

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



**“ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE FLUJOS DE LODOS Y ESCOMBROS
APLICANDO EL MODELO NUMÉRICO HEC-RAS EN EL RÍO SALADO DEL
DISTRITO CINCO DE LA PROVINCIA O’CONNOR”**

Por:

ERIK SAMUEL VILLCA MARTINEZ

Proyecto de grado presentado a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

SEMESTRE I – 2025

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS Y MODELAMIENTO DE FLUJOS DE LODOS Y ESCOMBROS
APLICANDO EL MODELO NUMÉRICO HEC-RAS EN EL RÍO SALADO DEL
DISTRITO CINCO DE LA PROVINCIA O’CONNOR”**

Por:

ERIK SAMUEL VILLCA MARTINEZ

Proyecto elaborado en la asignatura:

CIV – 502 PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL II

Proyecto de grado presentado a consideración de la “**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

SEMESTRE I – 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mis queridos padres, quienes siempre han sido mi apoyo incondicional y me han brindado todas las herramientas necesarias para alcanzar mis sueños. Gracias por sus enseñanzas, paciencia, amor y comprensión.

A mis hermanos, por estar a mi lado durante todo este trayecto, compartiendo alegrías y angustias, siempre dispuestos a escuchar y apoyar cada decisión tomada en mi vida académica. Gracias por ser un motivo para salir adelante e inspirarme a ser mejor cada día.

INDICE

1. CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Identificación del problema.....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Hipótesis	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. Objetivo General	3
1.5.2. Objetivos específicos	4
1.6. Justificación.....	4
1.6.1. Justificación Técnica.....	4
1.6.2. Justificación Social.....	5
1.6.3. Justificación Académica.....	5
1.7. Alcance del trabajo de investigación.....	6
2. CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1. Remociones en masa	7
2.2. Flujos de lodo y escombros	8
2.3. Relación entre Remociones en masa y flujo de lodos y escombros	9
2.3.1. Características del flujo de escombros.....	10
2.4. Modelo Hidrológico	19
2.4.1. Sistema Hidrológico.....	19
2.4.2. Método vector regional	20
2.4.3. Agua Superficial.....	23

2.4.4.	Hidrograma unitario	27
2.4.5.	Transito distribuido de crecientes	29
2.4.6.	Estadística Hidrológica	31
2.4.7.	Análisis de frecuencia	35
2.4.8.	Tormentas de diseño	37
2.4.9.	Erosión	42
2.5.	Modelo Hidráulico.....	48
2.5.1.	Factor de volumen.....	49
2.6.	Hidráulica de flujos de lodo y escombros	50
2.6.1.	Ecuaciones 2D en aguas poco profundas	50
2.6.2.	Clasificación de los flujos no newtonianos	51
2.6.3.	Modelos reológicos	55
2.6.4.	Tensión de fluencia	57
2.6.5.	Densidad de la mezcla.....	58
2.6.6.	Viscosidad dinámica de la mezcla	58
2.7.	Conceptos de Alternativas de mitigación estructural	59
2.7.1.	Medidas de mitigación estructural	60
2.7.2.	Estabilidad de taludes.....	61
2.7.3.	Las presas SABO	66
2.7.4.	Presa Tipo barrera abierta	68
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	67
3.1.	Método de la investigación.....	67
3.2.	Técnicas de recolección de datos	67
3.2.1.	Tipos de técnicas e instrumentos.....	67
3.3.	Criterio de validez y confiabilidad de los instrumentos	67

3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	68
4. CAPÍTULO IV: ESTUDIO Y MODELAMIENTO HIDROLÓGICO	79
4.1. Características de la cuenca en estudio	79
4.1.1. Georreferenciación del área de estudio	79
4.1.2. Ubicación del área de estudio	81
4.1.3. Morfometría de la cuenca 8659428.....	83
4.1.4. Caracterización geotécnica.....	88
4.2. Modelación hidrológica.....	91
4.2.1. Ubicación de las estaciones cercanas al río Salado.....	92
4.2.2. Análisis de precipitación	94
4.2.3. Procesamiento de data satelital	125
4.2.4. Simulación en HEC-HMS.....	148
4.2.5. Análisis de resultados del modelamiento hidrológico	156
4.2.6. Validación de caudales máximos	166
5. CAPÍTULO V: MODELAMIENTO HIDRÁULICO APLICANDO EL SOFTWARE HEC-RAS	166
5.1. Descripción del modelo HEC-RAS para el flujo de escombros.....	166
5.1.1. Ecuación de O'Brien (cuadrática)	166
5.1.2. Parámetros reológicos y concentración de sedimentos	167
5.2. Configuración del modelo numérico	171
5.2.1. Simulación en HEC-RAS.....	171
5.2.2. Resultados del modelamiento Hidráulico	177
5.2.3. Validación de resultados	187
6. CAPÍTULO VI: PROPUESTAS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURAL	205
6.1. Tipología y funcionamiento de SABO dams.....	205

6.2.	Planteamiento de medidas de mitigación	209
6.3.	Dimensionamiento de las medidas de mitigación estructural	209
6.3.1.	Cálculo de socavación general en ríos	209
6.4.	Resultados obtenidos con las medidas	217
6.4.1.	Escenario con Presas tipo SABO	217
6.4.2.	Escenario con Presas tipo Barrera Abierta.....	218
6.5.	Análisis de amenaza	221
7.	CAPITULO VII: PRESUPUESTO DE LAS MEDIDAS DE MITIGACION ESTRUCTURAL	223
7.1.	Pliego de Especificaciones Técnicas	223
7.2.	Cómputos métricos.....	240
7.3.	Análisis de precios elementales.....	241
7.3.1.	Presupuesto de materiales	242
7.3.2.	Presupuesto de mano de obra.....	242
7.3.3.	Presupuesto de maquinaria y equipo.....	243
7.3.4.	Costo de trabajo de los equipos.....	243
7.4.	Análisis de precios unitarios.....	244
7.4.1.	A.P.U. con Incidencias.....	244
7.4.2.	A.P.U. sin Incidencias.....	245
7.5.	Presupuesto General	246
7.5.1.	Presupuesto General con Incidencia	246
7.5.2.	Presupuesto General sin Incidencia	247
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	263
8.1.	Conclusiones.....	263
8.2.	Recomendaciones.....	266

9.	BIBLIOGRAFÍA.....	267
10.	ANEXOS.....	270
10.1.	ANEXO 1: Análisis de precipitación.....	270
10.1.1.	Análisis de consistencia.....	270
10.1.2.	Prueba de Homogeneidad Test de Man-Kendall.....	281
10.1.3.	Precipitaciones máximas	289
10.1.4.	Hietogramas de diseño	302
10.2.	ANEXO 2: Textura y grupo hidrológico del suelo.....	313
10.3.	ANEXO 3: Estimación del Número de Curva.....	315
10.4.	ANEXO 4: Estimación de la erosión USLE Modificado	320
10.4.1.	Factor uso-Cobertura	320
10.4.2.	Factor prácticas de control.....	321
10.5.	ANEXO 5: Coeficiente de Manning.....	322
10.6.	ANEXO 6: Planillas de resultados de laboratorio de suelos	325
10.7.	ANEXO 7: Clasificación de suelos	352
10.8.	ANEXO 8: Análisis de Precios Unitarios.....	354
10.8.1.	A.P.U. con Incidencias	354
10.8.2.	A.P.U. sin Incidencias	361
10.9.	ANEXO 9: Levantamiento topográfico fotogramétrico	369
11.	PLANOS	378

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Limites estacionales de precipitación.....	27
Tabla 2 Valores P y límites de longitud de pendiente para el contorneado.	47
Tabla 3 Clasificación de los flujos no newtonianos.	52
Tabla 4 Parámetros de tensión de fluencia para la ecuación de O’Brien y Julien (1995) (Convertida a la forma exponencial utilizada en HEC-RAS).	57
Tabla 5 Coeficientes del multiplicador exponencial de la viscosidad para diferentes tipos de suelo de Julien (1995) (convertidos a la forma exponencial).....	59
Tabla 6 Coordenadas UTM y Geográficas.....	82
Tabla 7 Resumen de Morfometría de la cuenca 8659428.....	85
Tabla 8 Características de las Subcuencas.	86
Tabla 9 Tiempo de concentración de la cuenca 8659428.	87
Tabla 10 Parámetros geotécnicos de la calicata 01.	88
Tabla 11 Valores del coeficiente de Manning en la zona de modelación.	90
Tabla 12 Estaciones más cercanas a la cuenca.....	92
Tabla 13 Características de las estaciones más cercanas a la cuenca.....	92
Tabla 14 Variables Pluviométricas.	93
Tabla 15 Registros de precipitaciones anuales de las estaciones más cercanas.	95
Tabla 16 Registros de precipitaciones anuales de las estaciones más cercanas (Continuación).....	96
Tabla 17 Narvárez vs Palos Blancos.	96
Tabla 18 Resumen del análisis de consistencia.....	98
Tabla 19 Test de Mann-Kendall, estación Palos Blancos.	99
Tabla 20 Valores de “Vcrit” para distintos niveles de significación.....	100
Tabla 21 Resumen de la prueba estadística de homogeneidad (Test de Mann-Kendall).	100
Tabla 22 Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) obtenidas del SENAMHI.	102
Tabla 23 Desvíos y Correlación del Vector Regional – Mes de Enero.....	107
Tabla 24 Desvíos y Correlación del Vector Regional Corregido – Mes de Enero.	108
Tabla 25 Precipitaciones máximas en 24 horas (mm) datos completados.	110

Tabla 26 Estación Tomatirenda (Estación hipotética generada por el método de Kriging).	113
Tabla 27 Distribución Normal.....	114
Tabla 28 Distribución LogNormal	114
Tabla 29 Distribución Pearson III	115
Tabla 30 Distribución LogPearson III.....	115
Tabla 31 Distribución Gumbel	116
Tabla 32 Distribución LogGumbel	116
Tabla 33 Prueba de Smirnov – Kolmogorov.....	118
Tabla 34 Numero de Intervalo de Observacion.	119
Tabla 35 Precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno (mm) – Estación Tomatirenda.....	119
Tabla 36 Intensidades Maximas de acuerdo al periodo de retorno.	120
Tabla 37 Estadísticas de la regresión.	121
Tabla 38 Estadísticas de la regresión.	122
Tabla 39 Método de bloques alternos – Periodo de retorno 200 años.	122
Tabla 40 Hietogramas - Modelo Dyck -Peschke.	123
Tabla 41 Matriz de confusión (Cobertura vegetal).	128
Tabla 42 Saturación hidráulica de acuerdo al % del material (Soil Water Characteristics).	129
Tabla 43 Textura y tipo de suelo de acuerdo a la saturación hidráulica.	130
Tabla 44 Textura y tipo de suelo de acuerdo a la saturación hidráulica de la cuenca...130	130
Tabla 45 Valores de CN III de acuerdo a la clasificación supervisada.....	134
Tabla 46 Tipo de suelo según ZONISIG.....	135
Tabla 47 Cobertura vegetal según ZONISIG.....	136
Tabla 48 Valores de CN III de acuerdo al estudio de Zonisig.	137
Tabla 49 Variaciones del CN de las metodologías aplicadas (Clasificación Supervisada vs Zonisig).....	137
Tabla 50 Porcentajes promedio de material para cada textura de suelo.....	138
Tabla 51 Procedimiento para la textura Franco arenoso.	140
Tabla 52 Cálculo de la Erodabilidad para la textura Franco arenoso.....	140

Tabla 53 Procedimiento para la textura Arenosa franca.	140
Tabla 54 Cálculo de la Erodabilidad para la textura Arenosa franca.	140
Tabla 55 Valores de K para cada Textura de suelo.	141
Tabla 56 Valores de C de acuerdo a la cobertura definida y su porcentaje.	144
Tabla 57 Factores de la Erosión del método USLE Modificado.	147
Tabla 58 Parámetros de entrada SCS Unit Hydrograph, SCS Curve Number.	149
Tabla 59 Parámetros de entrada Muskingum-Cunge.	150
Tabla 60 Parámetros de entrada “Modified USLE”.	153
Tabla 61 Parámetros de entrada “Volume Ratio”.	155
Tabla 62 Caudal pico y sedimentos, generados en HEC-HMS, para diferentes periodos de retorno.	159
Tabla 63 Volumen de sedimentos totales de Arcilla, Limo, Arena y Grava.	165
Tabla 64 Comparación de Características Físicas.	166
Tabla 65 Comparación de Características Físicas.	167
Tabla 66 Comparación de Características Físicas.	167
Tabla 67 Valores escogidos para la tensión de fluencia.	167
Tabla 68 Valores escogidos para la viscosidad dinámica de la mezcla.	167
Tabla 69 Parámetros de viscosidad dinámica de la mezcla.	168
Tabla 70 Concentración por volumen de suelos granulares.	169
Tabla 71 Parámetros No Newtonianos de entrada.	170
Tabla 72 Parámetros y valores clave utilizados en el modelo no newtoniano HEC-RAS.	176
Tabla 73 Iteraciones realizadas para el modelamiento en HEC-RAS.	177
Tabla 74 Puntos de control medidos en campo.	187
Tabla 75 Comparación puntos de control medidos en campo vs puntos modelados.	193
Tabla 76 Variaciones respecto a los puntos de control.	197
Tabla 77 Análisis de Amenaza.	200
Tabla 78 Curva de descarga – Sección 2.	201
Tabla 79 Tirantes modelados en HEC-RAS – Sección 2.	201
Tabla 80 Características de la presa tipo cerrado (Concreto de gravedad).	207
Tabla 81 Características de la presa de concreto tipo gravedad con ranuras.	207

Tabla 82 Factor f de Lacey.....	210
Tabla 83 Factores de ajuste de socavación, K_{sa}	211
Tabla 84 Estimación de la profundidad de socavación general	211
Tabla 85 Empuje del Agua.....	212
Tabla 86 Empuje de los Sedimentos	212
Tabla 87 SubPresion.....	212
Tabla 88 Peso propio y Fuerza de rozamiento	213
Tabla 89 Factores de seguridad al volteo “ K_v ” y deslizamiento “ K_d ”	213
Tabla 90 Esfuerzos en la base de la estructura.....	214
Tabla 91 Características de las estructuras.....	214
Tabla 92 Parámetros de las estructuras de mitigación.	215
Tabla 93 Aumento o disminución respecto a la modelación sin medidas estructurales.	220
Tabla 94 Aumento o decremento respecto a la modelación sin medidas estructurales.	221
Tabla 95 Cómputos Métricos.	240
Tabla 96 Precios Unitarios Elementales.....	241
Tabla 97 Precios de Materiales.	242
Tabla 98 Presupuesto de Mano de Obra.....	242
Tabla 99 Presupuesto de Maquinaria y Equipo.....	243
Tabla 100 Costo de Trabajo de los equipos.	243
Tabla 101 Análisis de Precios Unitarios con Incidencias.	244
Tabla 102 Análisis de Precios Unitarios sin Incidencias.	245
Tabla 103 Precios de Materiales.	246
Tabla 104 Precios de Materiales.	247
Tabla 105 Narváez vs El Huayco.....	270
Tabla 106 Narváez vs Machigua.....	270
Tabla 107 Narváez vs Palos Blancos.	271
Tabla 108 Narváez vs Puerto Margarita.....	273
Tabla 109 Narváez vs Puente Aruma.....	274
Tabla 110 Narváez vs Saladito Centro.....	275
Tabla 111 Narváez vs San Josecito.....	276

Tabla 112 Narváez vs Tarupayo.....	278
Tabla 113 Narváez vs Timboy.	279
Tabla 114 Resumen del análisis de consistencia.....	280
Tabla 115 Test de Mann-Kendall, estación El Huayco.....	281
Tabla 116 Test de Mann-Kendall, estación Machigua.....	281
Tabla 117 Test de Mann-Kendall, estación Tarupayo.	282
Tabla 118 Test de Mann-Kendall, estación Palos Blancos.	283
Tabla 119 Test de Mann-Kendall, estación Puerto Margarita.	284
Tabla 120 Test de Mann-Kendall, estación Puente Aruma.....	284
Tabla 121 Test de Mann-Kendall, estación Saladito Centro.....	285
Tabla 122 Test de Mann-Kendall, estación San Josecito.....	286
Tabla 123 Test de Mann-Kendall, estación Timboy.....	287
Tabla 124 Test de Mann-Kendall, estación Narvaez.	287
Tabla 125 Precipitación máxima estación El Huayco.....	289
Tabla 126 Precipitación máxima estación Machigua.....	289
Tabla 127 Precipitación máxima estación Palos Blancos.	290
Tabla 128 Precipitación máxima estación Puerto Margarita.	291
Tabla 129 Precipitación máxima estación Puente Aruma.....	292
Tabla 130 Precipitación máxima estación Saladito Centro.....	292
Tabla 131 Precipitación máxima estación San Josecito.....	293
Tabla 132 Precipitación máxima estación Tarupayo.	294
Tabla 133 Precipitación máxima estación Timboy.....	294
Tabla 134 Precipitación máxima estación Narvaez.	295
Tabla 135 Precipitación máxima en 24 horas.	302
Tabla 136 Precipitación máxima de duración D.	302
Tabla 137 Intensidades de precipitación.	303
Tabla 138 Análisis de regresión múltiple.....	304
Tabla 139 Estadísticas de la regresión.	311

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de movimientos de remoción en masa.....	7
Figura 2 Flujo de escombros, deslizamiento de tierra	9
Figura 3 Características del flujo de escombros	12
Figura 4 Corte esquemático típico de un flujo de detritos. Frente con bloques de un pulso del flujo de detritos.....	12
Figura 5 El lóbulo deposicional del flujo de lodo y escombros.....	13
Figura 6 Taxonomía de flujos geológicos de Coussot y Meunier (1986).....	15
Figura 7 Varias taxonomías de flujos geofísicos que ilustran la diversidad de definiciones.	15
Figura 8 Modelos reológicos utilizados para simular (a) agua clara y (b,c) flujos de lodo y escombros.....	17
Figura 9 Taxonomía de flujo no newtoniano, con los modelos reológicos y las ecuaciones utilizadas para modelarlos.....	18
Figura 10 Representación en diagrama de bloques del sistema hidrológico global	20
Figura 11 Índices anuales del vector y de las estaciones (Brunet Moret).....	22
Figura 12 Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS.....	26
Figura 13 Hidrograma Adimensional SCS	29
Figura 14 Caja de diferencias finitas para la solución de la ecuación de onda cinemática lineal mostrando las ecuaciones de diferencias finitas.....	30
Figura 15 Proceso de selección de una distribución teórica.	35
Figura 16 Hietograma de diseño aplicando el método de bloques alternos.....	41
Figura 17 Principales factores que controlan el proceso de erosión hídrica.	43
Figura 18 Modelo reológico “Bingham Plastic”.....	53
Figura 19 Modelo reológico “Quadratic-dilatant”.....	54
Figura 20 Flujos de granos y flujos de escombros.....	55
Figura 21 Esquema de una presa de contención típica.	61
Figura 22 Estructuras transversales para la estabilización de taludes.....	62
Figura 23 Estructuras transversales para la estabilización de taludes.....	63
Figura 24 Reservorio para el control de escombros en Tyrol Autria.....	64
Figura 25 Barrera de cuerpo solido en Einachgraben Austria.	64

Figura 26 Barrera de pequeñas ranuras, Koednitzbach, Tyrol, Austria.	65
Figura 27 Tipos de barreras abiertas.	65
Figura 28 Barrera de pequeñas ranuras, Truebenbach, Carintia, Austria.	67
Figura 29 Represa SABO para el control de flujos de detritos en Minami-Aso Village (Kumamoto). Nótese el gran tamaño de la misma.	67
Figura 30 Represa Esquema de una barrera abierta.	68
Figura 31 Esquema del proceso a seguir del análisis estadístico de la precipitación.	69
Figura 32 Esquema del proceso de estimación del número de curva.	71
Figura 33 Esquema del proceso de estimación de los parámetros USLE modificado.	73
Figura 34 Esquema del proceso de estimación del hidrograma líquido.	74
Figura 35 Esquema del proceso de estimación de escenarios de inundación.	76
Figura 36 Esquema de Modelación Hidráulica con y sin medidas de mitigación.	78
Figura 37 Descarga del Modelo Digital de Elevación del área en estudio.	80
Figura 38 Propiedades del Archivo Ráster (Unido y proyectado a WGS84 UTM Zona 20S).	81
Figura 39 Macro Ubicación (Municipio de Entre Ríos).	82
Figura 40 Micro Ubicación (Cuenca 8659428).	83
Figura 41 Características en HEC - HMS (Cuenca 8659428).	84
Figura 42 Delimitación de la cuenca 8659428.	85
Figura 43 Delimitación de la cuenca 8659428 (Subcuencas).	86
Figura 44 Ubicación de las muestras extraídas de la zona en estudio.	89
Figura 45 Calicata 0.70m / Método de cuarteado.	89
Figura 46 Zona de Modelación / Determinación del coeficiente de Manning.	90
Figura 47 Ubicación de Estaciones pluviométricas más cercanas.	93
Figura 48 Curva de Doble Masa Narvéez vs Palos Blancos.	98
Figura 49 Flujograma para el análisis Vector Regional.	104
Figura 50 Precipitaciones Máximas mensuales de las estaciones cercanas.	105
Figura 51 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Enero.	106
Figura 52 Número mínimo de estaciones por año.	107
Figura 53 Índices anuales del Vector y de las estaciones corregido– Mes de Enero.	109
Figura 54 Completación de datos faltantes.	110

Figura 55 Representación del método Kriging para las precipitaciones máximas (mes de enero 2011).....	111
Figura 56 Representación del método Kriging para las precipitaciones máximas (mes de enero 2011).....	112
Figura 57 Gráfica de funciones de densidad de probabilidad.....	117
Figura 58 Grafica de las curvas de distribución de probabilidad.....	118
Figura 59 Curva Intensidad - Duración - Frecuencia.....	121
Figura 60 Hietograma de diseño - Periodo de retorno 200 años.....	123
Figura 61 Clasificación NDVI.	126
Figura 62 Creación de firmas Espectrales.....	127
Figura 63 Clasificación de la cobertura vegetal por máxima verosimilitud.	128
Figura 64 Saturación Hidráulica de la zona en estudio.....	131
Figura 65 Clasificación de la textura de suelo de acuerdo a las muestras obtenidas. ...	131
Figura 66 Tabla de atributos.	132
Figura 67 Mapa SoilLUPoly.....	132
Figura 68 Tabla CNLookUp.	133
Figura 69 Generación en ráster del número de curva.	133
Figura 70 Numero de Curva (CN III).	134
Figura 71 Numero de Curva (CN III) con la base de datos de Zonisig.	136
Figura 72 Desarrollo del método USLE Modificado.....	138
Figura 73 Triangulo textural del suelo.....	139
Figura 74 Mapa de valores de Erodabilidad (K).....	141
Figura 75 Mapa de valores de longitud-grado pendiente (LS)	142
Figura 76 Índice de vegetación ajustado al suelo (IVAS).	143
Figura 77 Índice de área foliar (IAF).	143
Figura 78 Fracción de cobertura vegetal (C).	144
Figura 79 Mapa de valores de uso-cobertura (C).....	145
Figura 80 Clasificación del ráster de pendientes en porcentaje (%).	146
Figura 81 Actividad agrícola en la zona en estudio.	146
Figura 82 Prácticas de control (Factor P).....	147
Figura 83 Entradas para el modelamiento hidrológico.	148

Figura 84 Sección Transversal “Eight Point”- Rio 4.	150
Figura 85 Entradas “Time-Series Data”-Periodo de retorno de 100 años.	151
Figura 86 Entradas “Sediment”-Periodo de retorno de 100 años.	152
Figura 87 Curva granulométrica / “Diameter-Percentage Functions”- MS3.	153
Figura 88 Curva granulométrica / “Diameter-Percentage Functions”- Grava.	154
Figura 89 Fotografía en la zona de estudio (Material Grueso predominante).	155
Figura 90 Procedimiento para la ejecución de simulación.	156
Figura 91 Caudales Máximos para diferentes periodos de retorno.	157
Figura 92 Volumen de sedimentos totales – T = 200 años.	159
Figura 93 Carga de sedimentos totales – T = 200 años.	160
Figura 94 Volumen de sedimentos Arcilla, Limo, Arena y Grava (Clay, Silt, Sand y Gravel) – T = 200 años.	161
Figura 95 Carga de sedimentos Arcilla, Limo, Arena y Grava (Clay, Silt, Sand y Gravel) – T = 200 años.	163
Figura 96 Comparación de caudales específicos.	168
Figura 97 Ecuación de O'Brien (cuadrática).	166
Figura 98 MDE exportado en RAS Mapper.	171
Figura 99 Perímetro mallas 2d de 5x5m / Entradas y Salidas.	172
Figura 100 Datos de flujo no permanente.	172
Figura 101 Métodos y parámetros no newtonianos.	173
Figura 102 Análisis de flujo no permanente.	174
Figura 103 Tolerancias y opciones del cálculo no permanente.	174
Figura 104 Ajuste del control del paso del tiempo.	175
Figura 105 Escenario 1: Ráster de Profundidades máximas (m)	178
Figura 106 Escenario 1: Ráster de Velocidades máximas (m)	179
Figura 107 Escenario 2: Ráster de Profundidades máximas (m).	180
Figura 108 Escenario 2: Ráster de Velocidades máximas (m).	180
Figura 109 Escenario 3: Ráster de Profundidades máximas (m).	181
Figura 110 Escenario 3: Ráster de Velocidades máximas (m).	182
Figura 111 Escenario 4: Ráster de Profundidades máximas (m).	183
Figura 112 Escenario 4: Ráster de Velocidades máximas (m).	183

Figura 113 Escenario 5: Ráster de Profundidades máximas (m).	184
Figura 114 Escenario 5: Ráster de Velocidades máximas (m).	185
Figura 115 Escenario 6: Ráster de Profundidades máximas (m).	186
Figura 116 Escenario 6: Ráster de Velocidades máximas (m).	186
Figura 117 Punto de Control 01.....	188
Figura 118 Punto de Control 02.....	188
Figura 119 Punto de Control 03.....	189
Figura 120 Punto de Control 04.....	189
Figura 121 Punto de Control 05.....	190
Figura 122 Punto de Control 06.....	190
Figura 123 Punto de Control 07.....	191
Figura 124 Punto de Control 08.....	191
Figura 125 Ubicación de los puntos de control y límites de lodos.	192
Figura 126 Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de control 1.....	193
Figura 127 Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 2.....	194
Figura 128 Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 3.....	194
Figura 129 Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 4.....	195
Figura 130 Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 5.....	195
Figura 131 Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 6.....	196
Figura 132 Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 7.....	196
Figura 133 Elevación máxima de la superficie del agua – Sección de Control 8.....	197
Figura 134 Gráfico comparativo de tirantes de flujo de lodos y escombros.....	198
Figura 135 Escenario representativo del fenómeno desencadenado el 21 de febrero. .	199
Figura 136 Mapa del nivel de amenaza (Iteración 13).....	200
Figura 137 Curva de descarga – Sección 2.	202
Figura 138 Curva de descarga – Secciones 4, 5, 6 y 7.....	203
Figura 139 Sabo dam en Khahare Khola, Nepal.....	205
Figura 140 Sabo dam en Khahare Khola, Nepal.....	206
Figura 141 Ubicaciones de las medidas de mitigación estructural.	209
Figura 142 Estructura de mitigación – Presa 01 tipo SABO con ranuras.....	216
Figura 143 Estructura de mitigación – Presa 01 Tipo Barrera Abierta.....	216

Figura 144 Escenario con Presas tipo SABO – Profundidades Máximas.....	217
Figura 145 Escenario con Presas tipo SABO – Velocidades Máximas.....	218
Figura 146 Escenario con Presas tipo Barrera Abierta – Profundidades Máximas.	219
Figura 147 Escenario con Presas tipo Barrera Abierta – Velocidades Máximas.....	219
Figura 148 Grado de amenaza con medidas estructurales tipo SABO.	221
Figura 149 Curva de Doble Masa Narváez vs El Huayco.	270
Figura 150 Curva de Doble Masa Narváez vs Machigua.	271
Figura 151 Curva de Doble Masa Narváez vs Palos Blancos.....	273
Figura 152 Curva de Doble Masa Narváez vs Puerto Margarita.	274
Figura 153 Curva de Doble Masa Narváez vs Puente Aruma.	275
Figura 154 Curva de Doble Masa Narváez vs Saladito Centro.	276
Figura 155 Curva de Doble Masa Narváez vs San Josecito.	278
Figura 156 Curva de Doble Masa Narváez vs Tarupayo.....	279
Figura 157 Curva de Doble Masa Narváez vs Timboy.....	280
Figura 158 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Enero.....	297
Figura 159 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Febrero.	297
Figura 160 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Marzo.	298
Figura 161 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Abril.	298
Figura 162 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Mayo.	299
Figura 163 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Junio.....	299
Figura 164 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Septiembre.	300
Figura 165 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Octubre.....	300
Figura 166 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Noviembre.....	301
Figura 167 Índices anuales del Vector y de las estaciones – Mes de Diciembre.....	301