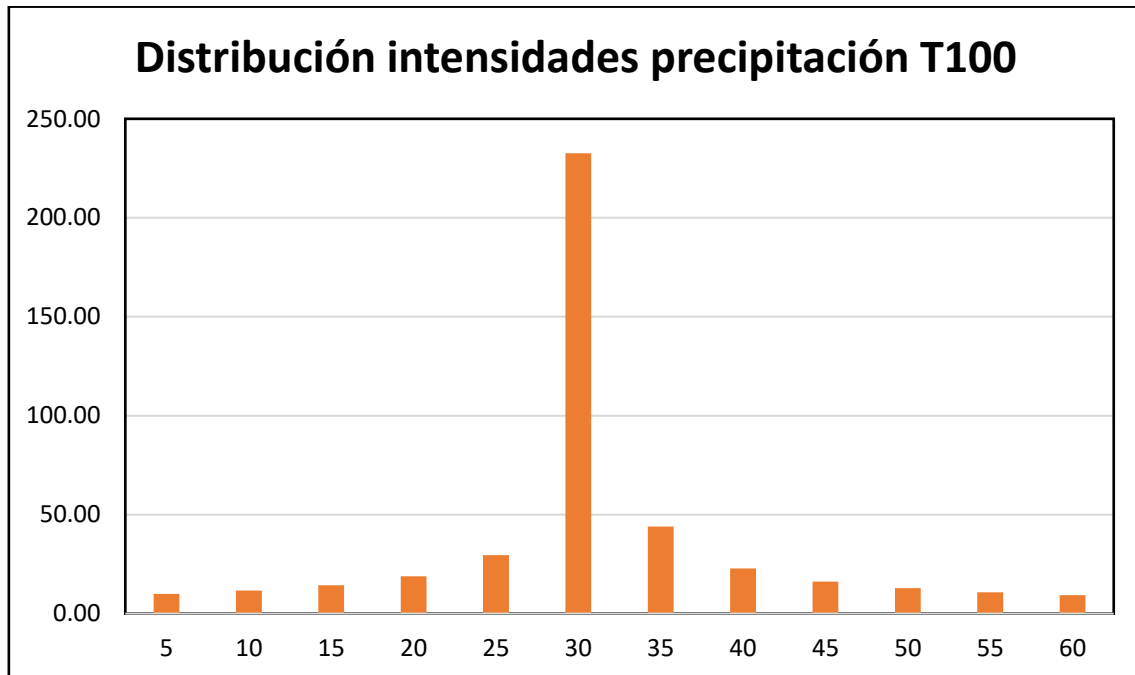
Figura 38*Curva IDF T100**Fuente: Elaboración propia***Figura 39***Hietograma precipitación T100**Fuente: Elaboración propia*

Figura 40*Distribución intensidad precipitación T_{100}* 

Fuente: Elaboración propia

Método SCS

El método SCS (Servicio de Conservación de Suelos, por sus siglas en inglés Soil Conservation Service) en hidráulica se refiere a un enfoque utilizado para estimar la escorrentía y el caudal de diseño en proyectos de control de inundaciones, gestión de recursos hídricos y diseño de infraestructura hidráulica, como canales, presas y sistemas de drenaje. Este método se desarrolló en los Estados Unidos y fue originalmente desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, que luego se convirtió en el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés).

Curva número SCS

El propósito principal de este sistema es estimar la cantidad de escorrentía superficial que se generará durante una tormenta en función de las características del suelo y la cobertura vegetal en un área determinada. Estos números son

importantes para el diseño de sistemas de conservación de suelos y control de erosión.

Tabla 33

Cálculo de curva numero

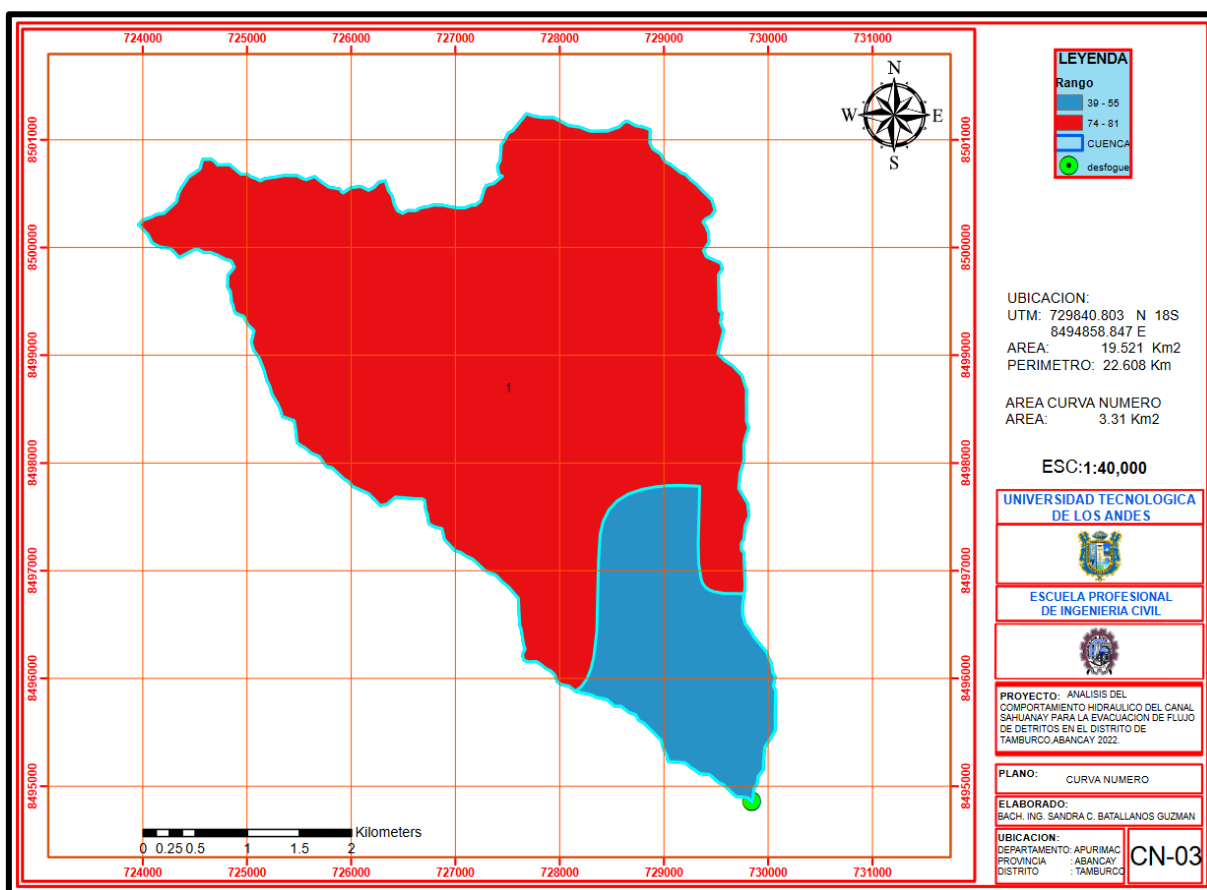
Zona	Rango	Área	Prom. rango	Calculo cn
zona celeste	39-55	3.31km ²	47	155.57
zona roja	74-81	16.21 km ²	77.5	1256.275
				72.328

Nota. Cálculo de curva

Fuente: Elaboración propia

Figura 41

Curva número 72



Fuente: Elaboración propia

Nota. Para el área de la cuenca se determinó la curva número 72

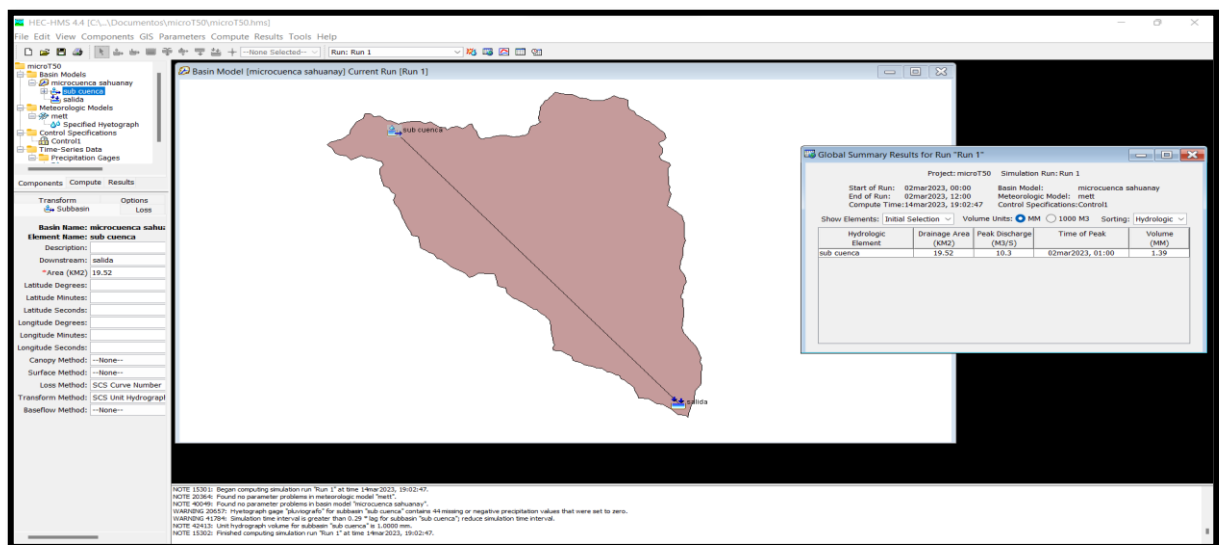
Estimación de caudal máximo con el software HEC HMS (caudal de diseño)

La estimación del caudal máximo utilizando el software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) implica la creación de un modelo hidrológico que simule el comportamiento de una cuenca Sahuanay en respuesta a las precipitaciones y otros factores hidrológicos.

Caudal Pico (HEC HMS)

Figura 42

Periodo de retorno de 50 años con una curva numero 72

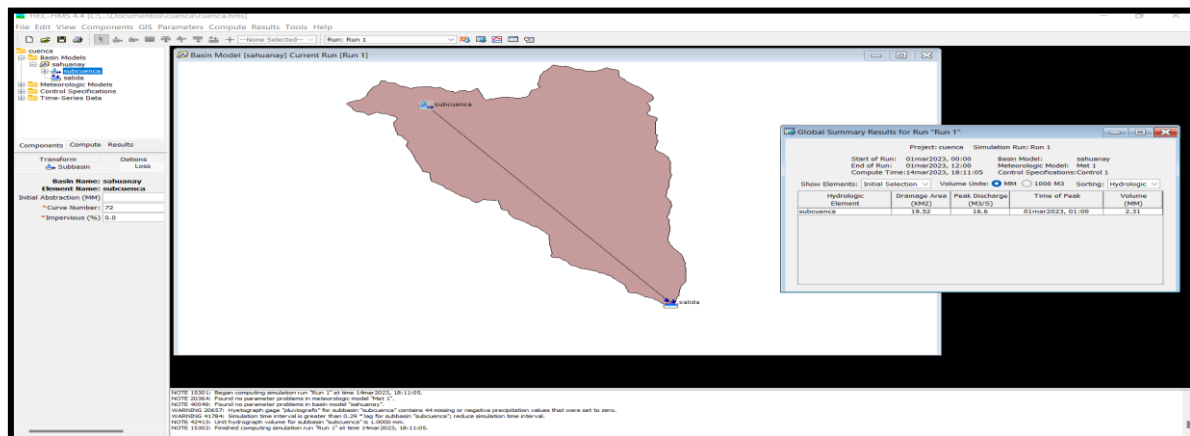


Nota. Para un periodo de retorno de 50 años y curva número de 72 se obtuvo un caudal pico = 10.3 m³/seg.

Fuente: Elaboración propia

Figura 43

Periodo de retorno de 100 años con una curva numero 72



Nota. Para un periodo de retorno de 50 años y curva número de 72 se obtuvo un caudal pico = 16.6 m³/seg. Se considero para el estudio hidráulico el caudal pico = 16.6 m³/seg para un tiempo de retorno de 100 años.

Fuente: Elaboración propia

Estudio hidráulico del canal de Sahuanay

El estudio hidráulico del canal de Sahuanay permitió evaluar y comprender cómo fluye y se comporta el agua en el canal de estudio.

Para el estudio hidráulico, se necesitó la topografía del canal junto con la quebrada, los culvert, el análisis granulométrico del estudio de suelos para calcular el porcentaje de arcilla, el d₅₀, los parámetros no newtonianos para ingresar al programa Hec ras que viene hacer la concentración volumétrica, el esfuerzo de cedencia y viscosidad con apoyo de las tablas de O' brien.

Tabla 34

Análisis del porcentaje de arcilla de las 5 calicatas

calicatas	arcilla
calicata 1	20.8%
calicata 2	21%
calicata 3	21%
calicata 4	21.1%
calicata 5	21.2%
promedio	21.02%

Nota. Análisis de porcentaje

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35

Propiedades de las matrices de flujos de lodo (solo limo y arcilla)

Muestras Tipo	Arcilla (%)
Glenwood sample 2	3.0
Glenwood original	4.8
Glenwood sample 3	4.8
Glenwood sample 1	6.8
Aspen mine fill source	25.2
Glenwood sample 4	7.6
Aspen natural soil source	31.6
Aspen mine fill	27.8
Aspen natural soil	27.8
Aspen Pit 1	31.3

Nota. El porcentaje promedio de arcilla fue de 21.2%, evaluando en la tabla de las propiedades de las matrices de los flujos de lodo se determinó el uso del método de Aspen Mine Fill Source.

Fuente: O' Brien (2008) Manual FLO-2D

Para el modelamiento hidráulico se usó el hidrograma generado por el software HEC HMS como resultado del caudal de la cuenca.

Tabla 36

Hidrogramas de la cuenca Sahuayanay

Fecha	Hora	Minutos	Valor
01jun.2023	00:00	0.00	0
01jun.2023	00:15	15.00	0
01jun.2023	00:30	30.00	2.3
01jun.2023	00:45	45.00	10.6
01jun.2023	01:00	60.00	16.6
01jun.2023	01:15	75.00	12
01jun.2023	01:30	90.00	5.2
01jun.2023	01:45	105.00	2.1
01jun.2023	02:00	120.00	0.8
01jun.2023	02:15	135.00	0.3
01jun.2023	02:30	150.00	0.1
01jun.2023	02:45	165.00	0
01jun.2023	03:00	180.00	0
01jun.2023	03:15	195.00	0
01jun.2023	03:30	210.00	0
01jun.2023	03:45	225.00	0
01jun.2023	04:00	240.00	0
01jun.2023	04:15	255.00	0
01jun.2023	04:30	270.00	0
01jun.2023	04:45	285.00	0
01jun.2023	05:00	300.00	0

01jun.2023	05:15	315.00	0
01jun.2023	05:30	330.00	0
01jun.2023	05:45	345.00	0
01jun.2023	06:00	360.00	0
01jun.2023	06:15	375.00	0
01jun.2023	06:30	390.00	0
01jun.2023	06:45	405.00	0
01jun.2023	07:00	420.00	0
01jun.2023	07:15	435.00	0
01jun.2023	07:30	450.00	0
01jun.2023	07:45	465.00	0
01jun.2023	08:00	480.00	0
01jun.2023	08:15	495.00	0
01jun.2023	08:30	510.00	0
01jun.2023	08:45	525.00	0
01jun.2023	09:00	540.00	0
01jun.2023	09:15	555.00	0
01jun.2023	09:30	570.00	0
01jun.2023	09:45	585.00	0
01jun.2023	10:00	600.00	0
01jun.2023	10:15	615.00	0
01jun.2023	10:30	630.00	0
01jun.2023	10:45	645.00	0
01jun.2023	11:00	660.00	0
01jun.2023	11:15	675.00	0
01jun.2023	11:30	690.00	0
01jun.2023	11:45	705.00	0
01jun.2023	12:00	720.00	0

Nota. Hidrogramas de la cuenca

Fuente: Elaboración propia

D₅₀ Estándar

El D₅₀, también conocido como el diámetro medio, es el tamaño de partícula por debajo del cual se encuentra el 50% del peso total de las partículas. En otras palabras, es un indicador del tamaño promedio de las partículas en una muestra de suelo.

Tabla 37*D50 Estándar de las 5 calicatas*

Calicata	D50
01 PROGRESIVA 0+141	3.83
02 PROGRESIVA 0+518	3.79
03 PROGRESIVA 0+913	3.75
04 PROGRESIVA 1+240	3.71
05 PROGRESIVA 2+402	3.67
	3.75

Nota. Se determino el valor promedio de los D₅₀ de las 5 calicatas con un valor de 3.75

Fuente: Elaboración propia

Parámetros no newtonianos

se refieren a propiedades de fluidos que no siguen el comportamiento newtoniano.

En el contexto de la física y la mecánica de fluidos, los fluidos newtonianos son aquellos que obedecen la ley de viscosidad de Newton, que establece que la viscosidad del fluido (su resistencia al fluir) es constante, independientemente de la velocidad de corte o la fuerza aplicada. En otras palabras, en un fluido newtoniano, la relación entre el esfuerzo cortante (fuerza aplicada por unidad de área) y la velocidad de corte (gradiente de velocidad) es lineal.

Concentración volumétrica

La concentración volumétrica es una medida que se utiliza en química y ciencias relacionadas para expresar la cantidad de una sustancia disuelta en un volumen específico de una solución. Se expresa generalmente en términos de unidades de volumen, como litros o mililitros, y se utiliza para cuantificar la cantidad de soluto (sustancia disuelta) presente en una solución en relación con el volumen total de la solución.

Tabla 38
Concentración volumétrica del Manual FLO-2D

Descripción del Tipo de Flujo	Concentración de sedimentos		Características del Flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamientos	0,65 – 0,80	0,83 – 0,91	No hay flujo; falla por deslizamiento de bloques
	0,55 – 0,65	0,76 – 0,83	Derrumbe de bloques con deformación interna durante el deslizamiento, movimiento paulatino del terreno antes de fallar.
Flujos de lodo (<i>Mudflow</i>)	0,48 – 0,55	0,72 – 0,76	Flujo evidente; deslizamiento lento sostenido por el flujo de lodo; deformación plástica bajo su propio peso; cohesivo; no se expande en la superficie.
	0,45 – 0,48	0,69 – 0,72	Flujo se extiende sobre la superficie; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Avenida de lodo (<i>Mud Flood</i>)	0,40 – 0,45	0,65 – 0,69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra las propiedades fluidas en la deformación; distribuido en la superficie horizontal pero mantiene una superficie fluida inclinada; partículas grandes se depositan (peñones); aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0,35 – 0,40	0,59 – 0,65	Deposición marcada de gravas y cantos rodados; se expande casi completamente sobre la superficie horizontal; aparece la superficie líquida con dos fases del fluido; las olas viajan en la superficie.
	0,30 – 0,35	0,54 – 0,59	Separación del agua en la superficie; las olas viajan fácilmente; la mayoría de las arenas y gravas se han sedimentado y se mueven como arrastre de fondo
	0,20 – 0,30	0,41 – 0,54	Se distinguen claramente las olas y ondas; todas las partículas descansando en el fondo en condición inmóvil.
Inundación de agua	< 0,20	< 0,41	Inundación de agua con carga suspendida convencional y arrastre de fondo.

Nota. Se procedió a determinar la concentración volumétrica igual a $cv=0.51$ o 51% apoyadas en fotografías sobre sucesos de desbordamiento de detritos ocurridos el 17 de marzo de 2012

Fuente: O' Brien (2000) Manual FLO-2D

Figura 44

Imágenes del desbordamiento en la cabecera de la ciudad de Abancay



Fuente: Radio programas del Perú (RPP)

Tabla 39

Esfuerzo de cedencia y viscosidad

Fuente	$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v}$		$\eta = \alpha e^{\beta C_v}$	
	α	β	α	β
Correlaciones de mediciones en Campo				
Aspen Pit 1	0,181	25,7	0,0360	22,1
Aspen Pit 2	2,72	10,4	0,0538	14,5
Aspen Natural Soil	0,152	18,7	0,00136	28,4
Aspen Mine Fill	0,0473	21,1	0,128	12,0
Aspen Watershed	0,0383	19,6	0,000495	27,1
Aspen Mine Source Area	0,291	14,3	0,000201	33,1
Glenwood 1	0,0345	20,1	0,00283	23,0
Glenwood 2	0,0765	16,9	0,0648	6,20
Glenwood 3	0,000707	29,8	0,00632	19,9
Glenwood 4	0,00172	29,5	0,000602	33,1
Correlaciones disponibles de la literatura:				
Iida (1938)	-	-	0,0000373	36,6
Dai et al. (1980)	2,60	17,48	0,00750	14,39
Kang and Zhang (1980)	1,75	7,82	0,0405	8,29
Qian et al. (1980)	0,00136	21,2	-	-
	0,050	15,48	-	-
Chien and Ma (1958)	0,0588	19,1-32,7	-	-
Fei (1981)	0,166	25,6	-	-
	0,00470	22,2	-	-

Fuente: O'Brien y Julien (1988)

Fuente: O'Brien y Julien (1988)

Esfuerzo de cedencia

El "esfuerzo de cedencia" es un término que se utiliza en el campo de la mecánica de materiales y la ingeniería para describir la cantidad máxima de esfuerzo que un material puede soportar antes de que comience a deformarse permanentemente o a ceder. En otras palabras, es la tensión máxima a la que un material puede ser sometido sin experimentar una deformación plástica irreversible.

Su fórmula es:

$$\tau_y = \alpha e^{\beta C_v} \quad \tau_y = 0.291 * e^{14.3 * 0.51} = 42.77 \text{ Pa}$$

Viscosidad

La viscosidad es una propiedad física que describe la resistencia de un fluido a fluir. Es una medida de la fricción interna dentro de un fluido cuando sus partículas se mueven unas respecto a otras. Los fluidos con alta viscosidad son más espesos y tienen una resistencia mayor al flujo, mientras que los fluidos con baja viscosidad son más delgados y fluyen con más facilidad.

$$\eta = \alpha e^{\beta C_v} = 0.000201 * e^{33.1 * 0.51} = 431.04 \text{ Pa*s}$$

O'Brien puede ser adecuado para modelar flujos en canales o ríos con geometrías más simples y cuando los efectos de inundación y propagación de ondas no son tan críticos.

Figura 45

Parámetros de los métodos no newtonianos

Non-Newtonian Methods and Parameters

Non-Newtonian Method: O'Brien Equation (Quadratic)

Concentration and Bulking

Volumetric Concentration (Cv) (%): 51. Convert Conc

Select Bulking Method: Bulk Fluid Volume

Shear Components

Yield Strength: User Yield τ 42.77 Pa

Mixture Dynamic Viscosity: User Defined Viscosity μ 431.04 Pa-s

Representative Grain Size - ds (mm): 3.75 Max Cv (%) (Opt): 61.5

Generalized Herschel-Bulkley Parameters: K 0 n 0

Elastic Methods: Coulomb ϕ 0

OK Cancel

Nota. Como resultados tenemos plano de tirantes, velocidades, puntos críticos por desborde

Fuente: captura de pantalla del software Hec ras

Análisis del Consolidado de resultado general

Tabla 40

Comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay

Comportamiento hidráulico del canal									
Sección del canal más crítica				Caudal máximo			Parámetros topográficos		
Sección del canal				Periodo de retorno	Curva numero	Caudal máximo	Pendientes por kilómetros		
Ancho	Altura	Kilometraje					Pendiente	Distancias	
		Inicio	Final	100 años	72	16.6 m ³ /seg			Inicio
5.20 m	2.80 m	0+080.00 km	2+480.92 km				-26.67%	0+100.00 km	0+160.00 km

Nota. Comportamiento hidráulico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41

Evaluación del flujo de detritos del canal de Sahuanay

Flujo de detritos						
Progresiva	Tirantes	Progresiva	Velocidad	Parámetros reológicos		
				Concentración volumétrica	Esfuerzo de cedencia	Viscosidad
1+250km-1+300km	3.25m-5.88m	1+600km+1+750km	6.33m/seg-8.33m/seg			
2+500km-2+525km	3.25m-5.88m	2+200km-2+500km	6.33m/seg-8.33m/seg	51%	42.77 Pa	431.04 Pa*s

Nota. Evaluación del flujo de detritos

Fuente: Elaboración propia

Análisis del comportamiento hidráulico

Sección del canal Sahuanay

Tabla 42

Dimensiones del canal

Dimensiones del canal			
Ancho	Altura	Kilometraje	
		Inicio	Final
16.60 m	2.80 m	0+000.00 km	
9.20 m	2.80 m	0+010.00 km	0+020.00 km
7.30 m	2.80 m	0+020.00 km	0+080.00 km
5.20 m	2.80 m	0+080.00 km	2+480.92 km

Nota. Las dimensiones del canal presentaron una altura constante de 2.8 m mientras el ancho presento una variación de 16.60 m a 5.20 m.

Fuente: Elaboración propia

Caudal máximo del canal de Sahuanay

Tabla 43

Caudal máximo de canal de Sahuanay

Periodo de retorno	Curva numero	Caudal máximo
50 años	72	10.3 m ³ /seg
100 años	72	16.6 m ³ /seg
Se considero como caudal máximo		16.6 m ³ /seg

Nota. Se evaluó dos periodos de retorno de 50 y 100 años usando el método de la curva 72 obteniendo un caudal máximo de 10.3 m³/seg para un periodo de retorno de 50 años y un caudal máximo de 16.6 m³/seg para un periodo de retorno de 100 años siendo este el caudal usado para este estudio.

Fuente: Elaboración propia

Parámetros topográficos del canal Sahuanay

Tabla 44

Pendientes de canal de Sahuanay

Pendientes por kilómetros		
Pendiente	Distancias	
	Inicio	Final
-7.3754%	0+000.00 km	0+050.00 km
-16.0000%	0+050.00 km	0+100.00 km
-26.6667%	0+100.00 km	0+160.00 km
-21.6667%	0+160.00 km	0+220.00 km
-20.0000%	0+220.00 km	0+260.00 km
-21.6667%	0+260.00 km	0+320.00 km
-7.2727%	0+320.00 km	0+430.00 km
-17.8340%	0+430.00 km	0+564.57 km
-15.5945%	0+564.57 km	0+680.00 km
-26.1019%	0+680.00 km	0+789.81 km
-13.3033%	0+789.81 km	0+860.00 km
-17.1429%	0+860.00 km	0+930.00 km
-23.3735%	0+930.00 km	1+002.73 km
-11.0018%	1+002.73 km	1+030.00 km
-21.0000%	1+030.00 km	1+130.00 km
-16.0000%	1+130.00 km	1+180.00 km
-6.6667%	1+180.00 km	1+330.00 km
-10.0000%	1+330.00 km	1+460.00 km
-12.9486%	1+460.00 km	1+544.95 km
-16.2784%	1+544.95 km	1+637.10 km
-10.8562%	1+637.10 km	1+720.00 km
-5.8333%	1+720.00 km	1+840.00 km
-16.2500%	1+840.00 km	1+920.00 km
-10.7468%	1+920.00 km	1+975.83 km
-3.8399%	1+975.83 km	2+080.00 km
-11.8750%	2+080.00 km	2+240.00 km
-17.2727%	2+240.00 km	2+350.00 km
-11.4570%	2+350.00 km	2+480.92 km

Nota. Se determino la pendiente más pronunciada de -26.6667% en la progresiva que inicia en Km 0+100.00 y termina en Km 0+160.00

Fuente: Elaboración propia

Análisis del flujo de los detritos

Tabla 45

Resultado de plano de los tirantes

Progresiva	Tirantes
0+000km-0+100km	1.13m-3.25 m
0+100km-0+350km	0.53m-1.82 m
0+350km-0+500km	1.13m-3.25 m
0+500km-0+750km	0.53m-1.82 m
0+750km-0+850km	0.53m-1.82 m
0+850km-0+950km	1.13m-1.82 m
0+950km-1+050km	0.53m-1.82 m
1+050km-1+200km	0.53m-1.82 m
1+200km-1+250km	1.13m-3.25 m
1+250km-1+300km	3.25m-5.88 m
1+300km-1+450km	1.13m-3.25 m
1+450km-1+750km	1.13m-1.82 m
1+750km-1+900km	1.82m-3.25 m
1+900-2+000km	1.13m-1.82 m
2+00km-2+200km	1.82m-3.25 m
2+200km-2+300km	1.13m-3.25 m
2+300km-2+400km	1.13m-1.82 m
2+400km-2+500km	1.13m-3.25 m
2+500km-2+525km	3.25m-5.88 m

Nota. En el tramo estudiado se identificaron dos tirantes más pronunciados ubicados en las progresivas 1+250km-1+300km con un tirante de 3.25m-5.88m y la otra progresiva 2+500km-2+525km con el mismo tirante.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46

Resultado de plano de velocidades

Progresiva	Velocidad
0+000km-0+150km	2.06m/seg-4.13m/seg
0+150km- 0+350km	4.13m/seg-6.33m/seg
0+350km-0+500km	2.06m/seg-4.13m/seg
0+500km-0+750km	4.13m/seg-6.33m/seg
0+750km-0+850km	4.13m/seg-6.33m/seg
0+850km-1+200km	3.25m/seg-6.33m/seg
1+200km-1+350km	2.06m/seg-3.25m/seg
1+350km+1+600km	4.13m/seg-6.33m/seg
1+600km+1+750km	6.33m/seg-8.33m/seg
1+750km-1+850km	2.06m/seg-4.13m/seg
1+850km-2+000km	6.33m/seg-8.33m/seg
2+000km-2+200km	2.06m/seg-4.13m/seg
2+200km-2+500km	6.33m/seg-8.33m/seg
2+500km-2+525km	4.13m/seg-6.33m/seg

Nota. Se pudo determinar la mayor velocidad 6.33m/seg-8.33m/seg en la progresiva 1+600km+1+750km y la otra en la progresiva 2+200km-2+500km con igual velocidad.

Fuente: Elaboración propia

Parámetros reológicos**Tabla 47***Consolidado de los parámetros reológicos*

Concentración volumétrica	Esfuerzo de cedencia	Viscosidad
51%	42.77 Pa	431.04 Pa*s

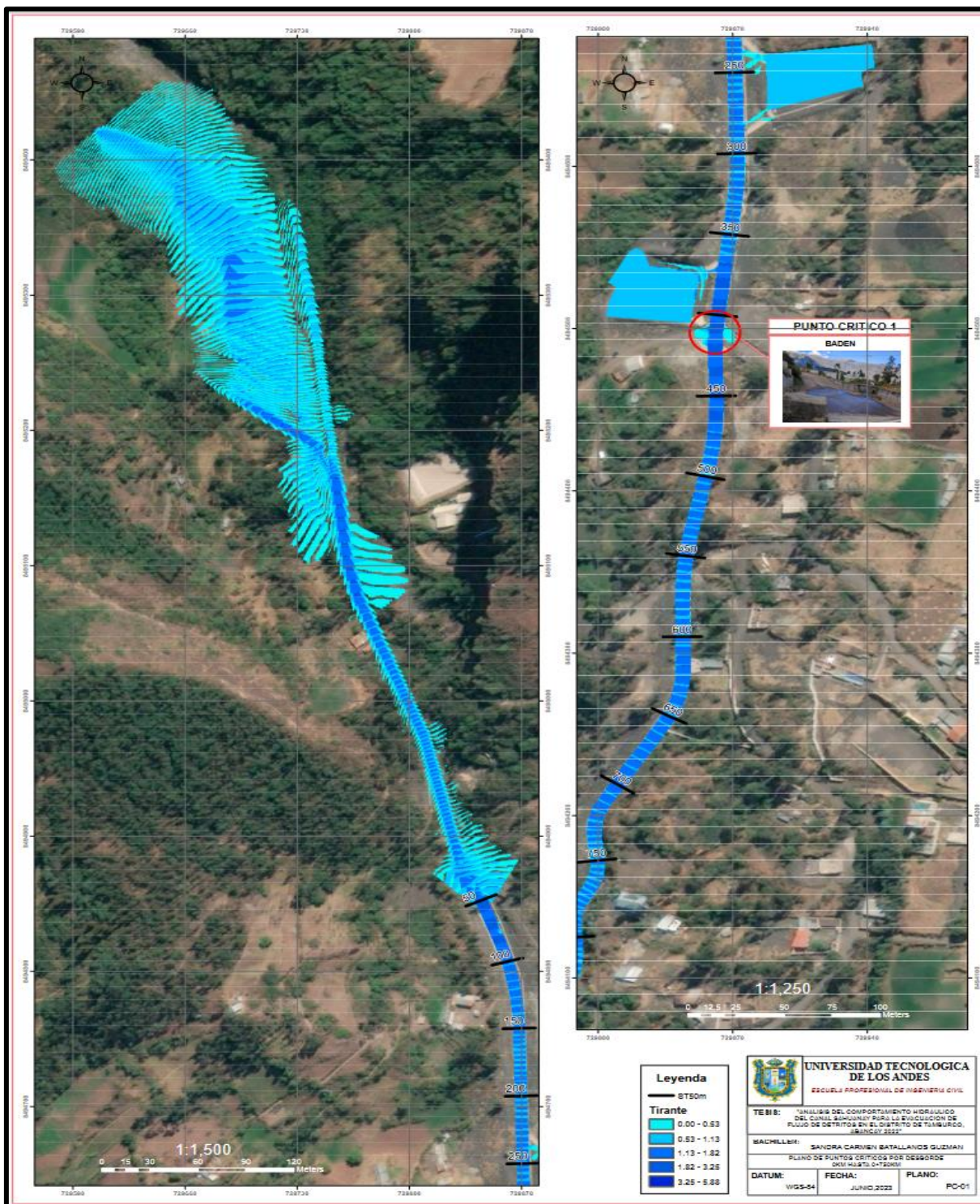
Nota. En cuanto los parámetros reológicos se pudo determinar una concentración volumétrica de 51%, el esfuerzo de cedencia 42.77 Pa y una viscosidad de 431.04 Pa*s.

Fuente: Elaboración propia.

Resultado de modelamiento en 2d

Figura 46

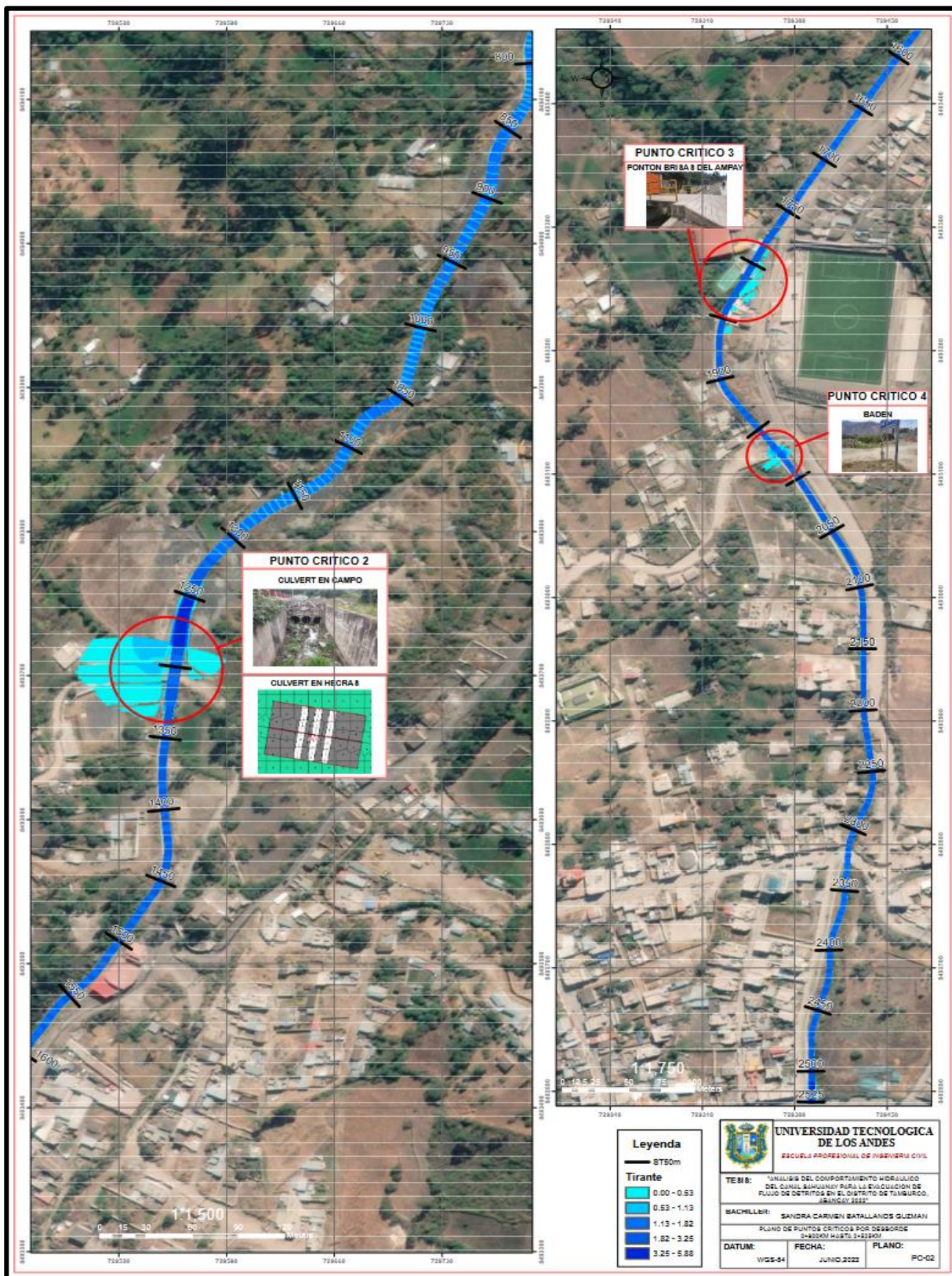
Plano de puntos críticos por desborde desde Km 0 - Km 0+750



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47

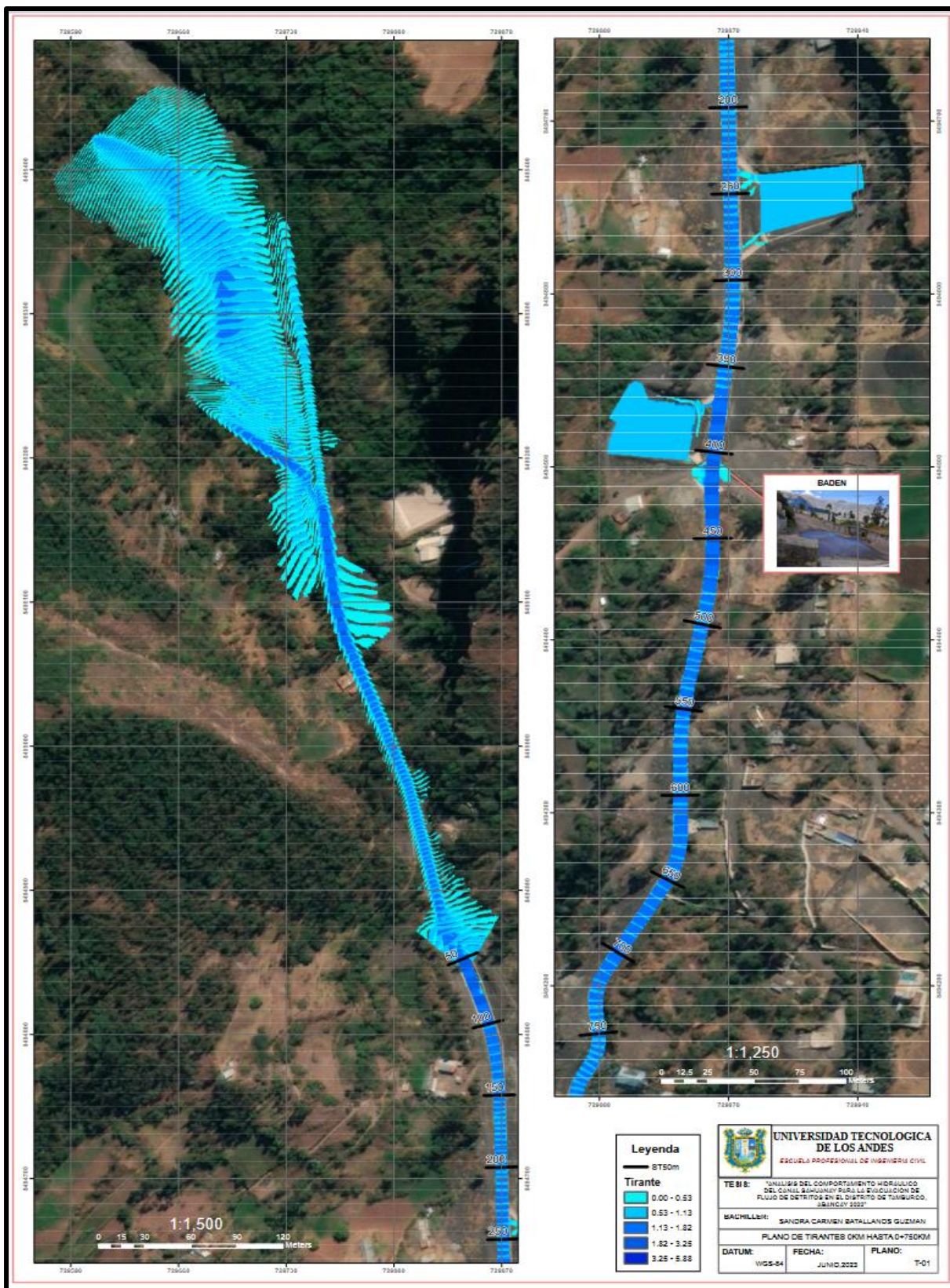
Plano de puntos críticos por desborde desde Km 0+800 - Km 2+525



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48

Plano de tirante desde km 0 - km 0+750



Fuente: Elaboración propia.

Figura 49

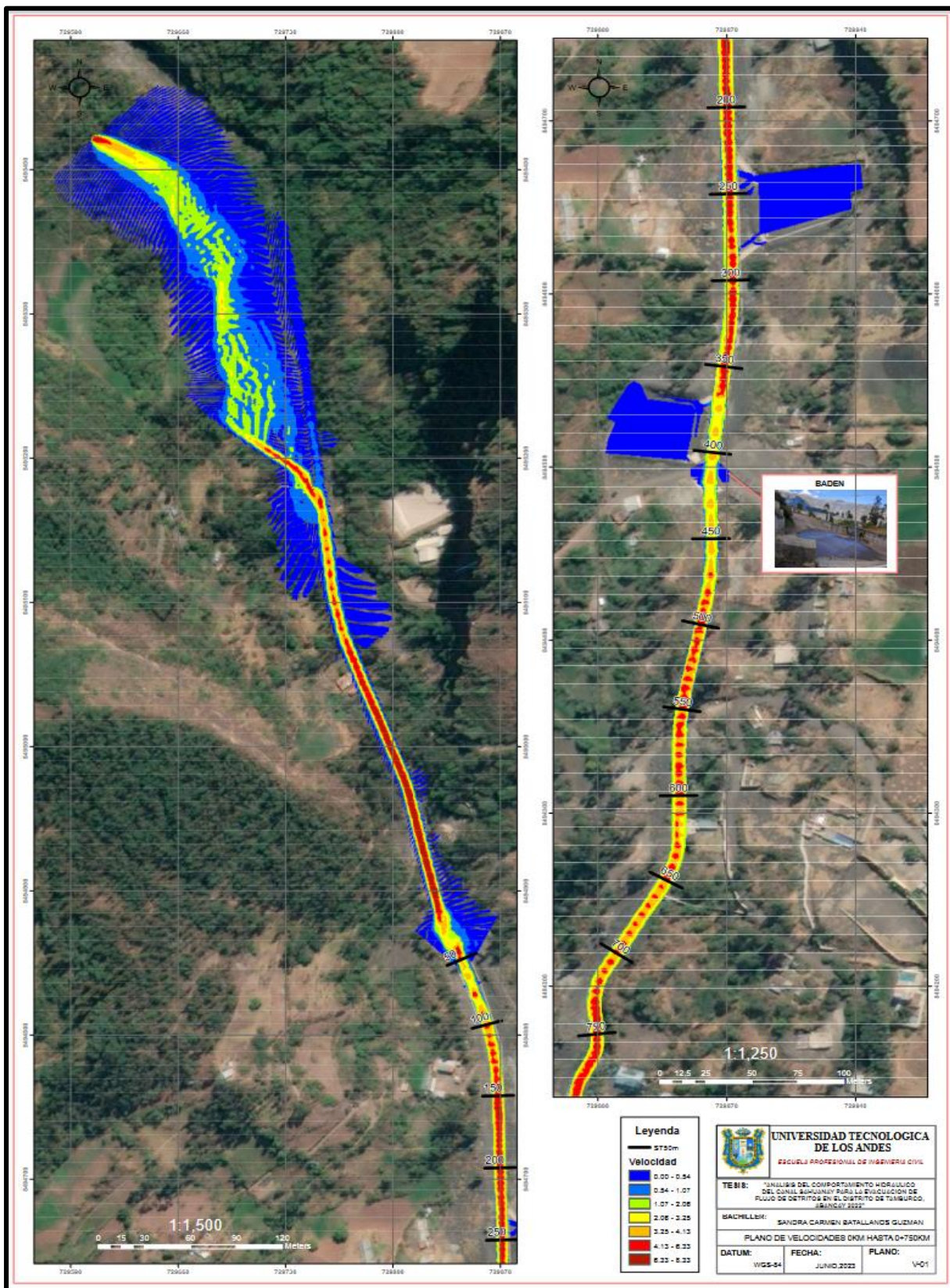
Plano de tirante desde km 0+800 - km 2+525



Fuente: Elaboración propia.

Figura 50

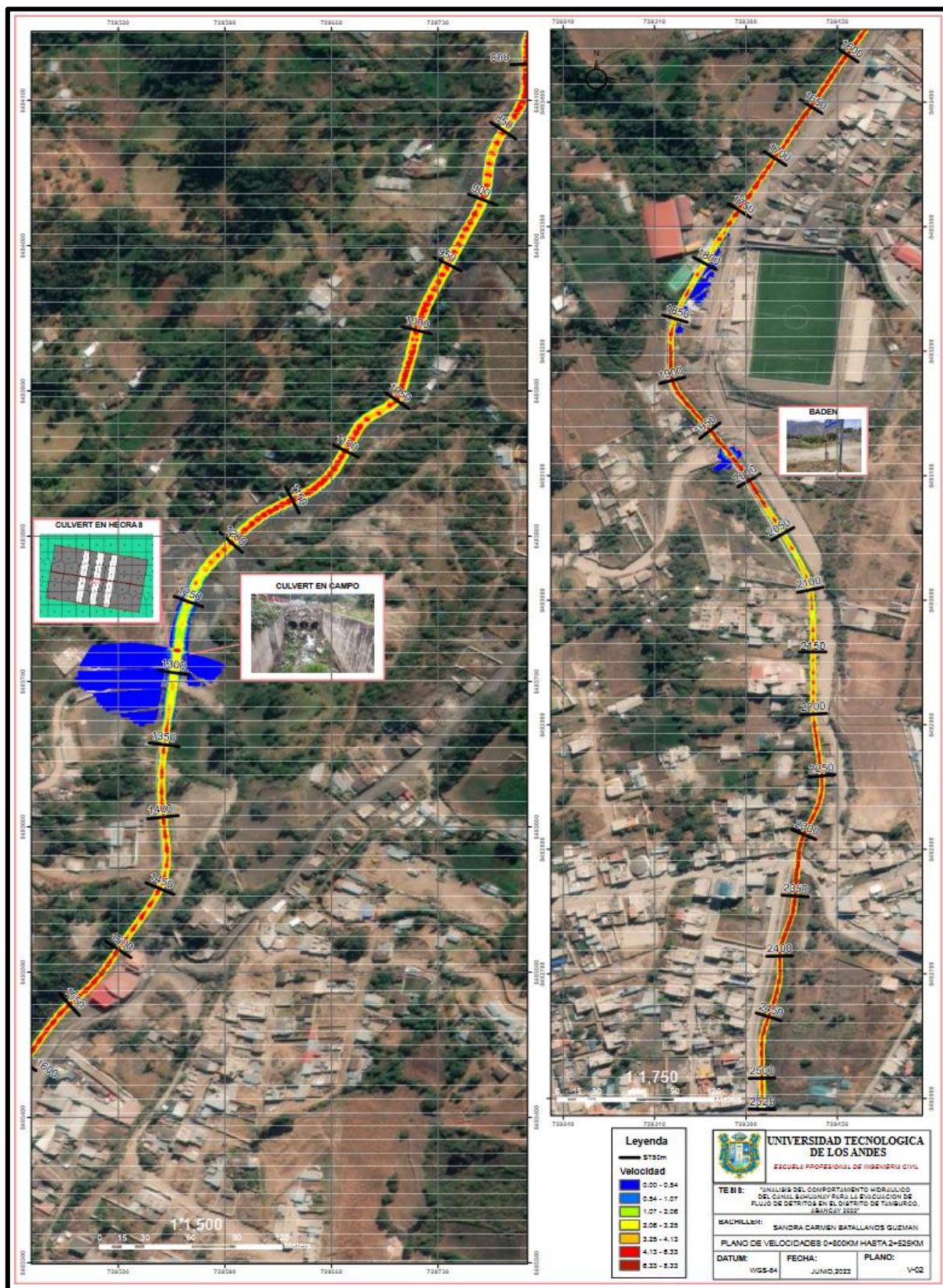
Plano de velocidad desde km 0- km 0+750



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51

Plano de velocidad desde km 0+800 - km 2+525



Fuente: Elaboración propia.

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Comportamiento del canal Sahuanay

Sección del canal

Para el análisis sobre el comportamiento hidráulico se evaluaron tres aspectos, la sección del canal, el caudal máximo y los parámetros topográficos, en cuanto a la sección del canal se determinó una altura constante de 2.8 metros en toda su longitud y una sección inicial en cuando al ancho de 16.60 metros llegando a reducirse hasta un ancho de 5.20 metros esto se encuentra en la progresiva 0+080.00 km hasta 2+480.92 km, siendo este último considerado la sección más crítica en toda su longitud.

La forma de la cuenca de drenaje del canal de Sahuanay puede influir en la concentración de agua y sedimentos. Cuencas de forma alargada pueden canalizar más fácilmente los flujos de detritos hacia el canal principal.

Caudal máximo

Se evaluó dos periodos de retorno de 50 y 100 años usando el método de la curva 72 obteniendo un caudal máximo de 10.3 m³/seg para un periodo de retorno de 50 años y un caudal máximo de 16.6 m³/seg para un periodo de retorno de 100 años siendo este el caudal usado para este estudio.

Parámetros topográficos

El levantamiento topográfico permitió conocer 28 puntos de estudio donde se identificaron las pendientes de los mismos, siendo la pendiente más pronunciada el punto de estudio cuya progresiva está ubicada en 0+100.00 km hasta 0+160.00 km cuya pendiente es -26.6667%.

La pendiente del terreno influye en la velocidad del flujo de agua y detritos. Cuanto mayor sea la pendiente, mayor será la capacidad de transporte del canal, pero también aumentará la erosión y la posibilidad de inundaciones aguas abajo.

Flujo de detritos en el canal de Sahuanay

Para el análisis del flujo de detritos se evaluaron 3 parámetros como los tirantes, velocidad y los parámetros reológicos, donde se determinó los tirantes más pronunciados en las progresivas 1+250km-1+300km y 2+500km-2+525km siendo el tirante en ambos casos de 3.25m-5.88m, de igual forma se evaluó la velocidad del flujo del canal que llegó a una velocidad de 6.33m/seg-8.33m/seg en dos tramos el primer tramo ubicado en la progresiva 1+600km -1+750km y el otro tramo en la progresiva 2+200km-2+500km y por último en cuanto a los parámetros reológicos se determinó una concentración volumétrica de 51%, esfuerzo de cedencia 42.77pa y una viscosidad de 431.04 Pa*s.

El análisis del modelamiento en 2d mediante software hec- ras evidenció 4 puntos críticos donde describiremos cada punto y determinamos el comportamiento hidráulico del canal de Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos:

Como primer punto crítico consideramos el badén que está ubicado en la progresiva 0 +400 km que presenta un tirante aproximadamente de 1.82-3.25 m. y una velocidad de 2.05- 3.25 m/s² y una pendiente de -7.2727%.

Como segundo punto crítico consideramos el culvert en campo que está ubicado en la progresiva 0 +1300 km que presenta un tirante aproximadamente de 1.82-3.25 m, velocidad de 2.05- 3.25 m/s² y una pendiente de --6.6667%.

Como tercer punto crítico consideramos el pontón de brisas del ampay que está ubicado en la progresiva 0+1800 km que presenta un tirante aproximadamente de 3.25 -5.88 m. y una velocidad de 4.13- 5.23 m/s² y una pendiente de -16.2500%.

Como cuarto punto crítico consideramos el baden que está ubicado en la progresiva 0+1950 km y 2+00 km que presenta un tirante aproximadamente de 1.82 -3.25 m. y una velocidad de 4.13- 5.23 m/s² y una pendiente de -10.7468%.

El análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay en 2022 es fundamental para comprender cómo el canal puede gestionar el flujo de detritos durante eventos extremos. A continuación, se presenta un análisis descriptivo de los datos proporcionados:

Características de la Sección del Canal:

- Ancho: 5.20 metros
- Altura: 2.8 metros

Estas dimensiones son importantes ya que determinan la capacidad del canal para transportar agua y detritos. La sección es lo suficientemente amplia como para acomodar un flujo de detritos significativo.

Caudal Máximo y Período de Retorno:

Caudal Máximo: 16.6 metros cúbicos por segundo

Período de Retorno: 100 años

El caudal máximo y el período de retorno indican la intensidad de las inundaciones que se deben considerar. Un caudal de 16.6 metros cúbicos por segundo en un período de retorno de 100 años representa una situación muy extrema que el canal debe ser capaz de manejar.

Pendiente del Canal:

Pendiente: -26.67%

La pendiente del canal es importante para determinar la velocidad del flujo. Una pendiente negativa indica que el canal está inclinado hacia abajo en la dirección del flujo, lo que debería promover un flujo continuo.

Análisis de Flujo de Detritos:

Tirante: 5.88 metros

Velocidad: 7.33 metros por segundo

El tirante y la velocidad son fundamentales para comprender cómo se comporta el flujo de detritos en el canal. Una velocidad de 7.33 metros por segundo indica un flujo rápido y turbulento, lo que podría ser necesario para transportar detritos pesados y grandes.

Parámetros Reológicos del Flujo de Detritos:

Concentración Volumétrica: 51%

Esfuerzo de Cedencia: 42.77 pascales

Viscosidad: 431.04 pascales por segundo

Estos parámetros reológicos son esenciales para entender la viscosidad y la capacidad de flujo del material de detritos. Una concentración volumétrica del 51% indica una alta proporción de sólidos en la mezcla, lo que podría dificultar el transporte. El esfuerzo de cedencia es importante para determinar cuándo se produce el movimiento de los detritos.

Estos resultados se relacionan con la literatura existente sobre la gestión de canales y la evacuación de flujos de detritos. El estudio "Análisis del comportamiento hidráulico del canal Sahuanay para la evacuación de flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay 2022" arroja resultados que muestran un canal con capacidades destacables para la evacuación de flujos de detritos durante eventos de inundación severa. Los datos clave incluyen un tirante máximo

de 5.88 metros, una velocidad de 7.33 m/s, una concentración volumétrica del 51%, un esfuerzo de cedencia de 42.77 pascales y una viscosidad de 431.04 Pa *s. Estos resultados indican que el canal está diseñado para resistir condiciones hidráulicas extremas y cumplir su función en situaciones de emergencia. Sin embargo, se sugiere realizar un análisis más detallado utilizando modelos hidráulicos y de transporte de sedimentos para evaluar completamente su capacidad.

En contraste, el estudio de Lecaros (2021) se centra en la evaluación de la susceptibilidad a la generación de flujos de detritos en la región de Atacama, específicamente en la localidad de El Tránsito. Los resultados de este estudio sugieren que la pendiente y la litología son factores clave para la posible generación de flujos de detritos. Las zonas de mayor susceptibilidad incluyen áreas con alteración hidrotermal y áreas con material coluvial fino, areno-arcilloso, asociado a laderas pronunciadas. Por otro lado, las zonas de baja susceptibilidad corresponden a depósitos semi consolidados de arenas gruesas a gravas y bloques en zonas de baja pendiente.

Al comparar estos dos estudios, se puede observar que ambos destacan la importancia de la pendiente en el comportamiento de los flujos de detritos. En el caso del canal Sahuanay, la pendiente pronunciada se menciona como un factor que aumenta la velocidad y la erosión, lo que puede aumentar el riesgo de deslizamientos de tierra e inundaciones. En el estudio de Lecaros, la pendiente también se identifica como un factor relevante en la susceptibilidad a la generación de flujos de detritos. Además, ambos estudios subrayan la importancia de llevar a cabo análisis detallados y modelado computacional para comprender completamente la capacidad de un canal o una zona para la evacuación de flujos de detritos.

Por otro lado tenemos resultados destacados de la investigación de Alfaro (2018) cuya metodología desarrollada permite evaluar la amenaza de flujos de detritos utilizando un enfoque jerárquico de procesos y el software RAMMS-debris flow. Los resultados incluyen un mapa de susceptibilidad de flujos de detritos en la cuenca del estero San Alfonso, que identifica zonas de alta, media y baja susceptibilidad. Ambos estudios se relacionan con la amenaza de flujos de detritos, pero se diferencian en su enfoque y ubicación geográfica. El estudio del canal Sahuanay proporciona datos hidráulicos específicos sobre un canal en Perú y su capacidad para evacuar flujos de detritos. Por otro lado, la investigación de Alfaro (2018) se centra en el desarrollo de una metodología y la evaluación de la amenaza de flujos de detritos en la cuenca del estero San Alfonso en Chile, utilizando un enfoque jerárquico de procesos. Ambos estudios contribuyen al entendimiento y la gestión de riesgos relacionados con flujos de detritos en diferentes contextos geográficos.

Resultados destacados de la investigación de Yucra (2022), Se obtiene un caudal máximo de 24.30 m³/s mediante el software HEC-HMS y se simula el flujo de detritos utilizando el software HEC-RAS. Se calculan magnitudes de velocidades máximas y umbrales máximos, lo que indica la velocidad y la profundidad del flujo de detritos y por últimos se realiza un análisis integral que abarca aspectos físicos, socioeconómicos, ambientales y sociales, además de calcular niveles de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo mediante el proceso de análisis jerárquico.

Ambos estudios se relacionan con la gestión del riesgo por flujo de detritos en el distrito de Tamburco, Abancay. El estudio del canal Sahuanay se enfoca principalmente en los aspectos hidráulicos y de capacidad del canal para evacuar flujos de detritos, mientras que la investigación de Yucra (2022) adopta un enfoque más amplio que incluye la modelización hidrológica, análisis de peligrosidad,

vulnerabilidad y riesgo en la quebrada Sahuanay y su entorno. Ambos estudios son complementarios, ya que el primero proporciona información sobre la capacidad del canal y el segundo aborda el riesgo en una perspectiva más amplia considerando diversos factores.

De igual forma los resultados de la investigación de Villasante (2021), Se utiliza información de levantamiento topográfico, estudio de suelos, imágenes satelitales y datos de caudales para evaluar el nivel de riesgo en la quebrada Chinchiña. También se crean mapas de niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo utilizando el método SAATY y se identifican las áreas afectadas y en riesgo y se proponen medidas de mitigación para reducir el impacto en la población.

Estos estudios tienen como objetivo evaluar el riesgo por flujos de detritos en áreas geográficas distintas y se centran en aspectos diferentes. El estudio del canal Sahuanay se enfoca en la capacidad del canal para evacuar detritos y proporciona datos hidráulicos específicos. Por otro lado, la investigación de Villasante (2021) se centra en la evaluación de riesgos en la quebrada Chinchiña y aborda aspectos de peligro, vulnerabilidad y riesgo en una perspectiva más amplia. Ambos estudios contribuyen a comprender y gestionar el riesgo relacionado con flujos de detritos en diferentes contextos geográficos y proporcionan información valiosa para la toma de decisiones y la mitigación de riesgos.

4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Contrastación de la hipótesis general

Ho: El análisis del comportamiento hidráulico para la evacuación de flujo de detritos no es significativo en el canal de Sahuanay en el distrito de Abancay, 2022.

H1: El análisis del comportamiento hidráulico para la evacuación de flujo de detritos es significativo en el canal de Sahuanay en el distrito de Abancay, 2022.

Regla de decisión

Si $p \leq 0.05$ se rechaza Ho

Si $p > 0.05$ no se rechaza Ho

Tabla 48

Contraste de la Hipótesis General

		Prueba de		Valor de la prueba					
		Anova para una muestra				Diferencia de medias		95% intervalo de confianza para la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig.(bilateral)		Inferior	Superior
Asimetría	No se han asumido varianzas iguales	2.045	0.177	8.878	119	0.003	9.31267	7.0630	11.5624

Nota: N= nivel de significancia <0,05, estadístico Anova . Fuente: Base de datos de la investigación

Estadístico de contraste para la identificación de diferencias significativas sobre el comportamiento hidráulico para la evacuación de flujo de detritos, se presentaron diferentes condiciones que fueron significativas al valor $p = 0,003 < 0,05$, concluyendo que el comportamiento hidráulico para la evacuación de flujo de detritos es significativo en el canal de Sahuanay , entonces se procede a rechazar la hipótesis nula y a aceptar la hipótesis alterna.

Contrastación hipótesis específica 1

Ho: La sección del canal no influye en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito de Abancay, 2022.

H1: La sección del canal influye en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito de Abancay, 2022.

Regla de decisión

Si $p \leq 0.05$ se rechaza Ho

Si $p > 0.05$ no se rechaza Ho

Tabla 49

Contraste de la Hipótesis específica 01

	Prueba de Anova para una muestra	Valor de la prueba							
		F	Sig.	t	gl	Sig.(bilateral)	Diferencia de medias	95% intervalo de confianza para la diferencia	
								Inferior	Superior
	No se han asumido varianzas iguales	2.069	0.180	8.600	4	0.028	11.4 0	5.2 2.8	16.6 2.8

Nota: N= nivel de significancia <0,05, estadístico Anova . Fuente: Base de datos de la investigación

Estadístico de contraste para la identificación de diferencias significativas sobre la sección del canal y el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay, se presentaron diferentes condiciones que fueron significativas al valor $p = 0,028 < 0,05$, concluyendo que la sección del canal influye en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay, entonces se procede a rechazar la hipótesis nula y a aceptar la hipótesis alterna.

Contrastación hipótesis específica 2

Ho: El caudal máximo no influye en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito de Abancay, 2022.

H1: El caudal máximo influye en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito de Abancay, 2022.

Regla de decisión

Si $p \leq 0.05$ se rechaza Ho

Si $p > 0.05$ no se rechaza Ho

Tabla 50

Contraste de la Hipótesis específica 02

		Prueba de		Valor de la prueba					
		Anova para		t	gl	Sig.(bilateral)	Diferencia de medias	95% intervalo de confianza para la diferencia	
		F	Sig.					Inferior	Superior
Asimetría	No se han asumido varianzas iguales	3.256	0.156	8.589	2	0.010	6	10.3	16.3

Nota: N= nivel de significancia $<0,05$, estadístico Anova . Fuente: Base de datos de la investigación

Estadístico de contraste para la identificación de diferencias significativas sobre el caudal máximo y en el comportamiento del flujo de detritos, se presentaron diferentes condiciones que fueron significativas al valor $p = 0,010 < 0,05$, concluyendo que el caudal máximo influye en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay

Contrastación hipótesis específica 3

Ho: Los parámetros topográficos no influyen en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito de Abancay, 2022

H1: Los parámetros topográficos influyen en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay en el distrito de Abancay, 2022.

Regla de **decisión**

Si $p \leq 0.05$ se rechaza H_0

Si $p > 0.05$ no se rechaza H_0

Tabla 51

Contraste de la Hipótesis específica 03

		Prueba de		Valor de la prueba					
		Anova para		t	gl	Sig.(bilateral)	Diferencia de medias	95% intervalo de confianza para la diferencia	
		una muestra						F	Sig.
Asimetría	No se han asumido varianzas iguales	2.045	0.177	8.878	28	0.008	3.39	1.175	4.565

Nota: N= nivel de significancia <0,05, estadístico Anova . Fuente: Base de datos de la investigación

Estadístico de contraste para la identificación de diferencias significativas sobre los parámetros topográficos y el comportamiento del flujo de detritos, se presentaron diferentes condiciones que fueron significativas al valor $p = 0,008 < 0,05$, concluyendo que Los parámetros topográficos influyen en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay, entonces se procede a rechazar la hipótesis nula y a aceptar la hipótesis alterna.

CONCLUSIONES

Conclusión general

El canal de Sahuanay se determinó un tirante máximo de 5.88 metros, con velocidad de 7.33 m/s, concentración volumétrica 51%, esfuerzo de cedencia 42.77 pascales y una Viscosidad 431.04 Pa *s , estos datos nos indican el comportamiento del canal y que está diseñado para enfrentar condiciones hidráulicas extremas, Sin embargo, es importante realizar un análisis más detallado, para evaluar completamente su capacidad y garantizar que pueda cumplir con su función de manera efectiva en situaciones de emergencia.

Conclusión específica 1

Se estableció la sección del canal de Sahuanay con 5.20 metros de ancho y 2.8 metros de altura es una configuración importante para el transporte de detritos. Además de realizar estudios hidráulicos detallados y modelado computacional para evaluar la capacidad del canal.

Conclusión específica 2

Se conoció el estudio hidrológico se determinó un caudal máximo de 16.6 m³/seg para un periodo de retorno de 100 años en el canal de Sahuanay, lo cual tiene un impacto significativo en el comportamiento del flujo de detritos, aumentando la capacidad de transporte, la velocidad del flujo .

Conclusión específica 3

Se evaluó los parámetros topográficos, especialmente la pendiente de -26.67% evidencia una pendiente fuerte , siendo ésta un determinante sobre el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay. Una pendiente negativa pronunciada puede aumentar la velocidad y la erosión, lo que aumenta el riesgo de deslizamientos de tierra e inundaciones.

RECOMENDACIONES

Recomendación general

Según el análisis de los puntos críticos, se consideró para el 1er y 4to punto crítico que vienen hacer los badenes se recomienda la implementación de sistemas de drenaje adecuados. Esto implica la construcción de alcantarillas o canales de desagüe que permitan recoger y conducir el agua de manera eficiente, evitando su acumulación.

Para el punto crítico 2 culvert se puede mejorar la resistencia del canal para evitar que el agua desborde en el punto del culvert mediante la construcción de muros de contención, o también se pueden diseñar estructuras de retención de agua aguas arriba del canal para disminuir el caudal en el punto del culvert.

Para el punto crítico 3 del tramo del canal se recomienda la construcción de un muro de contención en el margen del canal que está al lado de las casas. Este muro de contención funciona como barrera para evitar que el agua desbordada llegue a las viviendas y las dañe.

Recomendación específica 1

Dada la importancia de la sección del canal de Sahuanay con 5.20 metros de ancho y 2.8 metros de altura para el transporte de detritos, se recomienda llevar a cabo estudios hidráulicos detallados utilizando modelos computacionales avanzados. Estos estudios deben evaluar la capacidad del canal en diversas condiciones, incluyendo escenarios de inundación severa. Es crucial que estos análisis se realicen regularmente para asegurarse de que el canal esté siempre preparado para enfrentar condiciones hidráulicas extremas.

Recomendación específica 2

Dado el impacto significativo del caudal máximo de 16.6 m³/seg en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay, se recomienda establecer un monitoreo constante de los niveles de agua y caudales. Esto ayudará a anticipar y gestionar de manera eficaz las situaciones en las que se alcance o se aproxime a este caudal máximo. Es importante realizar un mantenimiento regular del canal, implementar un sistema de monitoreo y alerta temprana, y elaborar un plan de emergencia para la población.

Recomendación específica 3

Dado el papel significativo de los parámetros topográficos, especialmente la pendiente de -26.67% considerada como pendiente fuerte, en el comportamiento del flujo de detritos en el canal de Sahuanay, se recomienda. Una de las opciones para abordar este problema es la implementación de medidas de control de sedimentos, como trampas de sedimentos. Estas medidas permiten reducir la cantidad de sedimentos que se transportan a través del canal, evitando la colmatación y minimizando los riesgos de inundación aguas arriba.

Otra opción para abordar los puntos de colmatación se recomienda la instalación de barreras sedimentarias para evitar las colmataciones en el canal y reducir el riesgo de inundaciones en caso de avenidas de huaycos. Es importante seleccionar el tipo adecuado de barrera sedimentaria para el canal y posicionarla en el punto de colmatación, anclándola correctamente al lecho del canal. También se deben realizar inspecciones periódicas para detectar cualquier daño o desplazamiento y retirar la barrera una vez que ha pasado el peligro de la llegada del huayco.

BIBLIOGRAFÍA

Acero, J. (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)*. Boyacá : Universidad Nacional de Colombia, 2019. págs. 1-142, Tesis de posgrado.

Alberti, J. R., Canales, R. E. y Sandoval, B. (2006). *Técnicas de mitigación para el control de deslizamientos en taludes y su aplicación a un caso específico*. San Salvador : Universidad de El Salvador, 2006.

Alcantara, D. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. s.l. : Compañía Editorial Continental, 2014. Vol. 1.

Alfaro, A. (2018). *Metodología para evaluar la amenaza de flujos de detritos utilizando un análisis jerárquico de procesos y el Software, con aplicación en la cuenca del estero San Alfonso, Región Metropolitana*. Santiago de Chile : Universidad de Chile, 2018. págs. 1-105, Tesis de grado.

Alvarez, J. M. y Malaga, K. (2021). *Análisis del riesgo por flujo de detritos del distrito de Haqira provincia de Cotabambas departamento de Apurímac*. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2021. Tesis de grado.

Arias, J. y Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. 1. Arequipa : Enfoques consulting E.I.R.L., 2021.

Arispe, C. y otros. (2020). *La investigación científica: Una aproximación para los estudios de posgrado*. [ed.] Universidad Internacional del Ecuador. s.l. : Universidad Internacional del Ecuador, 2020.

Arlegui, M. C. (2016). *Análisis de susceptibilidad de ocurrencia de flujos de detritos en la subcuenca alta del Río Mapocho*. Santiago : Universidad de Chile, 2016. págs. 3-114, Tesis de grado.

Autoridad Nacional de Agua. (2020). *Identificación de puntos críticos con riesgo a inundación, flujo de detritos (Huaico) y erosión en los principales ríos y quebradas 2020*. Lima : Autoridad Nacional de Agua, 2020.

Autoridad Nacional del Agua. (2017). *Estudio hidrológico de máximas avenidas*. Autoridad administrativa del agua XI Pampas Apurímac. Apurímac : s.n., 2017. Informe técnico.

Cabezas, E., Andrade, D. y Torres, J. (2018). *Introducción a la metodología*

de la investigación científica. Sangolquí : Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018.

Cadavid, J. (2020). *Hidraulica de canales Fundamentos*. Medellín : Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2020.

Ccama, J. (2018). *Factores condicionantes y desencadenantes en la determinación del peligro de flujo de detritos aplicando el Modelo FLO-2D, quebrada Llocllamayo Km-295+350, IIRSA SUR TRAMO -IV*. Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2018.

Celi, J. y Tanta, F. (2019). *Modelamiento y simulación de la quebrada Llocllamayo para control de flujo de escombros – Región de Puno*. Facultad de ingeniería. Lima : Universidad Ricardo Palma, 2019. págs. 1-178, Tesis de grado.

CENEPRED. (2021). *Escenarios de riesgo por superavit de lluvias para el verano 2021-2022*. Lima : Centro nacional de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres (CENAPRED), 2021. Informe técnico.

Sigrid. (2012). [www.sigrid.cenepred.gob.pe](http://sigrid.cenepred.gob.pe). [En línea] Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de riesgo de desastres, 2012. [Citado el: 09 de Mayo de 2022.] <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3629>.

Centers for disease control and prevention. (2018). www.cdc.gov. [En línea] Centers for disease control and prevention, 12 de Enero de 2018. [Citado el: 10 de Mayo de 2022.] [https://www.cdc.gov/disasters/landslides.html#:~:text=Getting%20out%20of%20the%20path,other%20piece%20of%20sturdy%20furniture\)..](https://www.cdc.gov/disasters/landslides.html#:~:text=Getting%20out%20of%20the%20path,other%20piece%20of%20sturdy%20furniture)..)

Cornejo, D., Gomez, M. y Hidalgo, R., Quisca, S. (2018). *12° Simposio Internacional en gestión de riesgo de desastres: Reconstrucción hacia ciudades resilientes*. Lima : Colegio de ingenieros del Perú, 2018. Informe de investigación.

Cruz, M. (2016). *Evaluación de la velocidad en un canal abierto mediante las ecuaciones de factor de fricción de Darcy - Weisback, Chezy y Maning - Ayacucho - 2016*. Ayacucho : Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, 2016.

Cue, R. (2022). www.france24.com. [En línea] 23 de Febrero de 2022. <https://www.france24.com/es/am%C3%A9rica-latina/20220223-brasil-petropolis-lluvias-deslizamientos>.

Deutsche W. (2021). www.dw.com. [En línea] 18 de Julio de 2021.

<https://www.dw.com/es/deslizamiento-de-tierras-en-bombay-provoca-decenas-de-muertos/a-58305102>.

Díaz, C. A. (2013). *Evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa Cuenca Sahuanay, distrito Tamburco, provincia Abancay, región Apurímac.* Departamento de Ayuda Humanitaria y Protección Civil de la Comisión Europea, DIPECHO. Abancay : s.n., 2013. Informe de investigación.

Diseño y Construcción de un Canal Hidráulico de Pendiente Variable.
Castellanos, H. y otros. (2017). 6, Bogota : s.n., 2017, Vol. 28.

Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. **Camargo, Christopher, Pacheco, Carlos y Lopez, Roberto. 2017.** 2, 2017, Gestión y Ambiente, Vol. 20, págs. 265-280.

FALLAS, S. J . (2020). *Modelación y mapeo de flujo de lodos y detritos en la cuenca del rio zapote .* Costa rica : universidad de costa rica, 2020. 1.

FAO. s.f.(2022). www.fao.org. [En línea] s.f. [Citado el: 09 de Mayo de 2022.]
<https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>.

Figueroa, S. (2013). *Estudio de peligros por flujo de detritos y corrientes hiperconcentradas mediante simulación numérica en FLO 2D, caso de estudio: Anguango, Mich.* s.l. : Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, 2013. pág. 1, Tesis de grado.

French, R. (2017). *Hidraulica de canales abiertos.* s.l. : McGraw-Hill, 2017.

Frontiers in earth science. (2021). www.frontiersin.org. [En línea] Frontiers in earth science, 29 de Enero de 2021. [Citado el: 12 de Mayo de 2022.]
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2020.627070/full>.

Gonzales, E. (2003). *Aspectos geomecánicos de los deslizamientos rápidos: Modelización y diseño de estructuras de contención.* Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2003. Tesis doctoral.

Gutierrez, F. (2011). *Evaluación de los coeficientes de velocidad α Y β del canal del laboratorio de hidráulica de la Universidad EAFIT.* Medellín : Universidad EAFIT, 2011.

Gutierrez. (2021). *Estimacion de riesgos por flujo de detritos en la quebrada San jeronimo lunahuana .* lima : s.n., 2021. 1.

Hernandez, A, y otros. (2018). *Metodología de la investigación científica.*

Manabi : editorial área de innovación y desarrollo s.l., 2018.

Huaraca, A. y Vela, J. (2021). *Evaluación del flujo detrítico con la implementación de infraestructuras hidráulicas en la quebrada corrales Chosica – Lima, 2021.* Facultad de ingeniería y arquitectura. Lima : Universidad Cesar Vallejo, 2021. Tesis de grado.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Apurímac.* Lima : INEI, 2018. Informe técnico.

Instituto Nacional de Defensa Civil. (2012). *Huayco afectó los distritos de Tamburco y Abancay - Apurímac.* San Borja : INDECI, 2012. págs. Sección: Hechos, parr. 1-2, Informe técnico.

Lecaros, Y. (2021). *Evaluación de susceptibilidad a la generación de flujos de detritos, ladera oriental entre las localidades Chancoquín y La Arena, Valle del tránsito, Región de Atacama.* Viña del Mar : Universidad Andrés Bello, 2021.

Lopez, Roberto. (2002). *Degradación del suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación.* Universidad de los Andes. Mérida : Centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial, 2002. Informe de investigación.

Organización Meteorológica Mundial. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas.* s.l. : Organización Meteorológica Mundial, 1994.

Parámetros topográficos para la estimación de propiedades físicas del suelo mediante Geoestadística.

Dafonte, J., y otros. (2014). Pernambuco : Universidad Santiago de Compostela, 2014, págs. 219-221.

Rojas, R. y Olarte, J. (2021). *Comportamiento del flujo en canales abiertos por cambios de rugosidad – canal Sahuinto, Abancay, Apurímac, 2021.* Apurímac : Universidad Cesar Vallejo, 2021.

Salgado, J. (2020). *Análisis de vulnerabilidad originado por el flujo de detritos en la quebrada Chacrasana, distrito de Lurigancho - Chosica.* 2020 : Universidad Privada del Norte, 2020. págs. 1-94, Tesis de grado.

Sampieri, R. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* Ciudad de México : McGraw-Hill, 2018.

Sanchez, J. (2022). www.hidrologia.usal.es. [En línea] 2022. [Citado el: 09 de Mayo de 2022.] <https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>.

Santuyo, R. C. y Zambrano, C. (2019). *Alternativas de mitigación para el flujo de detritos en la zona de descarga de la quebrada Quirio-Chosica-Perú-2019.* Lima : Universidad Ricardo Palma, 2019. págs. 1-218.

Scheidl, C, y otros. (2019). *Debris-flow behavior in super- and subcritical conditions.* s.l. : Escuela de minas de Colorado, 2019. Tesis doctoral.

Sepulveda, S. A. (1998). *Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos: Aplicación en la quebrada Lo Cañas, Región metropolitana.* Geología. Santiago de Chile : Universidad de Chile, 1998. pág. 1.

SERNAGEOMIN. (2017). www.cernageomin.cl. [En línea] Servicio nacional de geología y minería., 09 de Noviembre de 2017. <https://www.sernageomin.cl/faq-items/flujo-de-detritos/#:~:text=Es%20una%20masa%20m%C3%B3vil%2C%20saturada,se%20encuentra%20suspendido%20en%20agua..>

Sinche, D. L. (2018). *Comportamiento hidráulico de flujos en canales abiertos para ubicar fallas - canal de San Lorenzo - Jauja, 2017.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018.

Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Bucaramanga : Ingeniería de suelos Ltda., 1998.

Tipificación de perfiles de meteorización de rocas cristalinas al oriente de Bucaramanga y. Colegial, Juan Diego, y otros. 2017. 41, Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2017.

Villacorta, S.y Valderrama, P. (2012). *Evaluación del flujo de detritos de Tamburco.* Abancay : INGEMMENT, 2012.

Villasante, E. A. B. (2021). *Evaluación de niveles de riesgos por flujo de detritos en la quebrada Chinchña localidad pacsica , distrito de justo apu sahuaraura, aymaraes, apurimac 2021.* Abancay : Universidad Tecnológica De Los Andes, 2021. 1.

Villon, M. B. (2011). *hidraulica de canales.* lima : ediciones villon, 2011. segunda edicion.

yucra i, f. j. (2022). *Evaluación de riesgo por flujo de detritos y modelamiento hidrológico de la quebrada sahuayanay en el distrito de tamburco, abancay, 2022.* Abancay : Universidad Tecnológica De Los Andes, 2022. 1.