



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

**EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS
HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA
ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS
DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD
MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE
YANACANCHA – CERRO DE PASCO EN EL AÑO
2018**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

JASMANI HASSAN RAJOO BAO LIPA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

LIMA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por darme la fuerza y sabiduría para continuar en este proceso de obtener uno de los más grandes anhelos como profesional.

A mis padres Julio y Norma, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido un orgullo y privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mi novia por estar siempre presente, por ser mi amiga, colega y compañera; asimismo por darme el apoyo moral y emocional a lo largo de esta etapa de mi vida.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos Jairo, Khevin, Roberto y Renzo, por apoyarme cuando más lo necesitaba, por extenderme su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias.

Jasmani Hassan Rajoo Bao Lipa

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia, especialmente a mis padres.

A la UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS, por confiar en mí, otorgándome la posibilidad de estudiar cinco (05) años la carrera de Ingeniera Ambiental, siendo base fundamental en mi preparación profesional, así como permitirme obtener el título de pregrado.

Mi más profundo y sincero agradecimiento a la Ingeniera S. Valle, que a lo largo de este tiempo se convierto en una amiga; brindándome sus consejos, enseñanzas, paciencia, apoyo y aportar siempre para mi crecimiento profesional; dándome la oportunidad de aprender día a día.

Por último, no puedo dejar de agradecer a Janelly, mi compañera fiel de universidad, de tesis y ahora de corazón y vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁG.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE MAPAS.....	x
INDICE de IMAGENES.....	x
ÍNDICE DE PLANOS.....	xi
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1 Caracterización de la Realidad Problemática.....	17
1.1.1 Minería en el Perú.....	18
1.1.2 Normativa ambiental – minero peruano.....	19
1.1.3 Recursos hídricos en proyectos Mineros.....	20
1.1.4 Depósito de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.....	24
1.2 Formulación del Problema.....	25
1.2.1 Definición del Problema.....	25
1.2.2 Problema Principal.....	26
1.2.3 Problemas Secundarios.....	26
1.3 Objetivo de la Investigación.....	26
1.3.1 Objetivo General.....	27
1.3.2 Objetivos Específicos.....	27
1.4 Justificación.....	27

1.5	Importancia	28
1.6	Limitaciones	28
CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS		30
2.1	Marco Referencial	30
2.1.1	Antecedentes de la Investigación.....	30
2.2	Marco Legal	34
2.2.1	Constitución Política del Perú (1993).....	35
2.2.2	Leyes	35
2.2.3	Decreto Legislativo.....	37
2.2.4	Decreto Supremo	37
2.2.5	Resolución Ministerial.....	39
2.2.6	Resolución Jefatural.....	40
2.2.7	Guías	40
2.3	Marco Conceptual	41
2.3.1	Etapas del Proyecto.....	41
2.3.2	Conceptos Básico.....	45
2.4	Marco Teórico	51
2.4.1	Antecedentes de la Unidad Minera El Pilar.....	51
2.4.2	Evaluación de Recursos Hídricos	52
2.4.3	Medición de la precipitación.....	54
CAPÍTULO III PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....		56
3.1	Metodología	56
3.1.1	Método de Investigación.....	56
3.1.2	Tipo de Investigación.....	59
3.1.3	Nivel de Investigación	60
3.2	Diseño de la Investigación	60
3.3	Hipótesis de la investigación.....	61
3.3.1	Hipótesis General.....	62
3.3.2	Hipótesis Específicas	62
3.4	Variables e Indicadores	62
3.4.1	Variable Independiente	63
3.4.2	Variable Dependiente.....	65

3.5	Cobertura del Estudio.....	66
3.5.1	Universo.....	67
3.5.2	Población	67
3.5.3	Muestra	67
3.5.4	Muestreo	68
3.6	Técnicas e instrumentos	68
3.6.1	Técnicas de la investigación	69
3.6.2	Instrumentos de la Investigación	69
3.6.3	Fuentes	69
3.7	Procesamiento estadístico de la información	71
3.7.1	Técnicas estadísticas	71
3.7.2	Tipos de gráficos.....	71
CAPÍTULO IV ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS		72
4.1	Diagnostico Situacional	72
4.1.1	Descripción Técnica de los depósitos	72
4.1.2	Diagnostico Socioambiental	83
4.2	Resultados	105
4.2.1	Hidrografía.....	105
4.2.2	Morfología de la microcuenca	105
4.2.3	Caracterización Climática.....	120
4.2.4	Análisis de máximas avenidas	164
4.2.5	Diseños hidráulicos.....	179
4.3	Discusión de Resultados	200
4.4	Contrastación de Hipótesis.....	202
CONCLUSIONES		203
RECOMENDACIONES		204
BIBLIOGRAFÍA		205
ANEXOS.....		206

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Producto Bruto Interno 2017 – 2018	19
Cuadro 2	Caudales en Vertientes – marzo 2017 / 2018	23
Cuadro 3	Ubicación geográfica de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3	57
Cuadro 4	Fuentes Primarias del proyecto de investigación	70
Cuadro 5	Fuentes Secundarias del proyecto de investigación	70
Cuadro 6	Ubicación geográfica de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3	84
Cuadro 7	Vértices de la cuadrícula GDEM.....	87
Cuadro 8	Punto de descarga referencial de la microcuenca Rumiallana	88
Cuadro 9	Clasificación Estratigráfica del área de estudio.....	93
Cuadro 10	Clasificación de cobertura vegetal del área de estudio.....	99
Cuadro 11	Distancia a centro poblado	103
Cuadro 12	Tamaño relativo de sistemas hidrológicos.....	105
Cuadro 13	Cálculo de Elevación media de la Microcuenca Rumiallana	109
Cuadro 14	Cálculo de pendiente media – Método de Alvord	111
Cuadro 15	Cálculo de pendiente media – Método de Horton	111
Cuadro 16	Cálculo de Pendiente del cauce Rumiallana.....	113
Cuadro 17	Resumen de características morfológicas – microcuenca Rumiallana.....	115
Cuadro 18	Sistema de Drenaje de la microcuenca Rumiallana.....	118
Cuadro 19	Estaciones con Registro de Precipitación.....	121
Cuadro 20	Información Disponible de Precipitación	121
Cuadro 21	Parámetros del vector – Resultado Inicial	127
Cuadro 22	Parámetros del Vector – Resultado Final	128
Cuadro 23	Completación y extensión de precipitación de las estaciones evaluadas	129
Cuadro 24	Precipitación Total Mensual Consistente (mm) – Estación Cerro de Pasco	130
Cuadro 25	Precipitación Total Mensual Consistente (mm) – Estación Yanahuanca....	131
Cuadro 26	Precipitación Total Mensual Consistente (mm) – Estación San Rafael	132
Cuadro 27	Variabilidad temporal de precipitación en la estación Cerro de Pasco	134
Cuadro 28	Variabilidad temporal de precipitación en la Estación Yanahuanca	136
Cuadro 29	Variabilidad temporal de precipitaciones en la Estación San Rafael	137
Cuadro 30	Precipitación Total Mensual Generada (mm) – Microcuenca Rumiallana .	141

Cuadro 31	Variabilidad Temporal de Precipitación en la Microcuenca Rumiallana....	142
Cuadro 32	Precipitación mensual y anual para años secos y húmedos de la microcuenca Rumiallana	145
Cuadro 33	Estación con registro de precipitación máximo diaria.....	146
Cuadro 34	Estadística básica de precipitación máxima en 24 horas	147
Cuadro 35	Prueba de Independencia (Wald – Wolfowitz).....	148
Cuadro 36	Prueba de Estacionariedad (Kendall)	148
Cuadro 37	Prueba de Homogeneidad (Wilcoxon)	148
Cuadro 38	Selección del modelo Probabilístico de la Estación Cerro de Pasco.....	149
Cuadro 39	Precipitación máxima anual diaria y en 24 horas	149
Cuadro 40	Precipitación máxima en 24 horas para periodos de retornos	152
Cuadro 41	Intensidad máxima (mm/h) para diferentes Periodos de Retorno	154
Cuadro 42	Cálculo de precipitación máxima probable (PMP) – Cerro de Pasco	155
Cuadro 43	Estación con registro de temperatura.....	156
Cuadro 44	Variabilidad temporal de temperatura – Cerro de Pasco.....	157
Cuadro 45	Estación con registro de Humedad Relativa.....	158
Cuadro 46	Variabilidad de Humedad Relativa – Cerro de Pasco	159
Cuadro 47	Estación con registro de Evaporación	160
Cuadro 48	Variabilidad de Evaporación – Cerro de Pasco.....	161
Cuadro 49	Estación con registro de velocidad y dirección del viento	162
Cuadro 50	Variabilidad temporal de velocidad del viento – Cerro de Pasco.....	163
Cuadro 51	Cálculo de tiempo de concentración y retardo	167
Cuadro 52	Cálculo de número de curva ponderado – Microcuenca Rumiallana.....	171
Cuadro 53	Caudal máximo y creciente máxima probable – Microcuenca Rumiallana	173
Cuadro 54	Coefficientes de escorrentía para diferentes periodos de retorno	184
Cuadro 55	Áreas de aportes a los Depósitos de relaves 1,2 y 3	186
Cuadro 56	Caudales de diseño	186
Cuadro 57	Dimensionamiento del Canal NE	191
Cuadro 58	Dimensionamiento del Canal SO	191
Cuadro 59	Resultados de los Cálculos en HEC – RAS.....	199

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Grandes Vertientes del Perú	24
Gráfico 2	Pirámide de Kelsen del Perú.....	34
Gráfico 3	Diagrama de Flujo de las etapas del Proyecto.....	44
Gráfico 4	Modelo de investigación descriptivo correlacional	61
Gráfico 5	Diagrama fluvial de la microcuenca Rumiallana	86
Gráfico 6	Curva Hipsométrica de la Microcuenca Rumiallana.....	110
Gráfico 7	Frecuencia de Altitudes de la Microcuenca Rumiallana	110
Gráfico 8	Perfil longitudinal del Río Rumiallana.....	114
Gráfico 9	Índice anual del vector y de las estaciones – Resultado Inicial.....	126
Gráfico 10	Acumulado de los índices del vector y de las estaciones – Resultado Inicial...	126
Gráfico 11	Índice anual del vector y de las estaciones – Resultado Final.....	127
Gráfico 12	Acumulado de los índices del vector y de las estaciones – Resultado Final.....	128
Gráfico 13	Histograma de precipitación total mensual de la serie consistente	133
Gráfico 14	Diagrama de cajas de precipitación en la Estación Cerro de Pasco	135
Gráfico 15	Diagrama de cajas de precipitación en la Estación Yanahuanca.....	136
Gráfico 16	Diagrama de cajas de precipitación en la Estación San Rafael	138
Gráfico 17	Ecuación Precipitación vs Altitud	139
Gráfico 18	Diagrama de Cajas de Precipitación en la Microcuenca Rumiallana.....	143
Gráfico 19	Variabilidad temporal de temperatura Mensual – Cerro de Pasco	157
Gráfico 20	Variabilidad temporal de temperatura Anual – Cerro de Pasco	158
Gráfico 21	Variabilidad temporal de humedad relativa mensual – Cerro de Pasco	159
Gráfico 22	Variabilidad temporal de humedad anual – Cerro de Pasco.....	160
Gráfico 23	Variabilidad temporal mensual de evaporación – Cerro de Pasco	161
Gráfico 24	Variabilidad temporal de evaporación total anual – Cerro de Pasco.....	162
Gráfico 25	Variabilidad temporal de velocidad del viento mensual – Cerro de Pasco .	163
Gráfico 26	Variabilidad temporal de velocidad del viento anual – Cerro de Pasco.....	163
Gráfico 27	Rosa de vientos – Cerro de Pasco.....	164
Gráfico 28	Sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana	166

Gráfico 29	Elementos de un canal trapezoidal	187
Gráfico 30	Resultados de precipitación Microcuenca Rumiallana.....	200
Gráfico 31	Caudales vs Tiempo de retorno	200

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1	Ubicación geográfico – política del proyecto de investigación	58
Mapa 2	Imagen Satelital de los Depósitos de relaves	73
Mapa 3	Vista General de los depósitos de relaves 1, 2 y 3	85
Mapa 4	Ubicación Hidrográfica del proyecto de investigación.....	91
Mapa 5	Geología del área del proyecto de investigación.....	96
Mapa 6	Cobertura Vegetal del área del proyecto de investigación.....	100
Mapa 7	Zona de vida del área del proyecto de investigación	102
Mapa 8	Distancia de los depósitos de relaves a centros poblados	104
Mapa 9	Características Morfológicas de la Microcuenca Rumiallana.....	116
Mapa 10	Sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana	119
Mapa 11	Ubicación de las Estaciones Meteorológicas	122
Mapa 12	Isoyetas de precipitación anual en Microcuenca Rumiallana	140
Mapa 13	Cobertura vegetal a nivel hidrológico – Microcuenca Rumiallana.....	169
Mapa 14	Áreas de escorrentía para delimitación de canales.....	185

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1	Vértices de la imagen GDEM.....	88
Imagen 2	Delimitación Microcuenca Rumiallana ArcGIS.....	89
Imagen 3	Corrección del trazo de la Microcuenca Rumiallana.....	89
Imagen 4	Interfaz de HYDRACCESS	125
Imagen 5	Precipitación máxima en 24 h. diferentes periodos de retorno - Gumbel ...	151
Imagen 6	Curva de ajuste del Modelo Gumbel	151
Imagen 7	Salida HEC – HMS T=10 años	174

Imagen 8	Salida HEC – HMS T=20 años	174
Imagen 9	Salida HEC – HMS T=25 años	175
Imagen 10	Salida HEC – HMS T=50 años	175
Imagen 11	Salida HEC – HMS T=100 años	176
Imagen 12	Salida HEC – HMS T=200 años	176
Imagen 13	Salida HEC – HMS T=500 años	177
Imagen 14	Salida HEC – HMS T=1000 años	177
Imagen 15	Salida HEC – HMS T=10000 años	178
Imagen 16	Salida HEC – HMS PMP	178
Imagen 17	Cálculo del tirante Normal – Canal NO tramo 1 de 0+000 a 0+070.....	188
Imagen 18	Cálculo del Tirante Normal - - Canal NO Tramo 2 de 0+070 a 0+125.....	188
Imagen 19	Cálculo del Tirante Normal – Canal NO Tramo 3 de 0+125 a 0+145.76 ...	189
Imagen 20	Cálculo del Tirante Normal – Canal SO Tramo 1 de 0+000 a 0+090.....	189
Imagen 21	Cálculo del Tirante Normal – Canal SO Tramo 2 de 0+090 a 0+120.....	190
Imagen 22	Cálculo del Tirante Normal – Canal SO Tramo 3 de 0+120 a 0+140.....	190
Imagen 23	Cálculo del Tirante Normal – Canal SO Tramo 4 de 0+140 a 0+161.....	191
Imagen 24	Cálculo de resalto hidráulico para un canal de sección trapezoidal	192
Imagen 25	Modelamiento desde la Progresiva 0+000 hasta la 0+280 – TR= 1000 años.	197
Imagen 26	Modelamiento desde la Progresiva 0+280 – TR= 1000 años.....	197
Imagen 27	Modelamiento desde la Progresiva 0+100 – TR= 1000 años.....	198
Imagen 28	Modelamiento desde la Progresiva 0+060 – TR= 1000 años.....	198
Imagen 29	Modelamiento desde la Progresiva 0+000 – TR= 1000 años.....	199

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Disposición general de las obras de plan de cierre	180
Plano 2	Arreglo general del drenaje superficial	193
Plano 3	Planta y perfil del canal Nor-Este	194
Plano 4	Planta y Perfil del canal Sur-Oeste.....	195

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1	Primera vista de huella de máxima	74
Fotografía 2	Segunda vista de la huella de avenida.....	75
Fotografía 3	Vista General del DR N°1	77
Fotografía 4	Vista al pie de DR N°1	77
Fotografía 5	Vista de los taludes externos del DR N°1	77
Fotografía 6	Vista General del DR N°2	78
Fotografía 7	Vista del Pie del DR N°2	79
Fotografía 8	Vista de Taludes Externos del DR N°2	80
Fotografía 9	Vista del muro de concreto del DR N°2	80
Fotografía 10	Vista del DR N°3	82
Fotografía 11	Vista de los taludes deteriorados del DR N°3.....	82
Fotografía 12	Vista del DR N°3	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1	Aprobación de Plan de Tesis.....	207
Anexo 2	Matriz de Consistencia.....	209
Anexo 3	Ficha de Registro de Datos	211
Anexo 4	Data de SENAMHI	217

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

UAP:	Universidad Alas Peruanas
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization
MINAM:	Ministerio del Ambiente
MINEM:	Ministerio de Energía y Minas
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego
ANA:	Autoridad Nacional del Agua
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
SENACE	Servicio Nacional de Certificación Ambiental
OEFA	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
IGP	Instituto Geofísico del Perú
ECA	Estándar de Calidad Ambiental
GIS	Geographical Information System
EIA-d	Estudio de Impacto Ambiental Detallado
EIA-sd	Estudio de Impacto Ambiental Semi-Detallado
ITS	Instrumento Técnico Sustentatorio
PAMA	Programa de Adecuación y Manejo Ambiental
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center's River Analysis System
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System
Auto CAD	Automatic Computer Aided Design
TMD	Toneladas métricas días
AIAD	Área de Influencia Ambiental Directa
AIAI	Área de Influencia Ambiental Indirecta
UTM	Universal Transverse System

RESUMEN

La presente tesis realiza el análisis y evaluación de los parámetros hidrometeorológicos y la influencia en las condiciones actuales de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera el Pilar, ubicados en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco y Región de Pasco; este componente tiene una clasificación de pasivo ambiental minero, sin embargo, no se encuentran dentro del listado del Ministerios de Energía y Minas, y por tal razón, aún no cuenta con una propuesta de plan de cierre definitivo.

Estos componentes se ubican al pie del río Rumiallana, cuyas únicas medidas de contención son sacos apilados a manera de muro en la base del dique, que se encuentran desgastados en muchos tramos debido a la erosión hídrica del cauce; así como de canales de coronación obstruidos por material sedimentado que no cumplirían en el total de sus funciones. Además de ello presenta flujo superficial en la explanada superior, provocando cárcavas e infiltrando hacia el interior del dique; todo ello sumado al cambio climático y la variación histórica de datos hidrometeorológicos, que presentan un gran riesgo de derrumbe generando obstrucción del cauce y contaminación de la calidad del agua del mismo río.

Para esta evaluación se tomó datos de 03 (tres) estaciones meteorológicas, Cerro de Pasco, Yanahuanca y San Rafael, que mediante el método de vector regional se generó datos de precipitación para la microcuenca Rumiallana, asimismo se realizó el tratamiento de la precipitación máxima probable para la estación Cerro de Pasco y su respectivo análisis de intensidad – duración – periodo de retorno. Cuyos resultados se ingresaron a los softwares HEC – HMS y HEC – RAS para el modelamiento de caudales máximos y tirante máximo del cauce del río Rumiallana, respectivamente. Finalmente, en base a los resultados de estos modelos, se realizó el diseño de los canales de coronación, que incluye las dimensiones y material de revestimiento; así como del tirante máximo del cauce para el diseño posterior de la defensa ribereña.

ABSTRACT

This thesis carries out the analysis and evaluation of hydrometeorological parameters and the influence on the current conditions of tailings deposits 1, 2 and 3 of the El Pilar Mining Unit, located in the Yanacancha district, Pasco province and Pasco Region. ; This component has a classification of environmental mining liabilities, however, they are not included in the list of Ministries of Energy and Mines, and for this reason, it still does not have a definitive closure plan proposal.

These components are located at the foot of the Rumiallana river, whose only containment measures are piles stacked like a wall at the base of the dam, which are worn in many sections due to the water erosion of the channel; as well as of coronation channels obstructed by sedimented material that they would not fulfill in the total of their functions. In addition, it has surface flow in the upper esplanade, causing gullies and infiltrating into the dike; all this added to the climatic change and the historical variation of hydrometeorological data, that present a great risk of collapse generating obstruction of the channel and contamination of the water quality of the same river.

For this evaluation data was taken from 03 (three) meteorological stations, Cerro de Pasco, Yanahuanca and San Rafael, which, using the regional vector method, generated precipitation data for the Rumiallana micro-basin, and the treatment of probable maximum precipitation was also carried out. for the Cerro de Pasco station and its respective analysis of intensity - duration - return period. Whose results were entered into the HEC - HMS and HEC - RAS softwares for the modeling of maximum flows and maximum tension of the bed of the Rumiallana river, respectively. Finally, based on the results of these models, the design of the coronation channels was carried out, including the dimensions and coating material; as well as the maximum stretch of the channel for the later design of the riparian defense.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de investigación refiere a la estabilidad hidrológica de los pasivos ambientales mineros, que se puede definir como la evaluación de los parámetros hidrometeorológicos como precipitación máxima probable, temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, así como del cálculo de las máximas avenidas de caudales, para la definición de las medidas de cierre final. Cuya característica principal es que pudiesen alterar las condiciones actuales los depósitos de relaves 1, 2 y 3, pues estas no garantizarían la conservación y protección de los recursos naturales al generar un riesgo de deslizamiento o derrumbe sobre el cauce principal del río Rumiallana degradando la calidad del recurso hídrico.

La investigación de esta problemática se realizó por el interés de conocer las características de la unidad hidrográfica y los cálculos para el diseño de obras hidráulicas, así como de poder establecer medidas generales para cierre pasivos ambientales mineros con similares condiciones; en el ámbito profesional, el interés versó en conocer la respuesta hidrológica al tratamiento convencional estadístico y establecer bases para futuros tratamientos con imágenes satelitales.

En el marco metodológico se plantea un alcance descriptivo, mediante el análisis de contenido y el uso de la revisión bibliográfica y elaborándose fichas de registro de datos de: informes meteorológicos del SENAMHI, estudios ambientales previos cercanos al área de estudio y reportes técnicos sobre los depósitos de relaves 1, 2 y 3.

Por ello el diseño y ejecución del proyecto de investigación busca determinar la influencia de los parámetros hidrometeorológicos sobre las condiciones actuales de los depósitos de relaves y diseñar obras hidráulicas que aseguren una adecuada estabilidad hidrológica.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

A lo largo de la historia de la humanidad, las actividades del hombre han pasado por diversas etapas, innovando y modificando sus procesos con la finalidad de mejorar su rendimiento; sin embargo, fue cada vez más notorio la generación de efectos adversos sobre distintos componentes que lo rodeaban, en su mayoría ambientales.

En un inicio, durante la época de nomadismo, el hombre coexistió en un “equilibrio ecológico” con los demás componentes que lo rodeaban, mediante el desarrollo de actividades como recolector y cazador, generando así un mínimo impacto sobre las condiciones ambientales en las que habitaba; posteriormente en la etapa de sedentario, las principales actividades desarrolladas fueron la agricultura y ganadería, dando inicio al consumo recursos naturales a través de procesos pre - industriales, es en esta etapa en la que se inicia la formación de grandes núcleos de población y por consiguiente la aparición de fenómenos de contaminación local; la etapa industrial, inicia con el consumo desenfrenado de recursos naturales producto de las grandes revoluciones industriales en sus 02 etapas: Revolución Industrial o primera Revolución Industrial (1820 – 1840) y la Segunda Revolución Industrial (1880 – 1914), así como también del uso excesivo de energías no renovables, culturalmente se transforman los estilos de vida rural a estilos de vida urbanos, creándose las grandes urbes y provocando el aumento en la emisión de contaminantes locales.

En el siglo XX se introducen en el ambiente sustancias no naturales producto de las ciencias tecnológicas y de la innovación de los procesos industriales, es en esta etapa que se presentan efectos ambientales globales, siendo algunas de las principales causas: la explosión demográfica, la concentración de numerosas zonas urbanas, y el incremento de las actividades industriales a gran escala como agricultura y minería. En la actualidad las actividades productivas están enmarcadas sobre el cumplimiento de requerimientos técnicos, así como normas legales; en su mayoría estos requerimientos son elaborados con la finalidad de establecer un orden, además de asegurar una mejor calidad satisfaciendo las necesidades actuales y futuras como parte de un proceso de mejora continua.

1.1.1 Minería en el Perú

Como se mencionó anteriormente las ciencias tecnológicas y de innovación de los procesos industriales generó un incremento en la extracción de materias primas tanto renovables como no renovables, esta actividad se denomina minería que: *“consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales a partir de la corteza terrestre, lo cual, en muchos casos, implica la extracción física de grandes cantidades de materiales de la misma, para recuperar solo pequeños volúmenes del producto deseado”*¹.

El Perú es un país con grandes reservas mineras; en la época incaica estas eran extraídas de manera rudimental, que consistían principalmente en socavones o túneles bastante superficiales, debido a que la tecnología de esa época no permitían que alcanzasen a realizar excavaciones profundas; la extracción minera evolucionó con la llegada de los españoles, cuyo avances en el uso de máquinas para la extracción minera permitieron un mayor alcance hacia los minerales de mayor profundidad; posterior a la independencia del Perú en la época republicana, se continuó la extracción en la mayoría de las bocaminas que se encontraban en operación, sin embargo otras fueron cerradas por el ejercito realista con el objetivo de no ser encontradas y explotadas a futuro.

En la actualidad la minería en el Perú representa una de las principales actividades que mayor aportan al PBI nacional, para el mes de febrero del 2018, el PBI de la minería metálica creció en 1.4% con respecto al mismo mes del año anterior, resultado que se debió a la mayor producción de cobre, zinc, plata, plomo, hierro y estaño. Este crecimiento coadyuvó a que el PBI nacional creciera en 2.9% con respecto al año anterior, para el presente año la minería e hidrocarburos ocuparon el 2º lugar como la actividad con mayor producción tal como se muestra en el Cuadro 1.

¹ Panorama de la Minería en el Perú, Osinergmin 2017

Cuadro 1 *Producto Bruto Interno 2017 – 2018*

VAR. % RESPECTO A SIMILAR PERIODO DEL AÑO ANTERIOR					
SECTOR	PART. (%) DEL PBI 2017*	2017	2018		
		FEB	ENE	FEB	ENE-FEB
1. Agropecuario	5.3	-1.0	3.9	4.7	4.3
2. Pesca	0.4	30.6	12.4	5.1	10.0
3. Minería e hidrocarburo	13.9	1.4	-1.5	-2.4	-2.0
Minería metálica	9.8	1.5	-2.0	1.4	-0.3
Hidrocarburos	1.5	1.2	1.1	-24.6	-11.1
4. Manufactura	12.4	-2.5	0.2	0.4	0.3
5. Electricidad y agua	1.8	-1.9	-0.7	1.2	0.2
6. Construcción	5.8	-6.9	7.8	7.9	7.9
7. Comercio	10.8	0.2	2.4	2.6	2.5
8. Total de Servicios**	49.5	2.7	4.3	4.3	4.3
PBI Global	100.00	0.8	2.8	2.9	2.8

Nota:

- * Ponderación implícita del año 2017 a precios de 2007.
- ** Incluye derechos de importación e impuesto a los productos.

Fuente:

- Boletín Estadístico Minero “Inversiones Mineras continúan en Crecimiento”, abril 2018.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI); Resumen Informativo Semanal N° 14-2018 del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP)

Este crecimiento económico a partir de esta actividad impulso el aumento, ampliación y modificación de muchos proyectos en unidades mineras; proyectos que van desde actividades de exploración mediante la ejecución de sondajes en plataformas, ampliación de la capacidad productiva de la Planta Concentradora, ampliación de relavera y otros componentes secundarios², considerando los estudios técnicos y ambientales necesarios para el inicio de operación.

1.1.2 Normativa ambiental – minero peruano

En la actualidad y de acuerdo con los nuevos criterios establecidos sobre las metas prioritarias al 2021³, se realizó una modificación las normas ambientales vigentes, algunos fueron modificados, mientras que otras, derogadas; en el sector minero se aprobó el reglamento de Protección y Gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio,

² Resolución Ministerial N° 120-2014-MEM/DM (Inciso C: Componentes Mineros: Pág. 2)

³ Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM: Plan Nacional de Acción Ambiental “PLANAA 2011 – 2021 (09-07-2011)

labor general, transporte y almacenamiento minero mediante decreto supremo N° 040-2014-EM con fecha 12 de noviembre del 2014, que derogó el decreto supremo N°016-93-EM y el decreto supremo N° 053-2019-EM; asimismo se aprobó la modificación del Reglamento para el cierre de Minas aprobado por el decreto supremo N° 033-2005-EM, mediante el decreto supremo N° 036-2016-EM con fecha 22 de diciembre del 2016, finalmente se aprobó el reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera mediante decreto supremo N° 042-2017-EM con fecha 22 de diciembre del 2017, que derogó el Reglamento Ambiental para las actividades de Exploración Minera aprobado por el decreto supremo N° 020-2008-EM.

Todas estas normas comparten como prioridad la protección del medio ambiente durante la ejecución de proyectos en todas sus etapas, en correlación con los criterios de protección ambiental, como la protección de los recursos naturales, especialmente las aguas, los bosques y el suelo, la flora y fauna⁴. Asimismo, cabe mencionar que se cuenta con un marco legal sobre las autorizaciones, licencias y permisos para el adecuado funcionamiento de los componentes secundarios de la unidad minera y otras actividades, las mismas que se presentan en el *ítem 2.2*.

1.1.3 Recursos hídricos en proyectos Mineros

Posterior al estudio de alternativas sobre la correcta ubicación del componente que se desea ejecutar, se inician los estudios de diseño a detalle, con la finalidad de que cumplan los criterios técnicos mínimos de construcción, en paralelo con el proceso de certificación ambiental a través de la elaboración de su respectivo instrumento de gestión ambiental. De acuerdo con la normativa legal – ambiental peruana toda persona tiene derecho a “...22. *A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida...*”⁵ por ello se debe velar por la conservación y preservación tanto en cantidad como en calidad de los recursos naturales.

Por su abundancia e importancia para el desarrollo de los seres vivos, el agua es uno de los recursos naturales a los que se le da mayor prioridad en la ejecución de los proyectos, la

⁴ Anexo V del Decreto Supremo 019-2009-MINAM: Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (25-09-2009)

⁵ Constitución Política del Perú (29-12-1993): Artículo 2°, inciso 22.

evaluación hidrológica permite determinar las características físicas de la unidad hidrográfica (inventario de cuerpos de agua), determinar las condiciones climatológicas del área de estudio y calcular la oferta de agua, con la finalidad de determinar la relación proyecto – recurso hídrico. Esta relación se presenta desde el inicio del proyecto, evitando que los componentes se ubiquen cercanos a cualquier cuerpo de agua, determinando la posible disponibilidad de uso de agua para el proyecto, calculando los caudales de vertimiento de agua tratada y determinando la factibilidad del reúso de agua durante el proceso.

El recurso hídrico comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados con esta, se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable⁶; en el Perú la evaluación, gestión y manejo de los recursos hídricos se realiza a través de la delimitación de Cuencas Hidrográficas⁷ teniendo como el actual ente rector a la Autoridad Nacional del Agua (ANA). El balance hídrico de la cuenca se realiza mediante la aplicación del principio de conservación de la masa o la ecuación de continuidad (Rose, 2004; Essam, 2007), de acuerdo con este principio, cualquier diferencia entre las entradas y salidas deben reflejarse en un cambio en el almacenamiento de agua dentro del área del presupuesto (UNESCO,1988; Simón,2010). Para lo cual se presenta la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Formula de Balance Hídrico

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Cambio en el almacenamiento} \dots\dots (1)$$

$$P + Q_{SI} + Q_{uI} - E - Q_{SO} - Q_{uO} - \Delta S - v = 0 \dots\dots\dots (2)$$

$$P + Q_{SI} + Q_{uI} = E + Q_{SO} + Q_{uO} + \Delta S + v \dots\dots\dots (3)$$

Nota:

- P: Precipitación.
- Q_{SI} y Q_{uI}: Aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o masa de agua desde fuera.
- E: Evaporación desde la superficie.
- Q_{SO} y Q_{uO}: Salida de corrientes de agua superficial y subterránea.
- ΔS: Cambio en el almacenamiento (cuando las entradas superan a las salidas el volumen de agua almacenada).
- v: Término residual o de diferencia.

Fuente: Métodos de cálculo del balance hídrico, Guía internacional de investigación y métodos, A. A. Sokolov y T.C. Chapman, 1988.

⁶ Resolución Jefatural N°180-2016-ANA (07-07-2016), Gestión de la calidad de Recurso Hídrico, Pág. 356.

⁷ Resolución Jefatural N°180-2016-ANA (07-07-2016), Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos, Pág. 605.

De estas variables, la salida de corrientes de agua superficiales (QsO) se puede calcular con mayor facilidad, el Perú cuenta con 03 grandes vertientes: Vertiente del Pacífico, Vertiente del Atlántico y Vertiente del Titicaca.

La vertiente del Pacífico cuenta con 53 cuencas se caracterizan por poca precipitación, salvo algunas coyunturas de extrema caída que ocasionan desastres naturales como huaicos, sus partes altas se caracterizan por una excesiva improductividad de los suelos, sin embargo con gran presencia de actividades minera en grado de pequeña y mediana minería; sus partes medias se caracterizan por el desarrollo de actividades como agricultura (frutícola y cochinilla) y ganadería (especialmente caprino y vacuno); y sus partes bajas se caracterizan por la gran succión del recurso agua de las partes medias y altas como parte del proceso de producción de energía eléctrica (hidroeléctricas) y agua potable para las grandes ciudades y la agricultura.

La vertiente del Atlántico, con sus 144 cuencas se caracterizan por una mayor precipitación pluvial en las partes altas, contar con valles interandinos más anchos y un recorrido más largo y amplio en sus ríos. Finalmente, la Vertiente del Titicaca con 12 cuencas cuya desembocadura es el lago navegable más alto del mundo a una altura promedio de 3809 m.s.n.m., cuyas partes altas menos importantes que las bajas son sumamente escarpadas y accidentadas, lo que obliga a un tratamiento más fino de su espacio a fin de mantener la cobertura vegetal necesaria⁸.

En el Cuadro 2 podemos observar la esorrentía superficial total en metros cúbicos (m³) para el mes de marzo 2018 en sus 03 vertientes: la vertiente del Pacífico ocupa el 45.15% estableciendo en primer lugar, seguidamente el Titicaca con un 31.43% del total y finalmente el Atlántico con el 23.42% restante, cabe mencionar que la región sierra aún se encontraba en época de avenida.

⁸ Manejo de Cuencas Altoandinas, Tomo 1, A.V. Villanueva.

Cuadro 2 Caudales en Vertientes – marzo 2017 / 2018

VERTIENTES	ZONA	MARZO (M ³ /S)			VARIACIÓN PORCENTUAL (%)		TOTAL, POR VERTIENTE (M ³ /MES DE MARZO)	TOTAL, PORCENTAJE (%)
		PROMEDIO HISTÓRICO	PROMEDIO 2017	PROMEDIO 2018	2018/2017	PROM.2018/PROM. HIST.		
Vertiente del Pacífico	Norte	193.32	374.00	61.58	-83.50	-68.10	621,120,960	45.15
	Centro	70.90	44.55	40.84	-8.30	-42.40		
	Sur	99.71	143.41	129.48	-9.70	29.90		
Vertiente del Atlántico	Norte	115.94	116.69	114.38	-2.00	-1.30	322,157,952	23.42
	Centro	6.39	6.87	5.90	-14.10	-7.70		
Vertiente del Titicaca	-	102.02	64.23	161.45	151.40	58.30	432,427,680	31.43
Total, de vertimiento							1,375,706,592	100.00

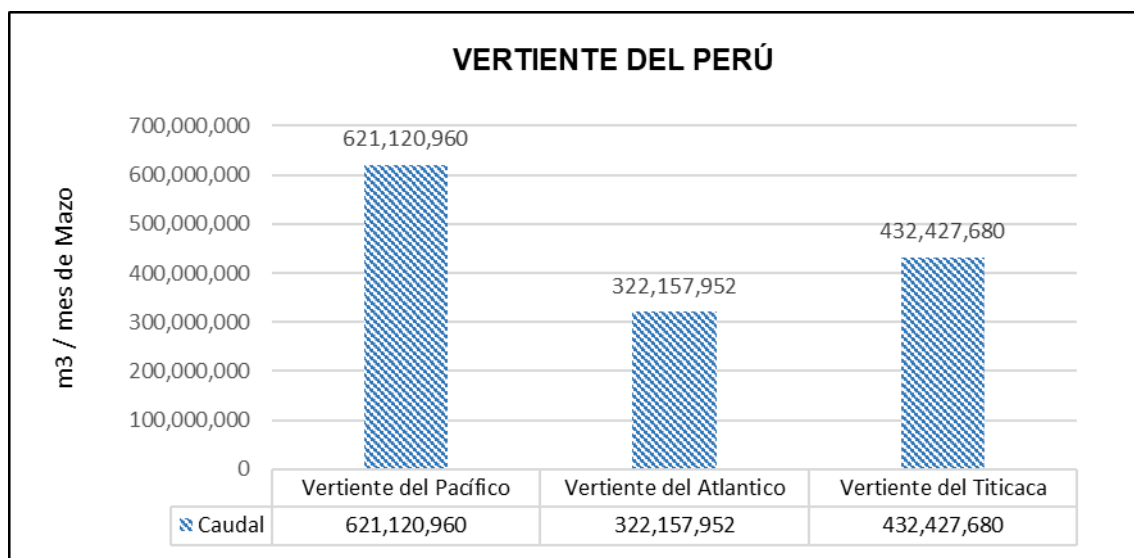
Fuente:

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
- Informe Técnico N° 4 de abril 2018 – Instituto Nacional de Estadística e Informática⁹

⁹ Enlace de descarga - <https://www.inei.gob.pe/biblioteca-virtual/boletines/estadisticas-ambientales/1/>

En el Gráfico 1 se presenta los resultados obtenidos en el Cuadro 2, sobre el cálculo de caudales vertidos en el Perú para el mes de Mazo del 2018.

Gráfico 1 *Grandes Vertientes del Perú*



Fuente:

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)
- Informe Técnico N° 4 de abril 2018 – Instituto Nacional de Estadística e Informática

1.1.4 Depósito de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar

Los depósitos de Relaves 1, 2 y 3 están ubicados en el Paraje Shintoragra, anexo Peña Blanca, distrito Yanacancha, Provincia de Cerro de Pasco y Región Cerro de Pasco; se dedicaba a la explotación de un yacimiento de plomo y zinc, de donde se extraía y procesaba el mineral con una producción de 150 TMD, mediante el método de minado subterráneo y con flotación estándar como proceso de recuperación.

De la información recopilada y proporcionada por la Compañía Minera Vichaycocha S.A.C. se desconoce con exactitud la fecha de inicio de operación de la U.M. el Pilar, y por tal, del funcionamiento y puesto en marcha de los Depósitos de Relaves N° 1, 2 y 3; sin embargo, en el año 2006 Geoservice presentó un informe que mencionan como inicio de operaciones el año 1949, con la puesta en marcha de la Planta Concentradora El Pilar; el depósito de relaves se encuentra actualmente al frente de la Ex – Planta Concentradora, y sólo ha presentado ampliaciones de capacidad, mas no de ubicación.

De igual modo, se tiene conocimiento que la Ex – Planta de Beneficio El Pilar, por consiguiente, el Depósito de Relaves N° 1, 2 y 3 dejaron de operar desde el año 1991, y que desde esa fecha sólo se han realizado trabajos de mantenimiento ligero y vigilancia. Posteriormente se elaboró un Plan de Cierre de Pasivos Ambientales de los componentes de la Planta de Beneficio El Pilar desarrollado durante el año 2006; no obstante, se desconoce su aprobación por la autoridad sectorial competente, y la ejecución de obras propuestas. Por su ubicación, estos componentes ponen en gran riesgo la calidad del agua del río colindante ante las infiltraciones (posible generador de acidez) y derrumbe del material depositado afectando las poblaciones río abajo cuyas actividades (agricultura y ganadería) dependen de este recurso.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El presente proyecto se desarrolla con la finalidad de obtener como resultado una respuesta concreta, precisa y viable (técnica y económicamente) a los siguientes problemas planteados, clasificados de acuerdo con su nivel de importancia en: problema principal y problemas secundarios, no obstante, cabe mencionar que se realizó la definición del problema en base a la descripción de la realidad problemática.

1.2.1 Definición del Problema

Los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar, como se describió anteriormente, no cuenta con una correcta estabilidad hidrológica ni obras hidráulicas que mejoren su condición, es por ello, que se ven influenciados directamente por todos los factores ambientales, especialmente lo meteorológicos; la precipitación genera erosión en superficie que se ven expresadas a través de cárcavas con flujo superficial y subterráneo (se desconoce si es o no generador de acidez) con vertiente al río Rumiallana que se encuentra adyacente a este; anudado a ello, los caudales de flujo del mismo río al que deriva genera erosión de la base del dique, que en algunos tramos cuenta con un muro de pirca y en otros sacos de arena como protección.

Es por ello, que los posibles impactos a generar son los siguientes: contaminación por el material infiltrado y arrastrado hacia el río Rumiallana (debido a que se desconoce la composición del material depositado), afectación de las áreas colindantes por el material

migrado (erosión eólica, pues tampoco cuenta con una cobertura vegetal adecuada), y alta probabilidades de derrumbe generando obstrucción del flujo de agua de este río provocando desbordes e inundaciones.

1.2.2 Problema Principal

El problema principal es aquella interrogante que detalla la característica del resultado producto de la ejecución del proyecto mediante el uso de preguntas claves, la misma que se presenta a continuación:

- ¿De qué manera la evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas influye sobre la estabilidad hidrológica de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar en el distrito de Yanacancha – Cerro de Pasco en el año 2018?

1.2.3 Problemas Secundarios

Los problemas secundarios son aquellos que se derivan del problema principal, y enmarcan los mecanismos cuyos resultados posteriormente contribuirán a una delimitación concreta ya sea cualitativa o cuantitativamente a la respuesta del problema principal. Las que se presentan a continuación:

- ¿Cuáles son las condiciones actuales de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera el Pilar?
- ¿Cuáles son los factores hidrológicos de la unidad hidrográfica sobre la que se ubican los Depósito de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar?
- ¿Cuáles serían los factores de diseño de las obras hidráulicas de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar?

1.3 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo en un proyecto de investigación brinda detalles sobre qué es lo que se pretende obtener y qué hacer con los resultados de investigación, asimismo de cómo se planea abordar la problemática de la investigación, en otras palabras, demostrar la visión que se tiene con respecto al problema. Cabe mencionar que cada objetivo es antecedido por un problema,

subdivido a su vez de acuerdo con el nivel de importancia en objetivo general y objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo General

El objetivo general, describe acciones a realizar para obtener como resultado una respuesta al problema principal, siendo este su antecesor, cuya interrelación son las características del resultado general que se desea obtener como parte de la aplicación del presente proyecto. A continuación, se presenta el objetivo general del proyecto de investigación:

- Determinar la influencia de la evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas en la estabilidad hidrológicas de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar en el distrito de Yanacancha – Cerro de Pasco en el año 2018.

1.3.2 Objetivos Específicos

De igual manera, los objetivos específicos son anteceditos cada uno por un problema específico respectivamente, estos son planteados con la finalidad de establecer las acciones para obtener una respuesta (sea cualitativa o cuantitativa) que contribuyan a alcanzar el objetivo principal; a continuación, se presentan los objetivos específicos del presente proyecto de investigación:

- Examinar las condiciones actuales de los Depósito de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.
- Determinar los factores hidrológicos de la unidad hidrográfica sobre la que se ubican los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.
- Calcular los factores de diseño de las obras hidráulicas de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La justificación de la ejecución de un proyecto de investigación enlista los motivos para la ejecución de este, justifica los beneficios sociales e institucionales, con la finalidad de demostrar la factibilidad de llevar a cabo la investigación. A continuación, se presenta la

justificación por la cual plantea el proyecto de investigación como una solución viable a la realidad problemática.

La etapa de cierre en una unidad minera, inicia con el cese de operaciones en todos componentes, para posteriormente ejecutar los planes y medidas establecidas en su Plan de Cierre de Minas aprobados por la autoridad competente, sin embargo, algunas unidades mineras que iniciaron su etapa de cierre de componentes previa a la aprobación de la legislación ambiental respectiva realizaron este proceso únicamente en algunos de sus componentes principales y en aquellos en los que se consideró en el presupuesto final, tal es el caso de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar para lo cual es preciso el diseño de obras hidráulicas debido a que las aguas de no contacto proveniente de la precipitación infiltra hasta la base del dique generando una inestabilidad de los depósitos, anudado a ello el caudal del Río Rumiallana está erosionando la base del muro de pirca y sacos rellenos de un material desconocido (únicas defensas rivereñas de los depósitos de relaves).

1.5 IMPORTANCIA

Por otro lado, la importancia de la ejecución de un proyecto de investigación orienta a responder las expectativas sociales y otros, que se espera alcanzar y que permite su desarrollo o la atención de una necesidad, es decir, los objetivos que se plantean obtener por la aplicación del proyecto. A continuación, se presenta la importancia por la cual se ejecutará el presente proyecto.

Los diques, bases y coberturas de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar se encuentran actualmente muy degradadas por los efectos de meteorización, por ello la ejecución de la evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas permitirá que las aguas de no contacto sean derivadas hacia el cauce de Río Rumiallana y de esta manera evitar que continúe debilitándolos, y como consiguiente establecer una adecuada estabilidad hidrológica, cumplimiento con la normativa actual sobre los cierres de pasivos ambientales.

1.6 LIMITACIONES

Las limitaciones son definidas como cualquier factor que inhibe o restringe la ejecución de actividades, es decir, enmarca los aspectos que quedan fuera de su cobertura, durante la

ejecución de un proyecto, las principales limitaciones con que se afronta son: de tiempo, de recursos y económicos. Para motivos del estudio, se realizó el listado de las limitaciones identificadas para la ejecución del proyecto.

Principalmente las limitaciones identificadas son de recursos, debido a que, la información con la que se cuenta únicamente refiere a aspectos generales sobre la construcción, operación y cierre parcial de estos componentes, por ello, a continuación, se presenta la información faltante para el desarrollo del proyecto de investigación:

- Falta de información del material depositado, cantidad exacta, así como, su composición y característica; esto permitiría determinar si el material es generador o no de acidez.
- No se cuenta con informes sobre estabilidad física, así como de la cota final de cierre.
- El periodo de toma de muestra de precipitación es a partir de 1989

CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 MARCO REFERENCIAL

El marco referencial es aquel ítem en el que se recopila las consideraciones teóricas y las investigaciones previas que se tomaron como parte del proyecto o investigación, asimismo se definen los conceptos que se utilizaron para la argumentación de la hipótesis propuesta, es decir estudios previos cuyos resultados que contengan información relevante y que contribuya al desarrollo del presente proyecto de investigación.

2.1.1 Antecedentes de la Investigación

El proyecto de investigación se desarrolla en base a la resolución de una realidad problemática, sin embargo, los procedimientos, criterios y objetivos seleccionados fueron determinados considerando informes de investigación relacionados al tema actual, el tipo de informe sobre los que se enmarcó fueron artículos científicos actuales sobre temas hidrológicos y diseño de obras hidráulicas. A continuación, se presentan los informes usados para describir las delimitaciones del presente estudio.

2.1.1.1 Proyectos de Investigación Tesis

Los proyectos de investigación a nivel Tesis son la conclusión, proposición, opinión o teoría que se mantiene con razonamientos, es también de carácter científico para obtener el título de una carrera universitaria, esta tiene como finalidad de ampliar el conocimiento humano o una revisión crítica aplicando lo aprendido en la carrera, mediante el uso de métodos científicos; para el presente proyecto se realizó la revisión de 02 (dos) proyectos a nivel Tesis de temas relacionados.

- Ernesto Adolfo Valladares Martel, Tesis para optar el grado de título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, 2017.¹⁰

¹⁰ Fuente: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3367>

RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA EN CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Resumen:

El presente estudio tiene por objetivo conocer el impacto del cambio climático en la respuesta hidrológica de la cuenca del Río Santa para el periodo (2050 – 2059) usando el escenario de trayectoria de concentración representativa 4.5. Para conocer las proyecciones futuras de escurrimiento superficial y sedimentos en suspensión en la estación de control Condorcerro se utilizó el modelo hidrológico semi - distribuido SWAT (Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua), este modelo fue calibrado para simular caudales en la zona de estudio, obteniéndose valores de NS, PBIAS, RSR y R2 de 0.89, 8.26, 0.34 y 0.92 respectivamente, posteriormente se realizó la calibración de los sedimentos, alcanzando valores de NS, PBIAS, RSR y R2 equivalentes a 0.64, -7.42, 0.6 y 0.66 respectivamente. Los caudales y sedimentos simulados fueron comparados con los datos observados en la estación de control Condorcerro, durante el periodo 2006 – 2011 para calibración y 2012 – 2015 para validación. El estudio utilizó ocho modelos de circulación general los cuales fueron sometidos a una reducción de escala de tipo estadística y proyectada al periodo de interés (2050 - 2059). Los resultados obtenidos para la disponibilidad hídrica al 50% de persistencia indican un incremento de +18% durante el periodo húmedo y +7% durante el periodo seco; la disponibilidad hídrica al 75% de persistencia incrementa un +10% durante el periodo húmedo y +2% durante el periodo seco; la oferta hídrica al 90% de ocurrencia muestra +6% en periodo húmedo y -5% en periodo seco. A nivel mensual enero se proyecta como el mes que experimenta una mayor variación del caudal medio, con un incremento del 38% mientras que mayo y Setiembre indican reducciones de -6% y -5% respectivamente. Finalmente, el decenio futuro (2050 - 2059) proyecta un +19% de agua, así como un +9.25% de sedimentos respecto al decenio observado en la estación Condorcerro.

- Erick Vladimir Lobo Reyes, Tesis para optar el grado de título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, 2017.¹¹

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A DESBORDES DE LA CUENCA BAJA DEL RIO COATA – PUNO

Resumen:

Para iniciar el presente trabajo se realizará el acopio de documentación bibliográfica y estudios de la zona, ubicación de estaciones meteorológicas e hidrométricas, de los cuales se solicitará datos de precipitaciones y caudales máximos diarios a las instituciones pertinentes como son el SENAMHI (servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú) y el ANA (autoridad nacional del agua), adicional a esto se obtendrán imágenes satelitales.

Al tener las precipitaciones máximas mensuales a 24 horas de las estaciones se procederá a realizar un análisis de datos dudosos, por otro lado, con la imagen satelital que se obtendrá anteriormente se realizará la delimitación de la cuenca del río Coata con la ayuda del software ArGis 10.2.

Con la cuenca ya delimitada se procederá a determinar la distribución de la precipitación por el método de Polígono de Thiessen, para posteriormente ajustar estas precipitaciones máximas distribuidas a una ecuación de tendencia, lo que finalmente nos permitirá obtener las precipitaciones máximas a diferentes periodos de retorno.

Las precipitaciones máximas a diferentes periodos de retorno sumado a algunas características de la cuenca nos permitirán calcular los caudales máximos a diferentes periodos de retorno, para ello se utilizará el software HEC HMS 5.1, para determinar la confiabilidad del modelo se calibrará con la ayuda de datos registrados in situ en una estación hidrométrica. Los caudales máximos a diferentes periodos de retorno, sumado a la topográfica de la zona permitirá simular el comportamiento del cauce del río, que permitirá identificar las áreas que se encuentran en peligro al desborde del río Coata. Finalmente, para identificar las zonas vulnerables. Al concluir el presente trabajo se espera identificar las zonas

¹¹ Fuente: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3366>

afectadas por desbordes ya sean áreas de cultivo, población, infraestructura, etc. que permita posteriormente generar planes de control u obras con el fin de reducir la vulnerabilidad frente a este peligro.

2.1.1.2 Artículo Científico

Un artículo científico es un informe escrito que comunica por primera vez los resultados obtenidos de la aplicación de una investigación, estas son publicadas en revistas científicas que componen la literatura primaria de la ciencia, para el presente proyecto se realizó la revisión de 01 (un) artículo con referencia a los temas relacionados.

- Cesar Adolfo Alvarado Ancieta, Revista Ingeniería hidráulica en México, México, 2018.¹²

AGRADACIÓN Y DEGRADACIÓN DEL RÍO PIURA – REALINEAMIENTO DEL CAUCE PRINCIPAL INFERIOR, FENÓMENO EL NIÑO

Resumen:

La erosión de la cubierta vegetal en la cuenca alta acompañada del fenómeno El Niño, altera los regímenes hidrológicos y de transporte de sedimentos en el río Piura, en el extremo norte de Perú. Una presa y obras de encauzamiento existentes en la cuenca baja producen el desequilibrio en la forma de planta y geometría del río; sin embargo, dichas obras son necesarias para la protección contra inundaciones, a fin de evitar daños sustanciales en la propiedad, tales como infraestructura y áreas de irrigación existentes. Finalmente, la desviación del curso o cauce natural de un río en su cuenca baja genera un problema complejo en la morfología del río. Como consecuencia de esto sucede el fenómeno de agradación-degradación, lo cual significa tener que adoptar medidas de mitigación para luchar contra los cambios de los niveles de fondo del río si no se toman en cuenta medidas adecuadas para resolver el problema. Una efectiva evaluación del cauce del río en el proceso de agradación-degradación de la cuenca baja requiere una eficaz comprensión de los procesos morfológicos que envuelven el ajuste de la geometría del cauce y de las

¹²Fuente: <https://biblat.unam.mx/es/revista/ingenieria-hidraulica-en-mexico/articulo/agradacion-y-degradacion-del-rio-piura-realineamiento-del-cauce-principal-inferior-fenomeno-el-nino-peru>

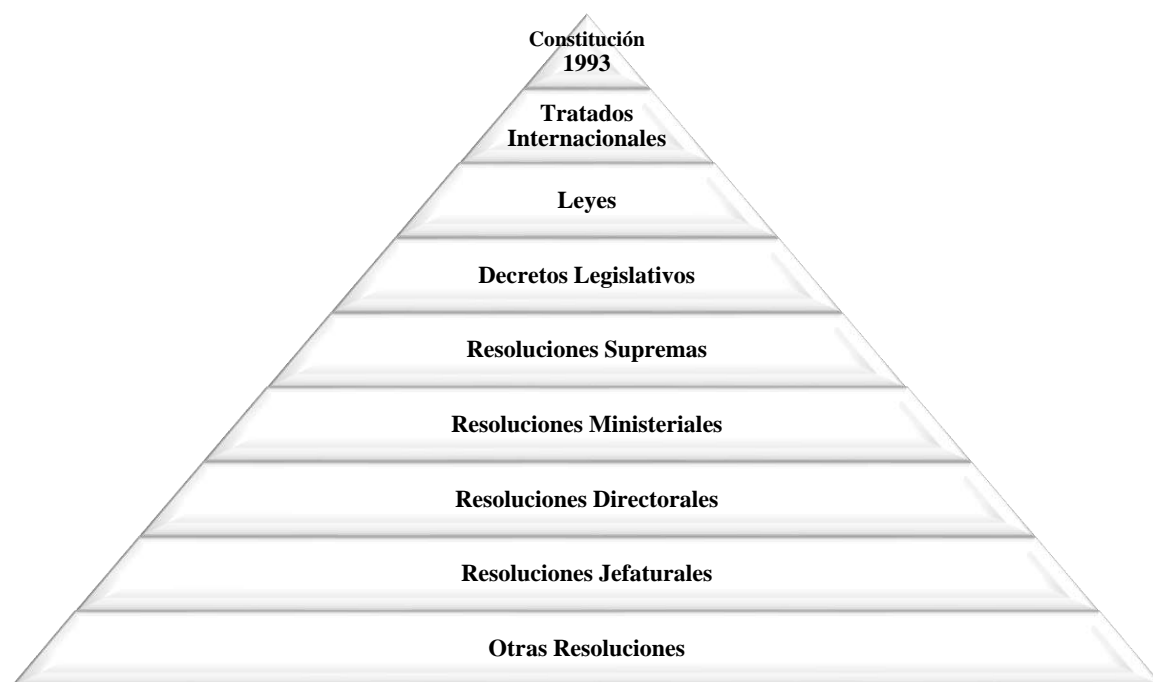
condiciones de equilibrio proyectadas. El objetivo de esta investigación fue el estudio del proceso de agradación-degradación del cauce del río Piura y el realineamiento del cauce principal, y por ende la extensión del encauzamiento del río.

2.2 MARCO LEGAL

El marco legal, es el termino con el que se define al conjunto de provisiones regulatorias y leyes interrelacionadas entre sí, es también conocido como marco jurídico, que contempla un conjunto de disposiciones, leyes, reglamento y acuerdos. Estas tienen de base la Constitución siendo la suprema legislación y se completa con legislaciones promulgadas por el parlamento o legislatura, los códigos penales, las regulaciones como código de conducta y ética.

A su vez, el marco legal se encuentra estructurado en base a la pirámide de Kelsen, diseñado por el jurista y filósofo Hans Kelsen, es un método jurídico estricto, mediante se categoriza las diferentes las diferentes clases de normas ubicándolas en una forma fácil de distinguir cual predomina sobre las demás. Esta fue adaptada a las normas legales peruanas teniendo como resultado el Gráfico 2.

Gráfico 2 Pirámide de Kelsen del Perú



Fuente: Elaboración propia en base a lo detallado por el Poder Legislativo, 2018.

Cabe mencionar que para el presente proyecto se tomó como referencia la normativa legal con referencia a aspectos ambientales y mineros en todos los niveles anteriormente mencionados.

2.2.1 Constitución Política del Perú (1993)

La constitución política del Perú es la ley fundamental de la organización del estado, está a cargo de la asamblea constituyente, responsables de la aprobación o refrenda, ésta contiene derechos y deberes, con el fin de regular las relaciones entre los poderes públicos y los ciudadanos en lo civil, penal, tributario, laboral, social, económico, político y ambiental. De este se desprende el eje de la normativa ambiental sobre la que se estructuran las demás normativas a diferente nivel, la misma que se presenta a continuación.

En el artículo 2, inciso 22 se estipula: *“Toda persona tiene derecho.... A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida...”*

2.2.2 Leyes

Las leyes son normas de carácter general, abstractas y obligatorias, sirven para instaurar el marco normativo de instituciones del estado, pueden ser presentadas por cualquier persona natural hasta el presidente de la república, pueden clasificarse en leyes orgánicas y leyes ordinarias. A continuación, se presentan las leyes consideradas durante la elaboración del presente proyecto de investigación:

- Perú, Poder Legislativo, Ley N° 28611, Ley general del Ambiente.

Es una norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú, establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así como el cumplimiento del deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país (artículo 1).

- Perú, Poder Legislativo, Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

La ley tiene por finalidad:

- La creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) como un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión.
- El establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas, y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de proyectos de inversión.
- El establecimiento de los mecanismos que aseguren la participación ciudadana en el proceso de evaluación de impacto ambiental.

Esta ley comprende los proyectos de inversión públicos y privados que impliquen actividades, construcciones u obras que puedan causar impactos ambientales negativos, según disponga el reglamento de esta

- Perú, Poder Legislativo, Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.

Tiene como función regular el uso y gestión de los recursos hídricos, comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta, se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable.

- Perú, Poder Legislativo, Ley N° 28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera.

Esta ley tiene por objetivo la identificación de los pasivos ambientales en la actividad minera, la responsabilidad y el financiamiento para la remediación de las áreas afectadas por éstos, destinados a su reducción y/o eliminación, con la finalidad de mitigar sus impactos negativos a la salud de la población, al ecosistema circundante y la propiedad.

2.2.3 Decreto Legislativo

El decreto legislativo es una norma jurídica con rango de ley, emana del poder ejecutivo en virtud de la delegación expresa efectuada por el poder legislativo, para el presente proyecto se consideró el siguiente:

- Perú, Ministerio del Ambiente, Decreto Legislativo N° 019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

Este decreto legislativo tiene por objetivo lograr efectiva identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio de proyectos de inversión, así como de políticas, planes y programas, a través del establecimiento del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental – SEIA.

2.2.4 Decreto Supremo

El decreto supremo es una norma de carácter general reglamenta normas con rango de ley o regula la actividad sectorial funcional o multisectorial funcional a nivel nacional, asimismo en algunos casos permite que el gobierno tome decisiones urgentes y con procedimiento rápidos, a continuación, se presentan las consideradas para el proyecto de investigación.

- Perú, Ministerio de Energía y Minas, Decreto Supremo N° 040-2014-EM, Reglamento de Protección y Gestión ambiental para las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero.

El presente reglamento tiene por finalidad asegurar que las actividades mineras en el territorio nacional, se realicen salvaguardando el derecho constitucional a disfrutar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida, en el marco de a libre iniciativa privada y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, asimismo tiene por objetivo regular la protección y gestión ambiental de las actividades de explotación, beneficio, labor general, transporte y almacenamiento minero.

- Perú, Ministerio de Energía y Minas, Decreto Supremo N° 036-2016-EM, Modificación del Reglamento para el cierre de Minas, aprobado por el Decreto Supremo N° 033-2005-EM.

El objetivo de este decreto supremo es la de modificar los artículos 12 y 17, así como de la incorporación de los artículos 46 – A y 46 – A al reglamento para el cierre de minas, aprobado por decreto supremo N° 033-2005-EM, en la que se detalla como prioridad la prevención, minimización y el control de los riesgos y efectos sobre la salud, la seguridad de las personas, el ambiente, el ecosistema circundante y la propiedad, que pudieran derivarse del cese de las operaciones de una unidad minera.

- Perú, Ministerio de Energía y Minas, Decreto Supremo N° 042-2017-EM, Reglamento de Protección Ambiental para las Actividades de Exploración Minera.

Este decreto supremo tiene como finalidad asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental sobre prevención, minimización, mitigación, rehabilitación, remediación y si corresponde compensar los impactos ambientales negativos derivados de las actividades de exploración minera, así como de las actividades de cierre y post cierre que correspondan.

- Perú, Ministerio del Ambiente, Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire y establecen disposiciones complementarias.

Mediante este decreto supremo se aprueba los estándares de calidad ambiental para aire, aplicables en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de estos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para aire se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

- Perú, Ministerio del Ambiente, Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.

Mediante este decreto supremo se realiza la compilación de las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

- Perú, Ministerio del Ambiente, Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.

Mediante el presente decreto supremo se aprueban los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo, estos constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios.

2.2.5 Resolución Ministerial

Son normas de carácter específico aprobadas por un ministerio de estado respecto de las políticas nacionales y sectoriales a su cargo, entre otros; es decir, se trata de una normativa o de una regla que dicta un ministerio de acuerdo con las facultadas que le otorga la constitución.

- Perú, Ministerio del Ambiente, Resolución Ministerial N° 014-2011-MINAM, Plan Nacional de Acción Ambiental.

El PLANAA es un instrumento de planificación ambiental nacional de largo plazo, el cual se formula a partir de un diagnóstico situacional ambiental y de la gestión de los recursos naturales, así como de las potencialidades del país para el aprovechamiento y uso sostenible de dichos recursos; del mismo modo, se basa en el marco legal e institucional del Sistema Nacional de Gestión Ambiental; asimismo, presenta la visión del país en materia ambiental al 2021, siendo sus objetivos los mismos que se proponen lograr en la Política Nacional del Ambiente, los cuales han recogido, entre otros, lo establecido en el Acuerdo

Nacional principalmente con relación a la gestión ambiental, así como en la propuesta del Pla Bicentenario.

2.2.6 Resolución Jefatural

Son actos que expresan situaciones adoptada por el funcionamiento del nivel respectivo. Es expedida por los directores administrativos en función a las atribuciones que señala las respectivas leyes orgánicas del sector y reglamento de organización y funciones; es decir, son documentos que emana de las autoridades en ejercicio de sus funciones, sobre asuntos de su competencia, y se basan en dispositivos legales específicos (constitución, leyes, decretos, etc.)

- Perú, Ministerio de Agricultura y Riego, Autoridad Nacional del Agua, Resolución Jefatural, N° 180-2016-ANA, Glosario de Recursos Hídrico.

Esta resolución ministerial aprueba el glosario de términos sobre recursos hídricos considerados por la Autoridad Nacional del Ana para el desarrollo de sus funciones y emisión de documentos de todas las áreas que pertenecen a esta institución.

2.2.7 Guías

Las guías son documentos que incluyen los principios o procedimientos para encauzar una cosa o el listado con informaciones que se refieren a un asunto específico.

- Perú, Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros, Guía para la elaboración de Planes de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros

Esta Guía presenta un formato estándar para la preparación de los planes de cierre de pasivos ambientales mineros. Requiere de un plan de cierre detallado a nivel de factibilidad, que incluye la estimación de costos, así como las actividades de rehabilitación. Después del desmantelamiento y rehabilitación del área de los pasivos ambientales, se requieren informes semestrales de mantenimiento, monitoreo y seguimiento post - cierre.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual es la sección del informe en la que se detalla los modelos teóricos, conceptos, argumentos e ideas que se han desarrollado en relación con un tema, cuyas funciones describen características y explican posibles procesos asociados a él, asimismo de proponer una nueva mirada teórica que consideramos relevante en relación con el objetivo.

En el presente proyecto el marco conceptual considerará el detalle de las etapas del proyecto planteadas y de la descripción de conceptos que enmarcan el proyecto generando un mejor entendimiento de este.

2.3.1 Etapas del Proyecto

La ejecución del proyecto consideró el desarrollo de 04 etapas; iniciando con la etapa de planificación, seguidamente de la etapa de recolección de información, la etapa de procesamiento de datos y finalmente la etapa de análisis de resultados, los mismo que se describen a continuación, posteriormente en el Gráfico 3 se presenta el diagrama de flujo de dichas etapas.

2.3.1.1 . Etapa de Planificación

La etapa de planificación consideró la determinación de los datos requeridos por los diversos institutos, para los que se consideran, Consultora ambiental RHIND GROUP S.A.C., Compañía Minera Vichaycocha S.A.C., Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), Ministerio del Ambiente (MINAM) y Ministerio de Energía y Minas (MINEM), cabe mencionar que cada uno de estos institutos presentó un proceso de requerimiento de información diferente.

En paralelo, se contempló la elaboración de la estructura establecida por la Universidad Alas Peruanas para la presentación del proyecto de investigación Final (Tesis); anudado a ello y debido a que se consideró el uso de una nueva computadora portátil se procedió en la instalación de los softwares requeridos y la adaptación para el desarrollo del proyecto.

2.3.1.2 Etapa de Recolección de Información

Posterior a la etapa de planificación y una vez conocido los datos requeridos, se procedió a realizar el requerimiento de información a cada uno de los institutos identificados, mediante la presentación de documentos o formatos de solicitud, dirigida al área correspondiente donde se detalló con precisión el tipo de información necesaria, cada mención, que el tiempo de espera varía en cada uno de estas entidades e institutos.

Esta información puede ser de carácter cualitativo y cuantitativo; para el caso de SENAMHI se solicitó los datos numéricos sobre los registros históricos meteorológicos en especial la precipitación desde el año 1989, pues se precisa de un periodo de registro de datos de más de 20 años para sus tratamientos estadísticos; en el caso de RHIND GROUP S.A.C. se solicitó información relevante sobre, el memo técnico de la salida de campo y su respectivo registro fotográfico; anudado a ello se tenía conocimiento de la existencia de una versión editable del plan de cierre (se desconoce si se presentó a la autoridad competente) de la unidad minera El Pilar, por lo tanto fue imperativo solicitar dicha información a Compañía Minera Vichaycocha S.A.C. para el diseño final de cierre; finalmente y como datos complementarios se solicitó al Ministerio de Energía y Minas estudios ambientales cuya área de estudio integre zonas aledañas al parea del proyecto.

2.3.1.3 Etapa de Procesamiento de Datos

Seguidamente, se procedió con el procesamiento de la información obtenida, la data meteorológica mediante el uso de procesos estadísticos para su validación, el cual incluye el cálculo de vector regional, completación y extensión de datos, variabilidad temporal de precipitaciones, y análisis de precipitación máxima en 24 horas; una vez concluido su tratamiento, los resultados fueron modelados mediante el uso de softwares como HEC-HMS y HEC-RAS. El resultado final fueron las características hidrológicas de la unidad hidrográfica sobre la que se emplaza los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera El Pilar

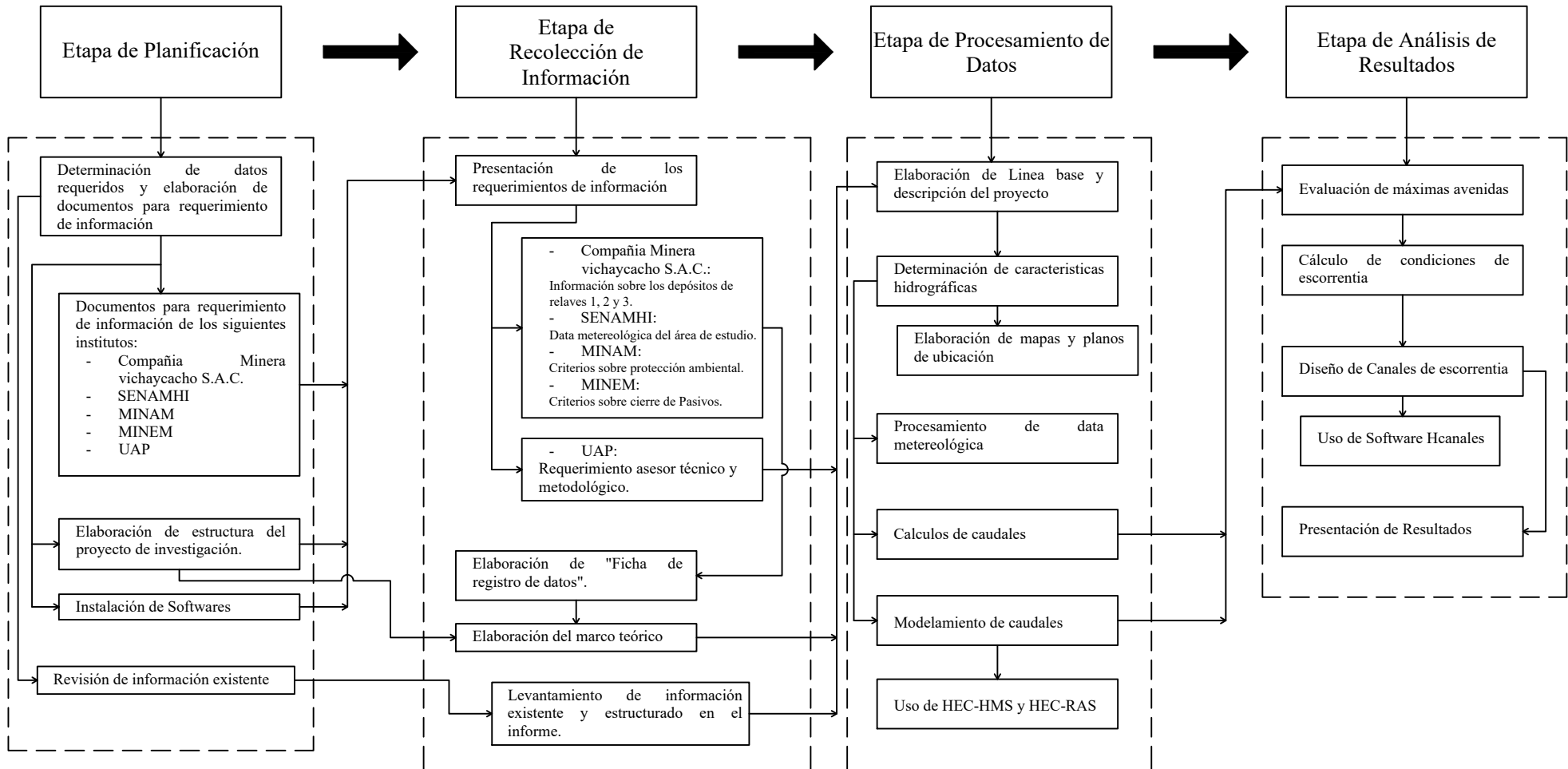
2.3.1.4 Etapa de Análisis de Resultados

Finalmente, una vez obtenido las características hidrológicas de la microcuenca sobre la que se encuentra el proyecto de investigación se determinó los caudales de las quebradas

sobre las que se encuentran delimitada los depósitos de relaves 1, 2 y 3 para posteriormente mediante el uso del software Hcanales se calculó los parámetros de las obras hidráulicas que permita derivar las aguas de no contacto hacia el cauce del río Rumiallana.

No obstante, como parte de la revisión de la información solicitada y de la normatividad sobre el cierre de pasivos ambientales, se estableció el diseño de coberturas que impidan la infiltración de aguas de precipitación hacia la base de los depósitos de relaves, asimismo se especifican los tipos de materiales, y el ancho de cada uno.

Gráfico 3 Diagrama de Flujo de las etapas del Proyecto



2.3.2 Conceptos Básico

El concepto básico es un requerimiento básico para realizar el proyecto de investigación, cuya función es sentar las bases para la introducción elementos más complejos, asimismo, permite la comprensión de este durante el proceso de planteamiento, elaboración y presentación de resultados, estos pueden agruparse en 03 (grupos): medio ambiente, recursos hídricos e hidrometeorológicos, los cuales se presentan a continuación:

2.3.2.1 Medio Ambiente¹³

La definición de los términos usados en la conceptualización del medio ambiente, han sido extraídos del glosario de términos del Ministerio del Ambiente, de manera que, facilite el entendimiento de la identificación y formulación de los objetivos a través de la evaluación de la realidad problemática, así como de la justificación e importancia de la aplicación del proyecto de investigación; los mismos que se presentan a continuación:

- Acuífero

Cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectados entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo.

- Ambiente terrestre

Ambientes localizados en tierra. Por ejemplo. - bosques, selvas, desiertos.

- Ambiente acuático

Ambientes localizados en cuerpos de agua. Por ejemplo. - ríos, arroyos, lagos, lagunas, esteros, canales.

¹³ Perú, Ministerio del Ambiente, D.S. N° 002-2013-MINAM, Estándar de Calidad Ambiental para suelo.
Perú, Ministerio del Ambiente, D.S. N° 085-2014-MINAM, Guía para la Elaboración de los Planes de Descontaminación de Suelo.
Perú, Poder Legislativo, Ley N° 27446, Ley del sistema de evaluación de impacto ambiental.

- Agua Subterránea

Se consideran aguas subterráneas las que, dentro del ciclo hidrológico, se encuentran en la etapa de circulación o almacenadas debajo de la superficie del terreno y dentro del medio poroso, fracturas de las rocas u otras formaciones geológicas, que para su extracción y utilización se requiere la realización de obras específicas.

- Comunidad

Grupo de poblaciones de diferentes especies que interaccionan entre sí y que habitan en una misma área.

- Contaminación

Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud.

- Contaminante

Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede la del nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente.

- Contaminante de Preocupación

Contaminante elegido por su toxicidad y peligrosidad para realizar la caracterización del riesgo.

- Contaminante de Preocupación Potencial

Sustancia con propiedades potencialmente dañinas para la salud humana o el ecosistema determinados en la fase de identificación.

- Degradación

Proceso de descomposición de la materia, por medios físicos, químicos o biológicos.

- Derrame

Cualquier descarga, liberación, rebose o vertido debido a una práctica inadecuada o hecho accidental de hidrocarburos o líquidos peligrosos en el suelo.

- Diversidad Biológica

Variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

- Ecosistema Frágil

Son ecosistemas importantes, con características y recursos singulares, incluyendo sus condiciones climáticas importantes y su relación con desastres naturales. Son ecosistemas en peligro de que sus poblaciones naturales, su diversidad o sus condiciones de estabilidad decrezcan peligrosamente o desaparezcan debido a factores exógenos. Comprenden, entre otros, desiertos, tierras semiáridas, montañas, pantanos, bofedales, bahías, islas pequeñas, humedales, lagunas altoandinas, lomas costeras, bosques de neblina y bosques relictos.

- Infiltración

Penetración de un líquido a través de los poros o intersticios de un suelo, cualquier material poroso natural o sintético.

- Lixiviado

Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

- Medios Ambientales

Cualquier elemento natural (suelo, el agua, el aire, las plantas, los animales o cualquier otra parte del ambiente) que participa en los flujos de materia y energía en el sistema y que puede contener contaminantes. También referidos como compartimientos.

- Población

Grupo de organismos de la misma especie que viven en un área definida y en un tiempo concreto.

- Sedimento

Materiales de depósito o acumulados por arrastre mecánico de las aguas superficiales o el viento depositados en los fondos marinos, fluviales, lacustres y depresiones continentales.

- Textura del Suelo

Es la propiedad física derivada de la composición granulométrica, constituida por arena, limo y arcilla, cuyos diámetros están contempladas en la escala de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo.

2.3.2.2 Recursos Hídricos¹⁴

Los conceptos referentes a recursos hídricos permiten, de igual forma que los conceptos sobre medio ambiente, detallar términos específicos del tema general sobre el que se plantea la descripción de la realidad problemática y el planteamiento metodológico del presente proyecto de investigación los mismo que se presentan a continuación:

- Aforo de Caudales

Conjunto de operaciones para determinar el caudal en un curso de agua para un nivel observado.

¹⁴ Perú, Poder Ejecutivo, Ministerio de Agricultura y Riego, Autoridad Nacional del Agua, Resolución Jefatural N° 180-2016-ANA (07/07/2016)- Glosario de Recursos Hídricos.

- Agua subterránea

Agua que se encuentra o corre por los acuíferos, que se mueve lentamente desde lugares con alta elevación hacia lugares de menor elevación.

- Agua Superficial

Agua procedente de la lluvia, deshielos o nieve (ríos, lagos, charcas, corrientes, océanos, nieve, hielo, mares, estuarios y humedales.

- Año hidrológico

Periodo continuo de doce meses seleccionados de manera que los cambios globales en el almacenamiento sean mínimos, por lo que la cantidad sobrante de un año al siguiente se reduce al mínimo.

- Año húmedo

Año en que la precipitación o el caudal son significativamente superiores a los del año medio.

- Año seco

Año durante el cual las precipitaciones o el caudal de los cursos de agua son significativamente inferiores a los del año medio.

- Área de drenaje

Parte de una cuenca que contribuye a la escorrentía directa.

- Balance hídrico

Comparación entre la oferta de agua y demandas de agua para todos los usos.

- Caudal máximo

Caudal máximo de una determinada corriente de agua representado en un ideograma de caudales para un fenómeno específico.

- Hidrología

Ciencia que estudia las aguas superficiales y subterráneas de la Tierra, su aparición, circulación y distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, sus propiedades biológicas, químicas y físicas y sus reacciones con el entorno, incluida con los seres vivos.

- Isoyeta

Línea que se traza en los mapas para unir puntos que reciben la misma precipitación

- Presa

Barrera estancada construida generalmente en el cauce de un río para fines de almacenamiento de agua, cuyo eje estará ubicado dentro de la boquilla en su posición óptima, desde los puntos de vista topográfico, geológico y geotécnico.

2.3.2.3 Hidrometeorología¹⁵

Tal como se mencionó anteriormente, la definición de conceptos sobre medio ambiente y recursos hídricos permite el mejor entendimiento sobre los aspectos relevantes a las características de los objetivos y conclusiones del proyecto de investigación, sin embargo, los conceptos hidrometeorológicos contribuyen a la comprensión de los procesos para la obtención y tratamiento de datos durante el proceso de elaboración del proyecto de investigación, los cuales se presentan a continuación:

- Atmosfera

Es la mezcla de gases llamada aire y que en ella se hallan en suspensión cantidades variables de partículas sólidas y líquidas.

- Climatología

¹⁵ Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela de Postgrado, Maestría en Recursos Hídricos, Ingeniero Eduardo A. Chavarri Velarde

Es la ciencia que estudia el ambiente atmosférico constituido por una serie de estados de la atmósfera sobre un lugar determinado y según su habitual sucesión, cabe mencionar que la meteorología y climatología forman dos grupos paralelos de distinta significación.

- Hidrometeorología

Es la ciencia que estudia los procesos atmosféricos que afectan los recursos hídricos de la tierra. Según la World Meteorological Organization:

“La hidrometeorología trata del estudio de las fases atmosféricas y terrestres del ciclo hidrológico y en especial de sus interrelaciones”

- Meteorología

Es la ciencia que estudia la atmósfera terrestre mediante el análisis físico y matemático de los fenómenos que en ella ocurre.

- Viento

Es el aire en movimiento y se debe al desigual calentamiento y enfriamiento de la superficie terrestre, estos transportan energía y vapor de agua a través de la atmósfera

2.4 MARCO TEÓRICO

El marco teórico es el conjunto de ideas, procedimientos y teorías que sirven a un investigador para el desarrollo de su actividad, constituye la presentación de distintas teorías, y permite al investigador tener una visión completa de los planteamientos teóricos sobre los cuales se fundamenta el problema y la metodología de estudio en las fases de observación, experimentación y conclusión. A continuación, se presentan los ítems identificados para el presente proyecto de investigación:

2.4.1 Antecedentes de la Unidad Minera El Pilar

En el año de 1947 Compañía Minera el Pilar adquiere el derecho de concesión minera en zonas con indicios de explotación minera desde la época incaica y colonial; en el año de 1949 entra en funcionamiento la Planta Concentradora El Pilar, que trata mediante el proceso de flotación, los minerales sulfurosos de plomo y zinc, a una capacidad de 40 TMD, cabe

mencionar que al no conocerse el inicio de operación de los depósitos de relaves, es muy probable que estos inicio su operación en paralelo con la Ex – Planta Concentradora descrita; en el año de 1959 se amplía en un 50% la capacidad productiva El Pilar de 80 a 100 TMD, para esta fecha se contaba con un periodo de 10 año de disposición de relaves; para el año de 1974 se arrendaron las concesiones mineras y la Planta de Beneficio de propiedad de la Compañía Minera El Pilar a dos empresas, continua la operación minera; en el año 1987 la planta concentradora, a cargo de empresas arrendadas, amplía su capacidad a 150 TMD, es probable que la disposición de los relaves haya continuado en las misma zona, pues no hay evidencia de otros depósitos de relaves cercanas; finalmente en el año 1991 se paralizan las labores, manteniéndose únicamente vigilancia y mantenimiento ligero.

2.4.1.1 Composición de relaves

El relave corresponde al residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación, este residuo, también conocido como cola, es transportado canaletas o cañerías hasta lugares especialmente habilitados o tranques, donde el agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito estratificado de materiales finos.¹⁶

Los depósitos de relaves 1, 2 y 3 son subproductos generados por la extracción y procesamiento de minerales en la unidad minera el Pilar, donde principalmente se extraía plomo y zinc, por ello se concluye que estos depósitos pudiesen contener altas concentraciones de estos metales, así como de cadmio y cobre.

2.4.2 Evaluación de Recursos Hídricos

La evaluación de recursos hídricos tiene como objetivo describir, evaluar, cuantificar y simular el funcionamiento de una unidad hidrográfica como un sistema hidrológico integral de los sucesos del ciclo hidrológico, analizando los principales componentes hidrometeorológicos como precipitación, temperatura, evapotranspiración, y la escorrentía superficial como parámetro principal.

¹⁶ Chile, Ministerio de Minería, link <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-r/relave/>

2.4.2.1 Determinación de la unidad hidrográfica

Es la totalidad del área drenada por una corriente o sistema interconectado de cauces, tales que todo o parte del escurrimiento originado en tal área es descargado a través de una única salida.

2.4.2.2 Línea divisoria o parte aguas

Son líneas imaginarias del contorno de una cuenca hidrográfica que la separa de las adyacentes y concentra el escurrimiento originado por la precipitación en el sistema de cauces que fluye hacia la salida de tal cuenca. Existen 04 (cuatro) reglas para el trazado de la divisoria topográfica:

- La divisoria corta de forma perpendicular las curvas de nivel y pasa por los puntos de mayor altitud.
- Cuando la divisoria va aumentando de altitud, corta a las curvas de nivel por la parte convexa.
- Cuando la altitud de la divisoria va decreciendo, corta a las curvas de nivel por su parte cóncava.
- La divisoria nunca corta a una quebrada o río, excepto en los puntos de salida de la cuenca.

2.4.2.3 Área de la cuenca

El área de una cuenca es el área plana en proyección horizontal, encerrada por su divisoria, usualmente el área de una cuenca se determina mediante un planimétrico, sin embargo, con los avances tecnológicos que se tiene en softwares y hardware para el análisis topográfico resulta fácil digitalizar o escanear una cuenca y determinar sus características.

2.4.2.4 Forma de la cuenca

La forma de la cuenca es una de las características más influyentes sobre las características del hidrograma de descargas, principalmente en los eventos de máximas avenidas, su cálculo se realiza en base a los siguientes factores: coeficiente de compacidad, relación de elongación y el factor de forma.

2.4.2.5 Curva Hipsométrica

Es aquella que se constituye determinando el área entre curvas de nivel y representado en una gráfica el área acumulada por encima o por debajo de cierta elevación.

2.4.2.6 Pendiente de la cuenca

La pendiente de la cuenca tiene gran influencia en los valores de infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea en el flujo presente en los cauces, asimismo, es el factor físico que controla el tiempo del flujo sobre el terreno y tiene influencia directa con la magnitud de las avenidas o crecida de los ríos.

2.4.3 Medición de la precipitación

La medición de los datos sobre precipitación se realiza mediante la implementación del pluviómetro, el cual es un instrumento que se emplea en los centros de investigación meteorológica para la recogida y medición de la lluvia caída; las unidades usadas por los resultados están datos en milímetros (mm) por la unidad de tiempo deseada.

2.4.3.1 Estimación de la precipitación o promedio sobre un área

La determinación de los eventos meteorológicos requiere de la determinación de la magnitud de la precipitación promedio sobre un área o cuenca específica; cabe mencionar que, la precisión con la cual la lluvia de un área puede ser estimada depende principalmente de la densidad de la red pluviométrica, del tamaño y tipo de tormenta analizada y de la duración de la lluvia en estudio.

Principalmente se tienen 03 (tres) métodos para la estimación de la precipitación promedio sobre un área, los cuales son aplicables a intervalos muy diferentes como son la duración de la tormenta en días, meses o años, los cuales son:

- Método del promedio aritmético
- Método de los Polígonos de Thiessen
- Método de las Isoyetas

2.4.3.2 Completación de información de precipitación faltante

Los datos o valores faltantes de un registro de lluvias son bastante frecuentes y se deben a una gran variedad de causas, tales como, desperfectos en el equipo de medición, por enfermedad o sustitución del encargado de las observaciones, entre otros. Para ello se cuenta con los siguientes métodos de cálculo:

- Estimación de registros diarios y mensuales de precipitación
 - Método del US National Weather Service
 - Método Racional Deductivo
- Estimación de registros anuales faltantes
 - Método de la relación normalizada
- Método de regresión lineal simple
- Método de Generación aleatoria

2.4.3.3 Análisis de Tormentas y frecuencia

Una tormenta se define como el conjunto de lluvias que obedecen al mismo efecto meteorológico y posee características bien definidas con una duración extensa. Su determinación se calcula en base a los siguientes parámetros.

- Análisis de frecuencia de la precipitación
- Análisis de intensidad – duración – frecuencia

Para lo cual se utilizan los métodos estadísticos, en la que las series de datos son sometidas a un análisis de frecuencias basadas en la observación de eventos pasados, los resultados serán confiables, siempre que, exista suficientes datos disponibles y se acepta la condición de que el comportamiento del sistema continuará siendo el mismo durante el futuro; dentro de los métodos estadísticos podemos mencionar las siguientes distribuciones:

- Distribución Log-Normal de 2 parámetros y 3 parámetros
- Distribución de Log-Gumbel
- Distribución Pearson Tipo III

CAPÍTULO III PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 METODOLOGÍA

La metodología es el conjunto de mecanismo o procedimientos racionales, empleados para el logro de un objetivo o serie de objetivos que dirige una investigación científica, en este sentido la metodología funciona como el soporte conceptual que rige la manera en que aplicamos los procedimientos en una investigación.

Por otro lado, la metodología de la investigación es una disciplina de conocimiento encargada de elaborar, definir y sistematizar el conjunto de técnicas, métodos y procedimientos que se debe seguir durante el desarrollo y proceso de investigación para la producción de conocimiento.

3.1.1 Método de Investigación

Tal como se mencionó anteriormente, el método de investigación es la selección de las operaciones intelectuales y físicas que se desarrollan para llevar a cabo una investigación, de modo que, el presente proyecto se desarrolló en base al “método lógico deductivo”, donde se aplican los principios descubiertos a casos particulares a partir de enlaces juiciosos.

Según Campos y Sosa (2011), el método deductivo:

“Es propio de los racionalistas, parte de una ley general construida a partir de la razón, va de lo general a lo particular, de la teoría a los datos.”

Esto se concluye debido a que, a partir de los métodos de análisis estadísticos se realizó una evaluación y corrección de los datos emitidos en informes meteorológicos del SENAMHI y adecuándolos al área de estudio; posteriormente se realizó una evaluación hidrológica en base a los criterios de las ciencias meteorológicas centrando la descripción en la unidad hidrográfica en la que se encuentra el proyecto; y finalmente de las metodologías de cálculo hidráulico para canales abiertos se realizó el diseño de obras hidráulicas, en base a los resultados obtenidos hacia las características actuales de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera El Pilar.

3.1.1.1 Ubicación Geográfica

Tal como se mencionó en capítulos anteriores, los depósitos de relaves 1, 2 y 3 se encuentran ubicados en la región Pasco, provincia de Cerro de Pasco, distrito de Yanacancha, anexo Peña Blanca paraje Shintoragra, a una altitud promedio de 4 468 m.s.n.m., aproximadamente a 4.5 Km (kilómetros) al norte de la ciudad de Cerro de Pasco, y en la margen izquierda de la cabecera de la microcuenca del río Rumiallana; en el Cuadro 3 se presenta las coordenadas de ubicación de cada uno de los componentes.

Cuadro 3 *Ubicación geográfica de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3*

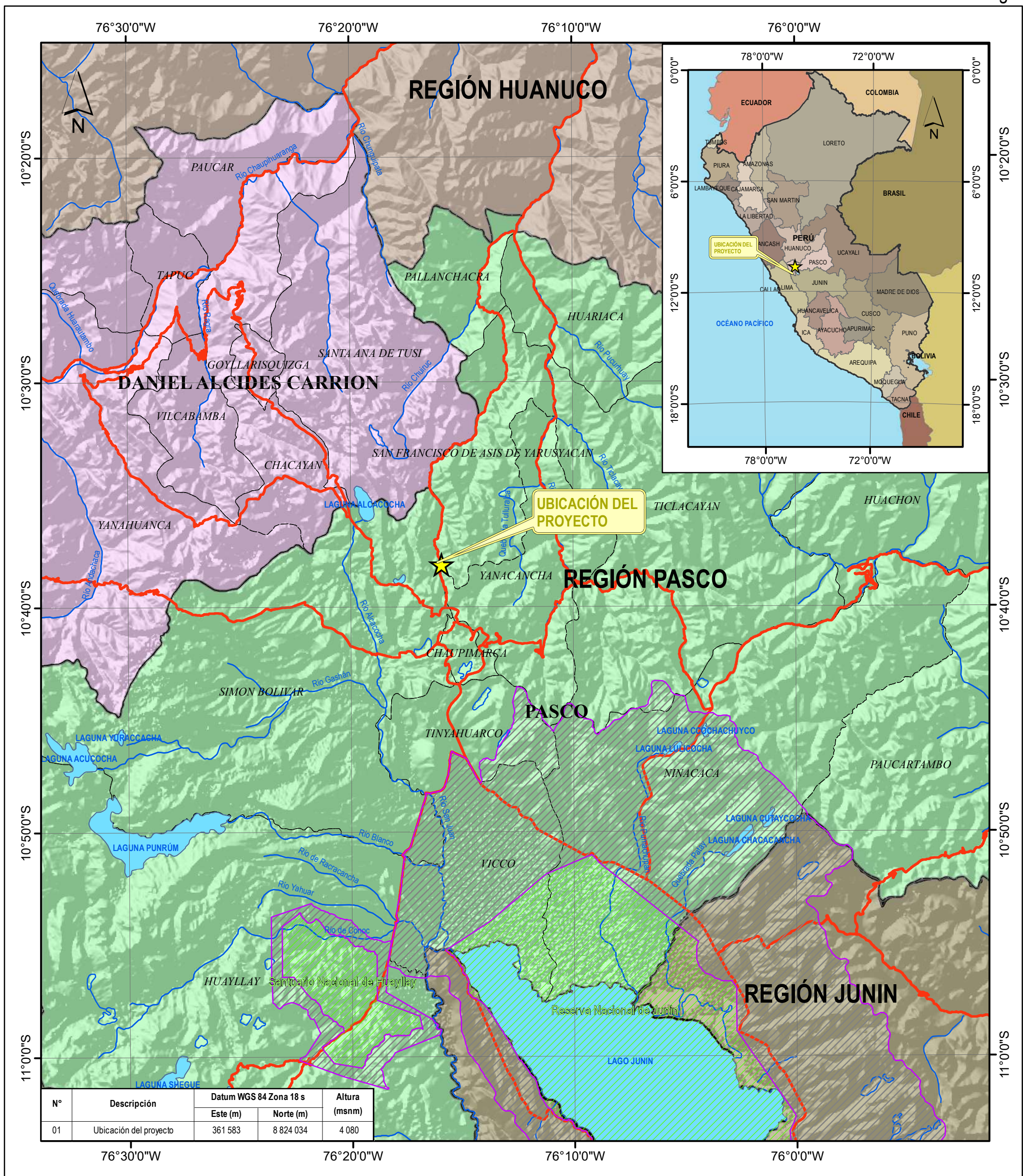
N°	COMPONENTE	COORDENADAS UTM (*)		ALTITUD (m.s.n.m.)
		NORTE (m)	ESTE (m)	
01	Depósito de Relave N°1	8 823 970.24	361 593.28	4 471
02	Depósito de Relave N°2	8 824 039.49	361 583.53	4 470
03	Depósito de Relave N°3	8 824 109.50	361 576.25	4 464

Nota:

- UTM: Universal Transverse Mercator
- (*): Datum WGS84 zona 18 L

Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por Compañía Minera El Pilar S.A.C., 2018.

Posteriormente en el Mapa 1 se presenta gráficamente la ubicación geográfica política de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera El Pilar.

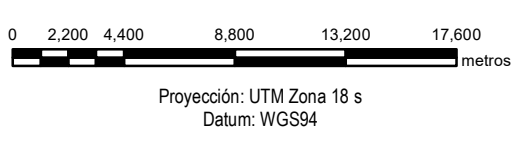


LEYENDA

- RÍOS
- RED VIAL NACIONAL
- LAGUNA
- ÁREA DE PROTECCIÓN NATURAL
- ZONA DE AMORTIGUAMIENTO
- UBICACIÓN DEL PROYECTO

LÍMITES

- DEPARTAMENTAL
- PROVINCIAL
- DISTRITAL



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
UBICACIÓN GEOGRÁFICA - POLÍTICA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04
SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:300,000
APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018

MAPA 1

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

3.1.1.2 Procedimiento de toma de muestra

El procedimiento de toma de muestra es un conjunto de procedimientos destinados a obtener una parte representativa cuantitativa de un todo, en base a la realidad problemática sobre la que se planteó el proyecto de investigación y sobre la que definió los problemas y objetivos de este. Sin embargo, cabe mencionar que los procedimientos de toma de muestra varían según el tipo de estudio que se desea ejecutar.

Para el presente proyecto de investigación se realizó la revisión sobre el listado de pasivos ambientales elaborado por el Ministerio de Energía y Minas aprobado mediante resolución ministerial N° 224-2018-MEM/DM con fecha 12 de junio del 2018, en cuyo anexo de inventario se presenta todos los pasivos ambientales minero identificados y codificados respectivamente, no obstante, los depósitos de relaves 1, 2 y 3 no se encuentran en dicho listado, y, por consiguiente, aun no se contempla en las medidas de cierre establecidas por el Estado Peruano.

Es por ello por lo que, como parte de los requerimientos establecidos en la normativa ambiental sobre cierre de pasivos ambientales mineros se realizó la evaluación hidrológica de los parámetros hidrometeorológicos con la finalidad de calcular y diseñar obras hidráulicas que permitan una adecuada estabilidad hidrológicas a nivel de cierre final para dichos componentes.

3.1.2 Tipo de Investigación

El tipo de investigación determina la aplicación de distintos criterios los cuales se clasifican en cuanto a: su finalidad, diseño de investigación, prolongación en el tiempo y énfasis en la naturaleza de los datos manejados. El presente proyecto de investigación está dirigido a cumplir el objetivo general y específicos de la investigación, que de acuerdo con sus características se considera una investigación del “tipo aplicada”, pues sus aportes están dirigidos a la comprensión y/o solución (si la requiere) de algún fenómeno o aspecto de la realidad problemática perteneciente al dominio de estudio de una disciplina científica en específico.¹⁷.

¹⁷ Sánchez Carlesi, Hugo. (1987). Metodología y diseños en la investigación científica.

Ello debido a que mediante el uso de las ciencias aplicadas como estadísticas y ambientales se plantea la solución mediante el manejo de datos hidrológicos con el uso aplicado de softwares para obtener como respuesta los cálculos de diseño y de esta manera plantear una solución viable a la realidad problemática.

3.1.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación del proyecto se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno o un evento de estudio, éste permite darle la dimensión al nivel de acuerdo con los objetivos establecidos, así mismo determina la manera de cómo el investigador aborda el evento de estudio, de acuerdo con las técnicas, métodos, instrumentos y procedimientos propios de cada uno; de acuerdo con lo anterior se puede concluir que el presente proyecto es de “nivel descriptivo”.

El nivel de investigación descriptivo¹⁸, consiste en caracterizar un fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores a través de la descripción exacta de las actividades, objetivos, procesos y personas. Ello debido que, el presente proyecto describe las condiciones actuales de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 (condiciones hidrológicas y ambientales); y los efectos generados por las soluciones planteadas en relación con la realidad problemática, a través, de la evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación refiere a la planificación compendiada de lo que se debe hacer para lograr los objetivos del estudio, constituye el plan general del investigador para obtener respuestas a sus interrogantes o comprobar la hipótesis de investigación. Asimismo, integra de manera coherente objetivos, técnicas y el análisis a realizar.

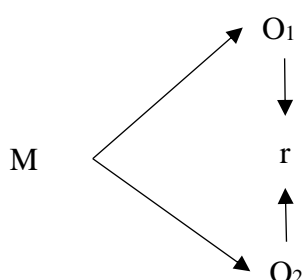
Para el siguiente proyecto se considera que el diseño de investigación a utilizar es “Descriptivo correlacional simple¹⁹”, ello debido a que, se realizó el diagnóstico de la relación entre las variables, variable independiente (Evaluación, cálculo y diseño de obras

¹⁸ Sánchez Carlesi, Hugo. (1987). Metodología y diseños en la investigación científica.

¹⁹ Sánchez Carlesi, Hugo. (1987). Metodología y diseños en la investigación científica.

hidráulicas.) y su influencia en la variable dependiente (Estabilidad Hidrológica); de manera que la relación entre dichas variables se expresa en las conclusiones mediante la comprobación de la hipótesis en base a los objetivos detallados anteriormente y los resultados obtenidos como parte de la aplicación del proyecto de investigación. En el Gráfico 4 se presenta la relación del diseño correlacional

Gráfico 4 *Modelo de investigación descriptivo correlacional*



Note:

- M: Muestra
- O₁: Variable Independiente
- O₂: Variable Dependiente
- r: Relación entre las dos variables

Fuente: Metodología de la Investigación, Universidad Peruana de Los Andes, 2016.

3.3 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

Las hipótesis son todas aquellas que sirven de guías para el desarrollo de las investigaciones, sin ellas se carecería de una dirección o rumbo definido; son conjeturas o suposiciones para explicar algo que va a ser objeto de investigación.²⁰

Según Rojas Soriano²¹

“Hipótesis es aquella formulación que se apoya en un sistema de conocimientos organizados y sistematizados y que establece una relación entre dos o más variables para explicar y predecir en la medida de lo posible, aquellos fenómenos de una parcela determinada a la realidad en caso de comprobarse la relación establecida”

²⁰ Dr. W. R. Granados Navarro, Las hipótesis y las variables en la investigación, página 3.

²¹ Rojas Soriano, Raúl. El Proceso de la investigación Científica, página 106, Editorial Trillas, 1986.

Para el presente proyecto de investigación se definieron 02 tipos de hipótesis, que de acuerdo con el grado de importancia para la obtención de resultados, se clasifican en hipótesis principal e hipótesis secundarias.

3.3.1 Hipótesis General

La hipótesis general es aquella que se propone en base al problema principal y de las acciones planteadas en el objetivo general, asimismo, es aquella que engloban, ordenan y sistematizan las relaciones que se espera encontrar entre las variables principales del estudio (dependiente – independiente), esta se presenta a continuación:

- La evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas favorecería significativamente en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar en el distrito de Yanacancha – Cerro de Pasco en el año 2018.

3.3.2 Hipótesis Específicas

Las hipótesis específicas u operaciones o de trabajo, son aquellas que plantean relaciones específicas y particulares entre cada una de las categorías, dimensionales o variables secundarias de las variables principales a estudiar; estas también son propuestas en base a los problemas secundarios y las actividades planteadas en los objetivos específicos; las mismas que se presentan a continuación:

- Las condiciones actuales no serían las aptas para una adecuada estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.
- La identificación de los factores hidrológicos de la unidad hidrográfica sobre la que se ubican los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar produce efectos significativos en su estabilidad hidrológica.
- El cálculo de los factores de diseño de las obras hidráulicas generaría resultados positivos en los depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.

3.4 VARIABLES E INDICADORES

Las variables son aquellas entidades abstractas que adquiere distintos valores, se refiere a una cualidad, propiedad o característica de personas o cosas en estudio y varía de un sujeto

a otro o en un mismo sujeto en diferentes momentos, para el presente proyecto se identificaron 02 tipos de variables: variable independiente y variable dependiente. Asimismo, a su vez estas variables presentan dimensiones, que son aquellas definidas como los aspectos o facetas de una variable compleja, su formulación depende de cómo se defina desde un inicio conceptualmente la variable. La medición o evaluación de cada una de las dimensiones se realiza mediante los indicadores o variables empíricas (cualitativa o cuantitativa) que representan una unidad del significado conceptual de una variable teórica en forma directa observable y medida. En el Anexo 2 se presenta la operatividad de variables.

3.4.1 Variable Independiente

La variable independiente, es aquella cuya variación no depende o no está implicada por la variación de otra en determinada hipótesis, asimismo explica, condiciona, o determina el cambio en los valores de la variable dependiente, y se utilizan para describir o medir los factores que se supone son la causa o influyen en el problema; a continuación, se presenta la variable independiente identificada:

- Evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas.

3.4.1.1 Definición Conceptual

La definición conceptual es aquella que se obtiene de los textos, obras o diccionarios; permite la comprensión de los elementos, fenómenos o situaciones consideradas como la variable independiente, mediante la extracción de ideas o características de diversas fuentes. A continuación, se presenta la definición conceptual identificada para la variable independiente:

- Medición de los parámetros hidrometeorológicos, tales como, temperatura, precipitación, humedad, velocidad – dirección de viento y evapotranspiración, mediante la aplicación de procesos estadísticos, cuyos resultados permiten conocer las características de la unidad hidrográfica sobre la que se ubica el proyecto y establecer medidas de manejo adecuadas.

3.4.1.2 Definición Operacional

La definición operacional es la que se construye o se adapta de otras a partir de las características observables, son un conjunto de procedimientos que describen las actividades que un observador debe realizar para recibir las impresiones sensoriales, las cuales indican la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado, la definición operacional de la variable independiente se presenta a continuación:

- Se obtendrán resultados hidrometeorológicos del SENAMHI de 03 (tres) estaciones adyacentes al proyecto, que permitirán una extrapolación de valores para la unidad hidrográfica sobre la que se encuentra el mismo, posteriormente dichos valores serán ingresados a softwares especializados con la finalidad de obtener la precipitación media de la cuenca y de esta manera calcular los factores de diseño para las obras hidráulicas que mejor se adapten al proyecto tal como se mencionó en el ítem 2.3.1.

3.4.1.3 Dimensiones de la variable independiente

Tal como se mencionó anteriormente, las dimensiones son las subvariables o variables con un nivel más cercano al indicador, son definidas como los aspectos o facetas de una determinada variable, es un elemento integrante de una variable compleja que resulta de un análisis o descomposición, los mismos que se presentan a continuación:

- Factores Hidrológicos
- Factores de Diseño

3.4.1.4 Indicadores de la variable independiente

Por otro lado, los indicadores son elementos característicos de una determinada población de un conjunto de elementos o de una realidad concreta que indican una situación permitiendo un análisis e interpretación, son referentes empíricos que permiten una medición, descripción y ordenamiento de elementos estudiados. Para la variable independiente se identificaron los siguientes indicadores:

- Precipitación (mm)
- Caudales de escorrentía

- Pendiente del terreno
- Tirantes de canal

3.4.2 Variable Dependiente

La variable dependiente, es aquella cuya variación está implicada por la variación de otra variable en determinada hipótesis, o depende de ella, también llamado de efecto o acción condicionada, y es usada para describir o medir el problema estudiado; a continuación, se presenta la variable dependiente identificada:

- Estabilidad Hidrológica

3.4.2.1 Definición Conceptual

De la misma manera de la variable independiente se realizará una descripción de la definición conceptual de la variable dependiente, que permite la comprensión de los elementos, fenómenos o situaciones consideradas, mediante la extracción de ideas o características de los textos, obras, diccionarios, u otras fuentes primarias o secundarias, la misma que se presenta a continuación:

- Se refiere al control de escurrimientos de aguas superficiales, para controlar riesgos de erosión, mediante el diseño de canales de coronación para el manejo de agua, así como la limpieza y mantenimiento de éstos. Con la finalidad de interceptar los escurrimientos superficiales y derivarlos a cauces naturales, antes de que estos pasen a través de las estructuras realizadas por la unidad minera pudiéndose generar drenajes ácidos y con estos arrastrar metales presentes en la mineralogía de la zona, contaminando aguas abajo.

3.4.2.2 Definición Operacional

La definición operacional, de la misma manera que la variable independiente, se construyó en base a las características observables, ello debido a que, son un conjunto de procedimientos que describen las actividades que el investigador debe realizar para recibir un resultado que indican la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado, esta se menciona continuación:

- A partir del procesamiento y de los resultados obtenidos como parte de la ejecución de los procedimientos de la definición conceptual de la variable independiente, se realizará la evaluación y selección del método que mejor se adaptó a los depósitos de relaves 1, 2 y 3, estos son influenciados directamente en base al volumen de derivación de las aguas de no contacto.

3.4.2.3 Dimensiones de la variable dependiente

Las dimensiones son subvariables o variables con un nivel más cercano al indicador, estas son definidas como los aspectos o facetas de una determinación variable, es un elemento integrante de una variable compleja que resulta de un análisis o descomposición, para la variable dependiente se presentan las siguientes dimensiones:

- Medidas de manejo de erosión
- Medidas de manejo de escurrimiento

3.4.2.4 Indicadores de la variable dependiente

Asimismo, es preciso determinar los indicadores que son referentes empíricos que permiten una medición, descripción y ordenamiento de elementos estudiados; pues, son elementos característicos de una determinada población de un conjunto de elementos o de una realidad concreta que indican una situación permitiendo un análisis e interpretación, a continuación, se presentan los indicadores de la variable dependiente:

- Cobertura de cierre (mm)
- Volumen de aguas derivadas (m³)

3.5 COBERTURA DEL ESTUDIO

La cobertura del estudio se establece en base a la información recopilada para el planteamiento de la realidad problemática y los fundamentos teóricos; en este se define el universo del proyecto de investigación en donde se presenta a totalidad de individuos o elementos en los cuales puede presentarse determinadas características susceptibles a ser estudiada; de este se obtiene la población de estudio que permite centrar la aplicación de las etapas del proyecto de investigación mediante la obtención de una muestra que represente

al conjunto de la población con las características de la misma, a continuación se presentan los elementos identificados para el presente proyecto de investigación:

3.5.1 Universo

El universo de un proyecto de investigación, que es la determinación del conjunto de unidades de observaciones que van a ser investigadas, es la totalidad de elementos o características que conforman el ámbito de un estudio o investigación, y teniendo como característica principal el de no poder ser estudiado en su totalidad. Para el presente proyecto se identificó el siguiente universo de estudio:

- Pasivos Ambientales del Perú.

3.5.2 Población

La población es un conjunto de personas, animales o cosas que presentan características comunes sobre los cuales se quiere efectuar un estudio; se define como la parte del universo en la cual vamos a basar nuestro estudio, siendo la totalidad de los valores posibles de una característica particular de un grupo específico de sujetos u objetos que desean investigar en un momento determinado; para ello es preciso determinar el problema y los objetivos principales. A continuación, se presenta la población identificada para el presente proyecto:

- Depósitos de Relaves.

3.5.3 Muestra

La muestra es un subconjunto de la población, seleccionada de tal forma que sea representativo de la población en estudio en que se llevará a cabo la investigación; también conocida como población muestral; para la selección de la muestra deben delimitar las características de la población, mediante la aplicación de procedimientos para obtener la cantidad de los componentes de la muestra como fórmulas, lógicas, entre otras. Para el presente proyecto se seleccionó la siguiente muestra de estudio:

- Depósito de Relaves 1,2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.

3.5.4 Muestreo

El muestreo es el método utilizado para seleccionar a los componentes de una muestra del total de la población.

Según MATA et al, 1999, el muestreo es:

“Consiste en un conjunto de reglas, procedimientos y criterios mediante los cuales se selecciona un conjunto de elementos de una población que representa lo que sucede en toda esa población”

Para el presente proyecto consideró un tipo de muestreo no probabilístico, para este tipo de muestreo la población no tiene la misma posibilidad de ser seleccionada, según PINEDA et al 1994:119:

“También es conocido como muestreo por conveniencia, no es aleatorio, razón por la que se desconoce la probabilidad de selección de cada unidad o elemento de la población”

Asimismo, este tipo de muestro se subdivide en 03 (tres) grupos, de cual se seleccionó el grupo intencional o deliberado, en el que el investigador decide según los objetivos, elementos que integrarán la muestra, considerando aquellas unidades supuestamente típicas de la población que se desea conocer mediante el uso de su percepción. La descripción del procedimiento de muestreo usado para el presente proyecto de investigación de presentó en el ítem 3.1.1.2 Procedimiento de Toma de muestra.

3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

La etapa de recolección de información representa la primera etapa del proyecto de investigación en la que mediante el uso de técnicas e instrumentos se obtiene la materia prima que será procesada, analizada y evaluada con la finalidad de obtener resultados enmarcados en el objetivo general y específicos. Para el presente proyecto, la base de datos inicial del proyecto de investigación son los factores meteorológicos característicos del área de estudio, los cuales se representan a través de datos obtenidos por el SENAMHI mediante el uso de estaciones meteorológicas ubicadas cercanas al proyecto y cuyos valores son

representativos. A continuación, se presentan las técnicas e instrumentos de recolección usados en el proyecto de investigación.

3.6.1 Técnicas de la investigación

Las técnicas de recolección son los procesos secuenciales por seguir para la obtención de data base a ser procesada para obtener un resultado específico, estos pueden considerarse como el cuestionario, entrevista, análisis de contenido y observación. Cabe mencionar que el uso de cada técnica varía de acuerdo al tipo de investigación.

Para el presente estudio se considera como técnica de recolección de información el “análisis de contenido”, esta técnica permite reducir y sistematizar cualquier tipo de información acumulado (informes, documentos escritos, grabaciones, etc.), ello debió a que la información principal a analizar será, como se mencionó anteriormente, remitida por el SENAMHI, cuyos resultados serán evaluados mediante el uso de softwares para posteriormente plantear soluciones en base a los resultados obtenidos.

3.6.2 Instrumentos de la Investigación

Los instrumentos de recolección de información se plantean en base a la técnica de seleccionada que mejor se adapta al presente proyecto de investigación, tal como se indicó anteriormente, la técnica de recolección es de análisis de contenido, siendo su instrumento de mayor adaptabilidad hacia el proyecto la “ficha de registro de datos” (Ver Anexo 3).

3.6.3 Fuentes

Las fuentes para un proceso de investigación son aquellas unidades que brindan información relevante para el desarrollo del proyecto, mediante la identificación, selección, análisis crítico y descripción escrita de la información existente. De acuerdo con las características y la metodología de obtención de datos identificadas en el proyecto de investigación las fuentes se clasificaron en 02 tipos de fuentes: fuentes primarias y fuentes secundarias, las mismas que se describen a continuación.

3.6.3.1 Fuentes Primarias

Según Bounocore (1980), las fuentes primarias se definen como:

“las que contienen información original no abreviada ni traducida: tesis, libros, monografías, artículos de revista, manuscritos. Se les llama también fuentes de información de primera mano”

Algunos tipos son: documentos originales, diarios, novelas, entrevistas, apuntes de investigación, etc. Las fuentes primarias usadas en el presente proyecto se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4 Fuentes Primarias del proyecto de investigación

N°	ELEMENTOS EXTRAÍDOS	TIPO DE FUENTE	NOMBRE DE LA FUENTE
01	Data meteorológica	Reportes mensuales	SENAMHI
02	Información de los depósitos de relaves	Memorias descriptivas	Compañía Minera El Pilar
03	Criterios Ambientales de Cierre	Marco Legal	MINAM
04	Criterios Técnicos de Cierre	Marco Legal	MINEM

Fuente: Elaboración propia, 2018

3.6.3.2 Fuentes Secundarias

Según Bounocore (1980), las fuentes secundarias se definen como:

“aquellos que contienen datos e información reelaborados o sintetizados”

Asimismo, se puede incluir a los resúmenes, obras de referencia, son textos basados en fuentes primarias, e implican generalización, análisis, síntesis interpretación o evaluación; algunos tipos de fuente son: índices, revistas de resúmenes, enciclopedias, bibliografías, etc. Las fuentes primarias usadas en el presente proyecto se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5 Fuentes Secundarias del proyecto de investigación

N°	ELEMENTOS EXTRAÍDOS	TIPO DE FUENTE	NOMBRE DE LA FUENTE
01	Estudios de impacto ambiental	Revisa de resúmenes	Compañía Minera El Pilar
02	Definición de conceptos	Enciclopedia	RAE
03	Entrevistas a la población	Revistas de resúmenes	Periódicos

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.7 PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

El procesamiento estadístico de la información se realiza mediante técnicas matemáticas, con la finalidad del manejo de datos, descripción y predicción de fenómenos, a partir de una muestra representativa de determinada población por la recolección, recopilación e interpretación de datos. Estos procesamientos requieren de la aplicación de técnicas de análisis estadísticos, tal como se muestran a continuación:

3.7.1 Técnicas estadísticas

Las técnicas estadísticas consideradas como parte del procesamiento de datos para la obtención de información del presente trabajo de investigación son: Test Wlad-Wolfowitz, Test de Kendall y Test de Wilcoxon.

3.7.2 Tipos de gráficos

El tipo de gráfico estadístico usado para la gráfica del procesamiento es el de diagrama de cajas, el cual divide los datos en cuatro cuartiles, cada uno con igual cantidad, este no grafica frecuencia ni muestra las estadísticas individuales, pero en ellos podemos ver claramente donde se encuentra la mitad de los datos, generalmente para analizar la asimetría en los datos.

CAPÍTULO IV ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 DIAGNOSTICO SITUACIONAL

La evaluación de la estabilidad hidrológica para el diseño de cierre de pasivos ambientales (Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera El Pilar), se desarrolló en base a las condiciones actuales del proyecto, para lo que fue necesario realizar una descripción técnica de los depósitos, así como de las condiciones ambientales que pudiesen influenciar en las medidas de manejo generando impactos ambientales negativos en el área de estudio. Por ello a continuación se presenta el diagnostico situacional identificado.

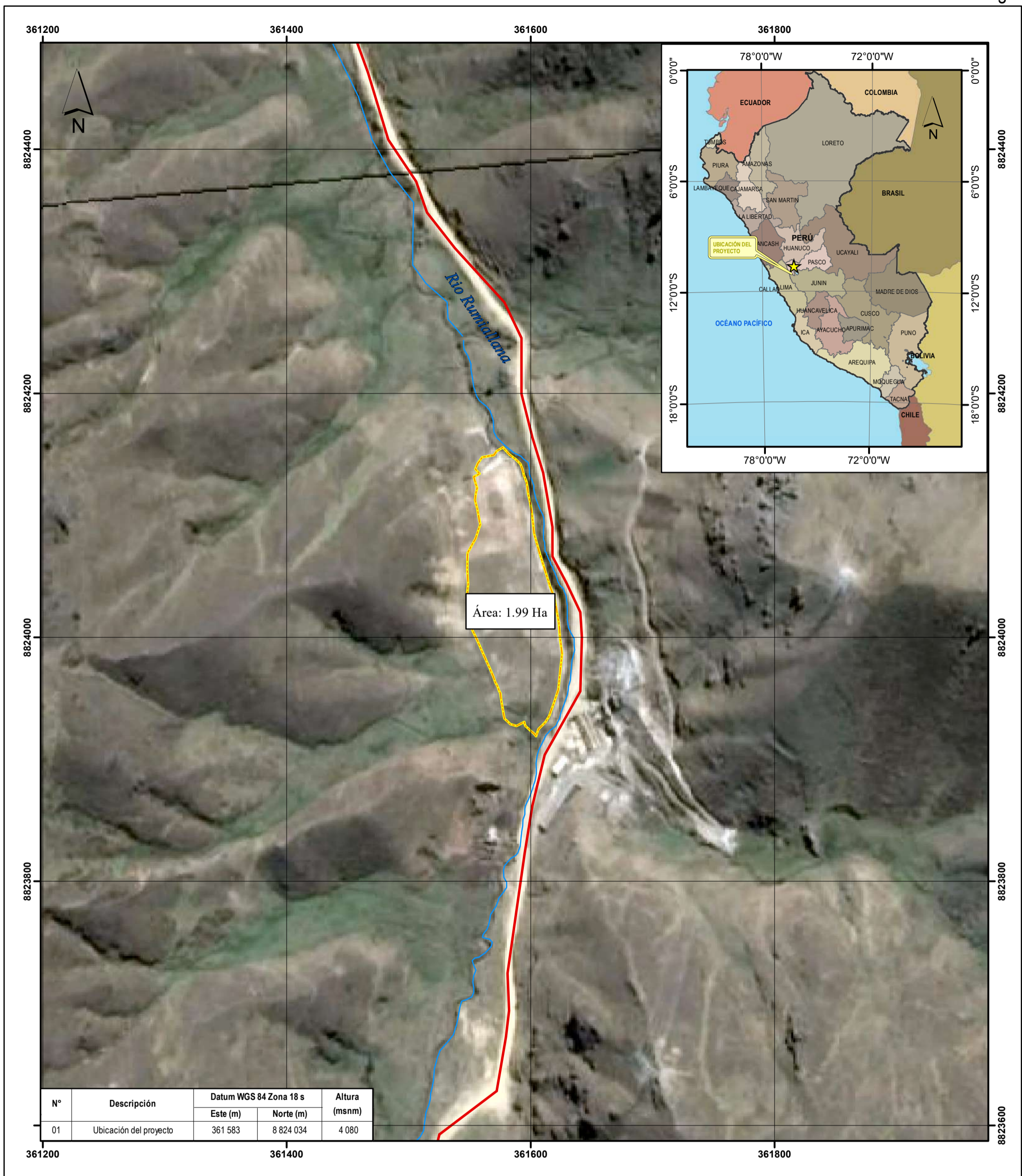
4.1.1 Descripción Técnica de los depósitos

La descripción técnica considera el área del proyecto conformada por los 03 (tres) depósitos de relaves adyacentes, uno del otro, sobre terrazas fluvio - aluviales de la ladera izquierda de la quebrada Rumiallana, no se cuenta con información sobre su fecha inicio de operaciones ni de cese, no obstante se estima que tienen 25 años de no estar operativos, desde el año 1991; cabe mencionar que el ultimo y único informe que se dispone de estos depósitos es el “Plan de Cierre de Pasivos Ambientales de la C.I.A. Minera El Pilar”.

En términos generales los tres depósitos de relaves tienen las siguientes características:

Se ubican en la ladera izquierda de la quebrada Rumiallana a una altura promedio de 4 070 m.s.n.m., estos presentan alturas variables, el depósito de relaves N°1 (en adelante DR N°1) en promedio 16 metros (m), el depósito de relaves N°2 (en adelante DR N°2) con 14 metros (m) y el depósito de relaves N°3 (en adelante DR N°3) con 10 metros en promedio.

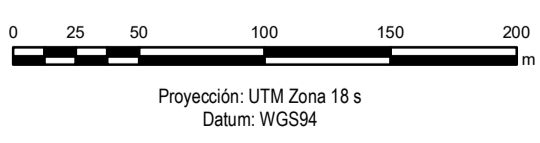
En el Mapa 2 se puede apreciar que el DR N°1 y parte del DR N°2 se emplazan a la salida de una quebrada, en la cual se aprecia el desarrollo de Bofedales, sin embargo se desconoce si se retiraron parte de estos durante su construcción, finalmente el DR N°3 probablemente se emplace sobre bofedales poco desarrollados



N°	Descripción	Datum WGS 84 Zona 18 s		Altura (msnm)
		Este (m)	Norte (m)	
01	Ubicación del proyecto	361 583	8 824 034	4 080

LEYENDA		LÍMITES	
	TROCHA CARROZABLE		DEPARTAMENTAL
	RÍOS		PROVINCIAL
			DISTRITAL

SIMBOLOGÍA	
	DEPÓSITOS DE RELAVES



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
IMAGEN SATELITAL DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3

	DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 2
	SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:3.000	
	APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

Desde el punto de vista hidrológico, las aguas que podrían confluir directamente hacia el área de emplazamiento del depósito de relaves N° 1, 2 y 3 (desde la ladera izquierda del valle) tienen cuencas de aporte de agua pequeñas, menores a 1 kilómetro(km) y no se observan filtraciones importantes sobre los depósitos de relaves. En el caso del DR N°1, las filtraciones desde las laderas no son significativas, menor a 5 l/s, probablemente por el efecto amortiguador de retención de agua que impone los bofedales desarrollados en las laderas adyacentes a este depósito de relaves.

En relación con la quebrada Rumiallana, esta se ubica al pie de los depósitos de relaves y en este sector, el cauce ha sido encañonado básicamente por la presencia de los depósitos de relaves N° 1, 2 y 3 en la ladera izquierda de la quebrada, y por los rellenos del terraplén de la carretera en la ladera derecha. Esto ha hecho que se genere un proceso de erosión sobre ambas márgenes de la quebrada Rumiallana llegando en varios sectores hasta el nivel de la roca basal. El efecto erosivo del río Rumiallana en el sector del depósito de relaves es evidente y ha desestabilizado algunos sectores del pie del depósito de relave. (Ver Fotografía 1 y Fotografía 2)

Fotografía 1 Primera vista de huella de máxima



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Fotografía 2 *Segunda vista de la huella de avenida*



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Desde el punto de vista sísmico, el área es considerada de moderada a alta sismicidad. No se han reportado terremotos en el área de emplazamiento de las instalaciones en estudio desde hace 70 años, por lo que se considera que ha existido un silencio sísmico mayor a lo esperado. El último terremoto de importancia que afectó el área fue en el año de 1947 que tuvo epicentro en la zona central del Perú con grandes daños en los Andes centrales.

De acuerdo con el estudio de Geoservices (2006) las aceleraciones máximas para periodos de retorno de 500 años se estiman en 0.30g a nivel de roca basal, valor que se estima similares a otros estudios de peligro sísmico realizados para operaciones mineras cercanas.

4.1.1.1 Depósito de Relaves N°1

El depósito de relaves N°1 o DR N°1(361593.28E 8823970.24N) tiene una altura y área aproximada de 16 m y 0.4 Ha, respectivamente. La cantidad de relaves depositados se estima del orden de 70 000 m³ y los taludes del depósito de relaves se estiman del orden (1.5H a 1.7H):1V, con cota de la plataforma superior aprox. 4 070 m.s.n.m. Al pie de talud se observa que se ha colocado una protección con “saco con relaves” que presentan un grado de

deterioro importante por sectores. La altura aproximada de esta protección con sacos es variable del orden de 2.0 a 2.5 m. en promedio.

El DR N°1 presenta 03 (tres) crecimientos Fotografía 3 con alturas variables de 6, 5 y 5 m, respectivamente. Solo el primer recrecimiento posee un muro de piedra (pirca) de 1 m. de altura aproximadamente, los demás tienen una berma de separación de 1 m o menor en algunos sectores.

Se desconoce las características geoquímicas de los relaves depositados y presentan una distribución granulométrica muy variable, de materiales del tipo arcillo limosos a arenas limosas en espesores de capas variables. La cobertura superficial se presenta poco erosionada. En el estudio de Geoservice se reporta los resultados de un solo ensayo geoquímico el cual indica que los relaves son “no potencialmente generadores de ácido”; sin embargo, al no conocerse los protocolos y punto de muestreo, no es posible asegurar la representatividad de esta muestra de relaves.

En líneas generales, el DR N°1 presenta taludes externos moderadamente elevados para el tipo de material que conforma el depósito de relaves (suelos finos de baja resistencia y moderada a alta plasticidad) y las obras de protección a la erosión ubicadas al pie de este depósito de relaves están seriamente dañadas y cumplen una función mínima para el control de erosión del Río Rumiallana sobre el depósito de relaves.

Con relación al manejo de agua mediante obras hidráulicas tales como cunetas y/o canales, en la cabecera del DR N°1, existe un canal de 80 X 90 cm el cual no está revestido y se encuentra en malas condiciones de operación, canal que descarga en una quebrada adyacente al DR N°1 (no se cuenta con reportes de monitoreo de la calidad de esta agua). Aguas arriba del DR N°1 se detectó un manantial de agua, por lo que se debe proyectar una obra de conducción de esas aguas hacia la quebrada natural y evitar el contacto de estas aguas con la relavera.

En el talud, no se observaron cunetas de control de erosión, en relación con la cobertura, se evidencia que en general hay una capa de top - soil de 10 cm de espesor en promedio sobre el cual han crecido pastos e ichu propios de la zona. Esto se observa en los taludes y plataforma superior del depósito de relaves.

Fotografía 3 *Vista General del DR N°1*



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Fotografía 4 *Vista al pie de DR N°1*



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Fotografía 5 *Vista de los taludes externos del DR N°1*



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

4.1.1.2 Depósito de Relaves N°2

El depósito de relaves N°2 o DR N°2 (361583.53E 8824039.49N) tiene una altura y área aproximada de 14 m y 0.4 Ha, respectivamente. La cantidad de relaves depositados se estima del orden de 60 000 m³. Los taludes del depósito de relaves N°2 se estima del orden (1.6H a 1.8H):1V, una pendiente ligeramente más suave que el DR N°1, la cota de la plataforma superior se estima en aproximadamente 4 068 m.s.n.m.(Ver Fotografía 6), aproximadamente 2 m por debajo de la cota del anterior depósito. Al pie del talud se observa que se ha colocado una protección con sacos que se presentan con un grado de deterioro importante por sectores. La altura aproximada de esta protección con sacos es variable del orden de 2.5 a 3 m em promedio. (Ver Fotografía 7)

Fotografía 6 Vista General del DR N°2



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

El DR N°2 presenta al igual que el DR N°1, tres crecimientos con alturas variables de 6, 5 y 3 m, respectivamente. Solo el primer recrecimiento tiene un muro de piedra (pirca) de 1 m de altura aproximadamente, los demás tienen una berma de separación de 1 m o menor en algunos sectores.

No se conoce las características geoquímicas de los relaves depositados y presentan una distribución granulométrica muy variable, de materiales del tipo arcillo limosos a arenas limosas en espesores de capas variables. Presenta taludes externos moderadamente elevados y las obras de protección a la erosión ubicadas al pie de este depósito de relaves están seriamente dañadas y cumplen una función mínima para el control de erosión del río Rumiallana.

En el sector central del DR N°2 se observa que al pie del depósito de relaves hay un muro de concreto armado de 15 m de largo aproximadamente, el cual se estima que se colocó en un sector de la relavera que presentó en su momento un colapso de taludes por lo que se observa superficialmente un área cóncava, probable superficie de deslizamiento antiguo, y un talud aproximado de 2H:1V que podría ser el talud mínimo desde el punto de vista de estabilidad estática. (Ver Fotografía 7, Fotografía 8 y Fotografía 9)

Fotografía 7 Vista del Pie del DR N°2



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Fotografía 8 *Vista de Taludes Externos del DR N°2*



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Fotografía 9 *Vista del muro de concreto del DR N°2*



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Las medidas de manejo de agua se realiza mediante cunetas y/o canales, en la cabera del depósito existe un canal de 80 x 90 cm, el cual no está revestido y está en malas condiciones

de operación, el cual descarga a la quebrada adyacente al DR N°1, este canal, descarga sus aguas hacia el canal de coronación del depósito de relaves N°1, en el talud no se encontraron obras de manejo de erosión.

La cobertura del DR N°2 está conformado en general por una capa de top-soil de 10 cm de espesor en promedio sobre el cual han crecido pastos e ichu propios de la zona. Esta cobertura se encuentra en los taludes y plataforma superior del DR N°2; sin embargo, a diferencia del DR N°1, presenta mayor cantidad de sectores donde la cobertura es inexistente.

Asimismo, no se dispone de reportes de calidad de agua del DR N°2, en algunos sectores al pie de este se observaron filtraciones que han generado sobre la roca coloraciones rojizas indicando cierto nivel de oxidación.

4.1.1.3 Depósito de Relaves N°3

El depósito de relaves N°3 o DR N°3 (361576.25E 8824109.50N) tiene una altura y área aproximada de 10 m y 0.3 Ha, respectivamente. La cantidad de relaves depositados se estima del orden de 30 000 m³. Los taludes se estiman del orden de 2H:1V, una pendiente menor que los depósitos de relaves N°1 y N°2; la cota de la plataforma superior se estima en aproximadamente 4 064 m.s.n.m. (Ver Fotografía 10), aproximadamente 4 m debajo de la cota del DR N°2.

Al pie del talud se observa que se ha colocado una protección con “sacos de relaves” y por sectores muros de piedra que se presentan con un grado de deterioro importante por sectores. La altura aproximada de esta protección con sacos es variables del orden de 3.0 a 3.5 m en promedio (Ver Fotografía 11). Las protecciones del depósito de relaves presentan una estabilidad muy precaria y por sectores ya ha colapsado.

El DR N°3 no presenta una claridad de etapas de crecimiento como los depósitos de relaves N° 1 y 2, sin embargo, se estima, por contraste del color de la superficie del depósito de relaves, que hubo 02 (dos) etapas de crecimiento (Ver Fotografía 12), con alturas variables de 6 y 4 m, respectivamente. Solo el primer recrecimiento tiene un muro de piedra (pirca) de 3 a 4 m de altura aproximada.

Fotografía 10 *Vista del DR N°3*



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Fotografía 11 *Vista de los taludes deteriorados del DR N°3*



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Fotografía 12 Vista del DR N°3



Fuente: Fotografía tomada durante la etapa de campo, 2017.

Se desconoce las características geoquímicas de los relaves depositados y presentan una distribución granulométrica muy variable, de materiales del tipo arcillo limoso a arenas limosas en espesores de capas variables. En general, el DR N°3 presenta taludes externos relativamente bajas y las obras de protección a la erosión ubicadas al pie de este depósito de relaves están seriamente dañadas y cumplen una función mínima para el control de erosión del Río Rumiallana. Por sectores las obras de protección han colapsado. El talud aproximado del DR N° 3 es de 2H:1V.

En relación con el manejo de agua mediante cunetas y/o canales, en la cabecera del DR N°3 existe una excavación de canal de 70 x 70 cm de roca sin revestir por el cual no discurre agua; mientras que en su talud no se observaron cunetas de control de erosión. Finalmente, el DR N° 3 no presenta cobertura de protección, y se desconoce la calidad del agua de escorrentía superficial de este.

4.1.2 Diagnostico Socioambiental

El diagnostico socio - ambiental permite una descripción de la condiciones físicas, químicas y biológicas del área de estudio, delimitando la vulnerabilidad y la influencia de

los posibles impactos generados por el riesgo de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera el Pilar. En este se describe la ubicación política, hidrográfica, geología, cobertura vegetal, zonas de vida y sitios poblados. La evaluación hidrometeorológica en base a lo que ejecuta el proyecto se presentará en el siguiente ítem.

4.1.2.1 Ubicación Política

La delimitación política en el Perú se enmarca en la división a 03 (tres) niveles, departamental o regional, provincial y distrital; esto permite conocer el alcance de gobernabilidad y las funciones sobre el manejo, gestión y cierre de los pasivos ambientales mineros. Tal como se mencionó anteriormente, los depósitos de relaves 1, 2 y 3 se ubican en la Región Pasco, provincia de Cerro de Pasco, distrito de Yanacancha, anexo Peña Blanca paraje Shintoragra, al norte de la ciudad de Cerro de Pasco. En Cuadro 6 se presentan las coordenadas de ubicación de los depósitos de relaves.

Cuadro 6 *Ubicación geográfica de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3*

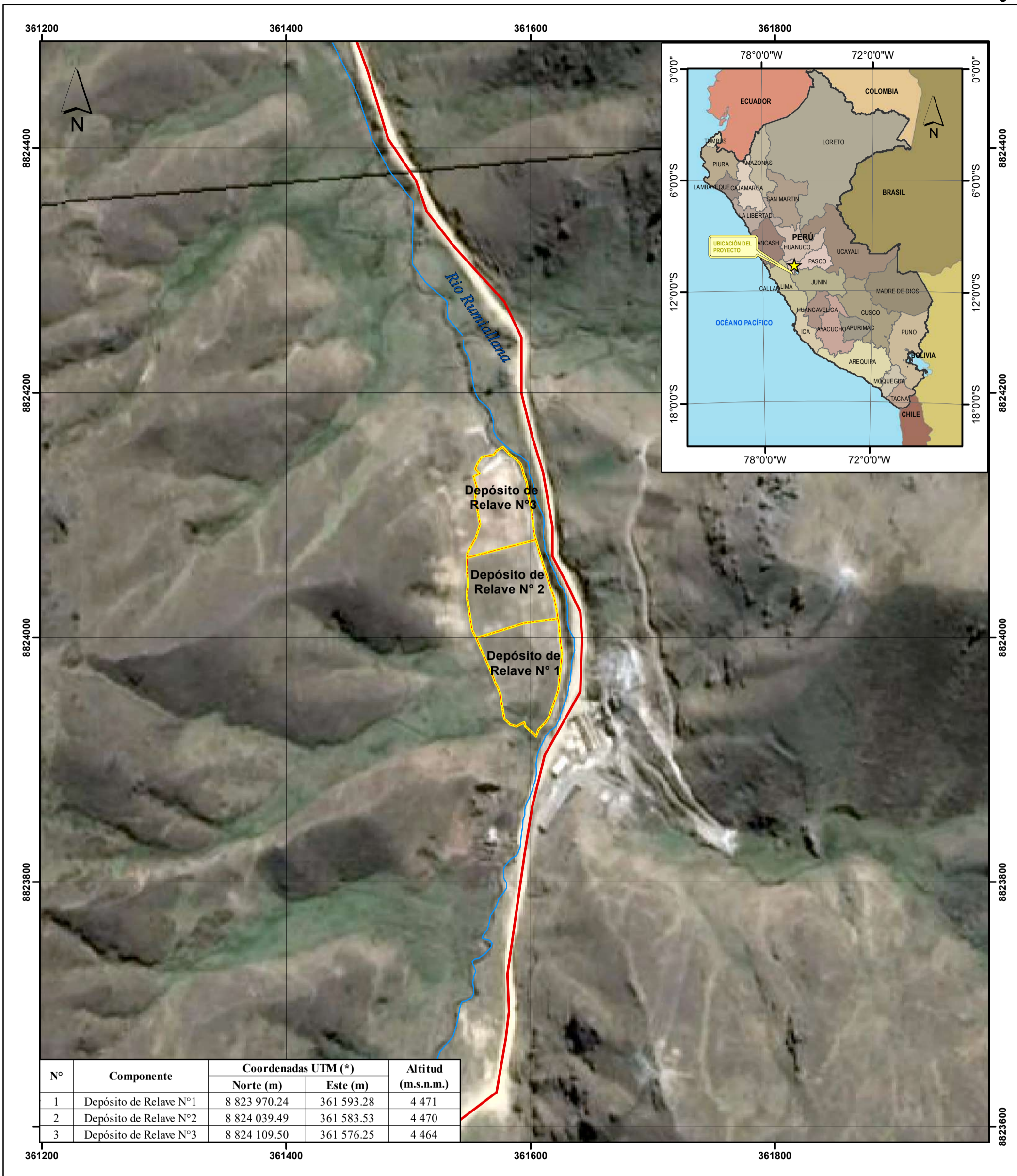
N°	COMPONENTE	COORDENADAS UTM (*)		ALTITUD (m.s.n.m.)
		NORTE (m)	ESTE (m)	
01	Depósito de Relave N°1	8 823 970.24	361 593.28	4 471
02	Depósito de Relave N°2	8 824 039.49	361 583.53	4 470
03	Depósito de Relave N°3	8 824 109.50	361 576.25	4 464

Nota:

- UTM: Universal Transverse Mercator
- (*): Datum WGS84 zona 18 L

Fuente: Elaboración propia, en base a la información proporcionada por Compañía Minera El Pilar S.A.C., 2018.

En el Mapa 3 se presenta la ubicación de los depósitos de relaves y sus respectivas coordenadas.



N°	Componente	Coordenadas UTM (*)		Altitud (m.s.n.m.)
		Norte (m)	Este (m)	
1	Depósito de Relave N°1	8 823 970.24	361 593.28	4 471
2	Depósito de Relave N°2	8 824 039.49	361 583.53	4 470
3	Depósito de Relave N°3	8 824 109.50	361 576.25	4 464

LEYENDA

— TROCHA CARROZABLE

HIDROGRAFÍA

— RÍOS

LÍMITES

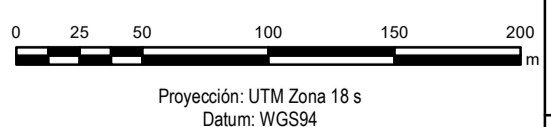
DEPARTAMENTAL

PROVINCIAL

DISTRITAL

SIMBOLOGÍA

DEPÓSITOS DE RELAVES



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
VISTA GENERAL DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3

UAP	DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 3
	SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:3.000	
	APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

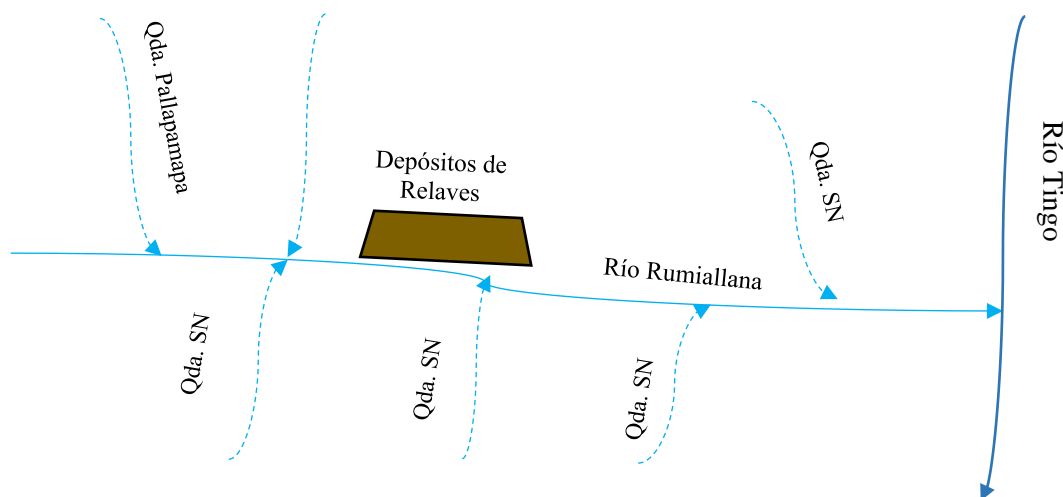
FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.1.2.2 Ubicación Hidrográfica

Los depósitos de relaves se ubican, hidrográficamente en la margen izquierda de la cabecera del río Rumiallana, cauce principal de la microcuenca del mismo nombre, perteneciente a la vertiente del Atlántico. Ello debido a que el río Rumiallana tributa por la margen derecha al río Tingo, el cual desemboca por la margen izquierda al río Huallaga, este último es afluente del río Marañón, confluye con el río Ucayali para formar el río Amazonas cuya desembocadura es en el Océano Atlántico.

La microcuenca Rumiallana de acuerdo a la Codificación de Unidades Hidrográficas del Perú, aprobada mediante R.M. N° 033-2008-AG, pertenece a la Región Hidrográfica del Amazonas N° 100 y código 49 849, Unidad Hidrográfica: Inter cuenca Huallaga. Cabe mencionar que, se ha optado por la denominación microcuenca Rumiallana, dado que la unidad hidrográfica es de segundo orden, tal como se aprecia en el Gráfico 5.

Gráfico 5 *Diagrama fluvial de la microcuenca Rumiallana*



Fuente: Elaboración propia en base a la información recolectada

4.1.2.2.1 Delimitación de la microcuenca Rumiallana

La delimitación de la microcuenca Rumiallana se realizó mediante la aplicación del software ArcGIS versión 10.2 y de la extensión instalable Arc Hydro Tools, mediante el tratamiento de imágenes *ráster* satelitales extraídas del geoservidor del Ministerio del

Ambiente²²; cuya función principal es el reajuste por altura en base a la información almacenada. A continuación, se procede a describir los pasos seguidos para la delimitación geográfica de la microcuenca Rumiallana.

4.1.2.2.1.1 Cuadrícula de la imagen GDEM

La imagen general usada para el desarrollo del proyecto es la de código S11W077, sin embargo, el tamaño de esta imagen generaría un ajuste muy general hacia los ríos principales descartando las áreas de menor tamaño; por ello el tratamiento de esta imagen se realizará en base a la cuadrícula con los vértices presentados en el cuadro

Cuadro 7 *Vértices de la cuadrícula GDEM*

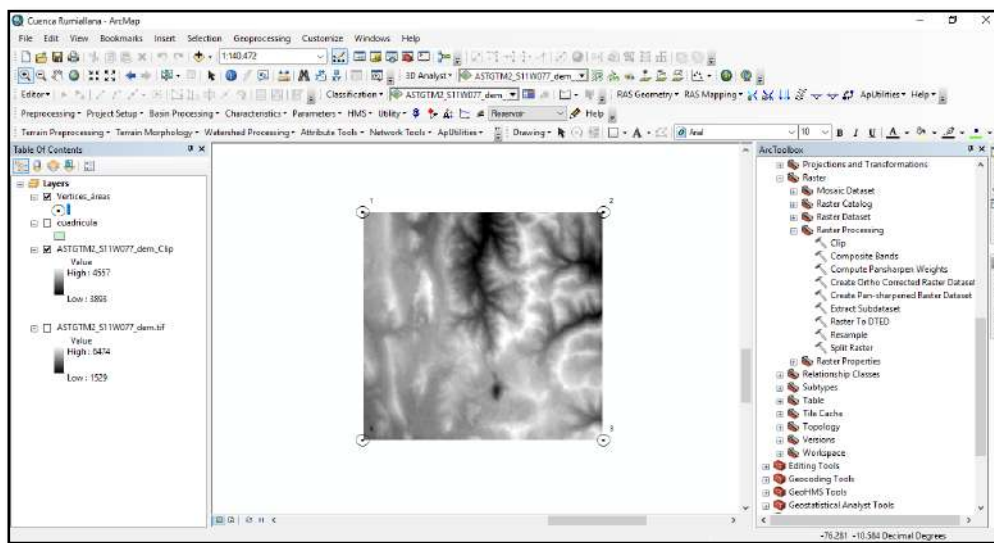
N°	VÉRTICE	COORDENADAS UTM WGS84 ZONA 18L		ALTITUD (m.s.n.m.)
		ESTE (m)	NORTE (m)	
01	1	355 414.67	8 828 456.68	4 659
02	2	367 494.88	8 828 505.79	4 680
03	3	367 540.11	8 816 927.31	4 592
04	4	355 464.03	8 816 877.74	4 570

Fuente: Elaboración propia, en base al desarrollo de la tesis, 2018.

El corte de la imagen ráster se realizó con el siguiente proceso: **Data Management Tools** >> **Ráster** >> **Ráster Processing** >> **Clip**. Tal como se muestra en la Imagen 1.

²² http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx

Imagen 1 Vértices de la imagen GDEM



Fuente: Elaboración propia, 2018.

4.1.2.2.1.2 Trazo de la microcuenca Rumiallana

El proceso de demarcación de la microcuenca Rumiallana se realizó mediante del uso de la extensión instalable *Arc Hydro Tools*, cuyo proceso de describe a continuación, no obstante, para la delimitación del trazo de cuenca se requirió de un punto referencial de descarga de la microcuenca Rumiallana, el mismo que se presenta a continuación:

Cuadro 8 Punto de descarga referencial de la microcuenca Rumiallana

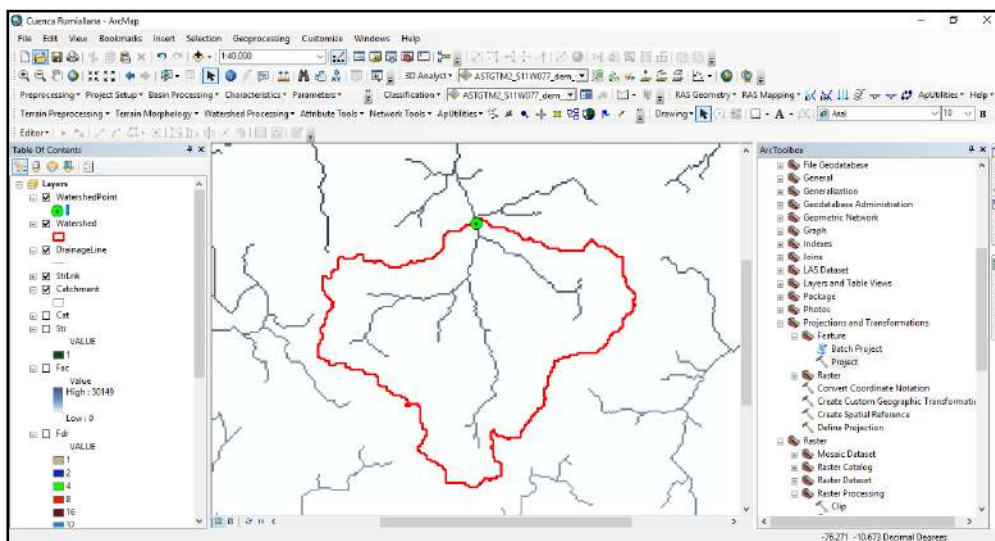
N°	VÉRTICE	COORDENADAS UTM WGS84 ZONA 18L		ALTITUD (m.s.n.m.)
		ESTE (m)	NORTE (m)	
01	Punto de Descarga	361 579.89	8 824 164.25	4 066

Fuente: Elaboración propia, en base al desarrollo de la tesis, 2018.

El procedimiento de las herramientas usadas es el siguiente: **Fill Sinks >> Flow Direction >> Flow Accumulation >> Stream Definition >> Stream Segmentation >> Catchment Grid Delineation >> >> Drainage Line Processing >> Adjoint Catchment Processing >> Point Delineation**

La unidad hidrográfica delimitada por el ArcGIS es la que se presenta en la Imagen 2.

Imagen 2 *Delimitación Microcuenca Rumiallana ArcGIS*

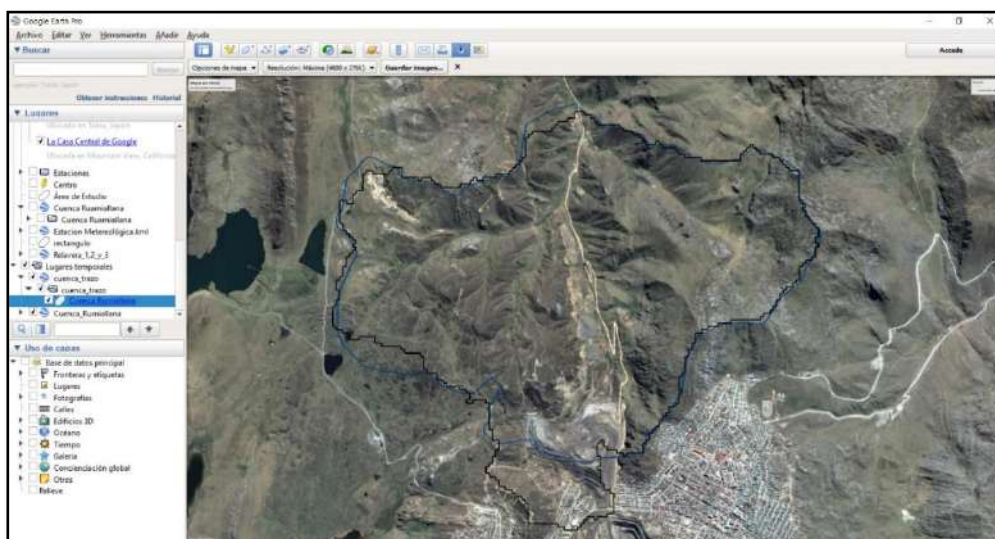


Fuente: Elaboración propia, en base al desarrollo de la tesis, 2018.

4.1.2.2.1.3 Corrección del Trazo de la Microcuenca

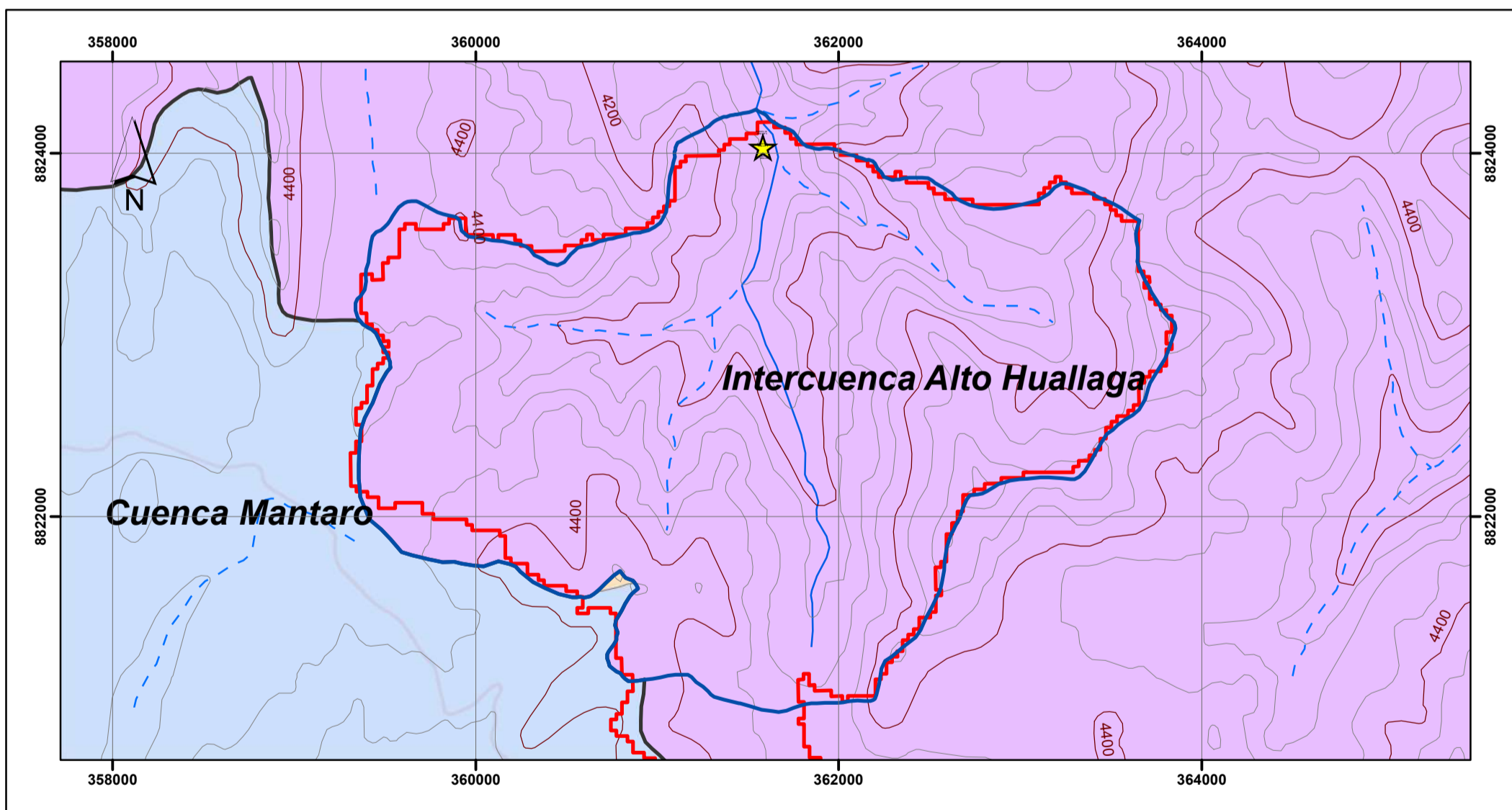
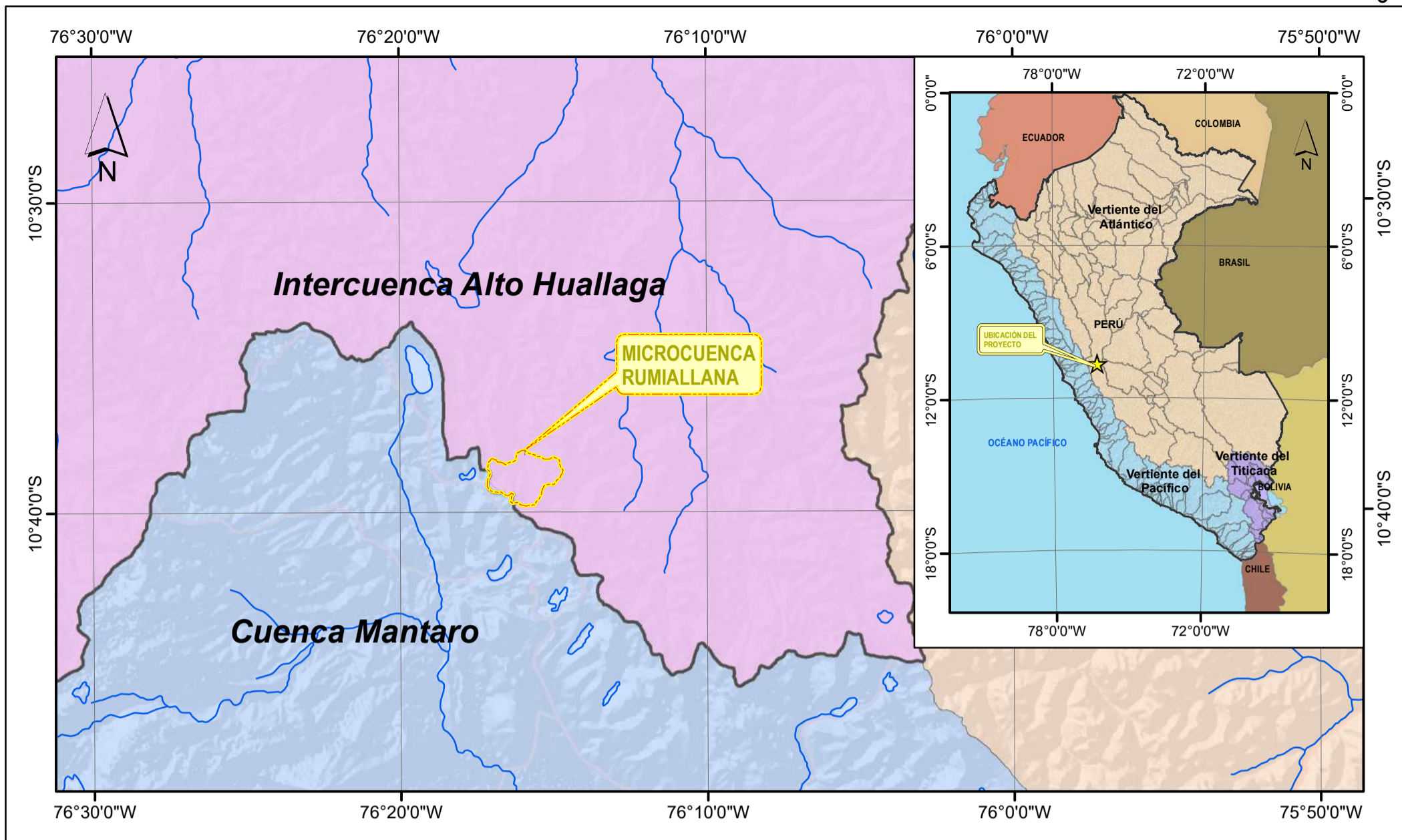
El proceso de obtención de trazo permite conocer de manera referencial los límites y los alimentadores del cauce principal del Rio Rumiallana. No obstante, este software presenta un margen de error por el tipo de imagen o de versión, por ello el trazo obtenido fue corregido con ayuda del Google Earth Pro y de la salida de campo, cuyo trazo final de la microcuenca Rumiallana se presenta en la Imagen 3 de color azul.

Imagen 3 *Corrección del trazo de la Microcuenca Rumiallana*



Fuente: Elaboración propia, en base al desarrollo de la tesis, 2018.

En el Mapa 4 se presenta gráficamente la ubicación hidrográfica de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3, en el que se describe la vertiente y cuenca a la que atribuye la microcuenca Rumiallana.

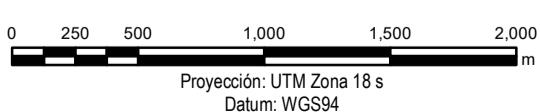


LEYENDA

HIDROGRAFÍA	LÍMITES
RÍOS	UNIDADES HIDROGRÁFICAS
HIPSOGRAFÍA	
CURVAS PRINCIPALES	
CURVAS SECUNDARIAS	

SIMBOLOGÍA

CENTRO DEL PROYECTO	TRAZO DE LA MICROCUENCA RUMIALLANA
ÁREA DE ESTUDIO	CORRECIÓN DE DEL TRAZO



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
UBICACIÓN HIDROGRÁFICA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

	DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 4
	SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:300,000	
	APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.1.2.3 Geológica

En esta sección, se describe la estratigrafía y la geología local del área de estudio enmarcando los depósitos de relaves. Para lo cual se realizó la consulta al Instituto Geológico, minero y metalúrgico (INGEMMET) a través de su geo servidor GEOCATMIN²³, de donde se extrajo las hojas geológicas a una escala de 1:50 000, exactamente las hojas 22k4 y 22k1. De igual forma, se realizó una revisión bibliográfica del Plan de Cierre de Pasivos Ambiental elaborado por la consultora GEOSERVICE (2006), sin embargo, no se tiene información si este estudio cuenta con aprobación por parte de la autoridad ambiental competente.

4.1.2.3.1 Estratigrafía

A nivel regional, se presentan las siguientes unidades lito-estratigráficas del área de estudio del proyecto de investigación:

²³ <http://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>

Cuadro 9 Clasificación Estratigráfica del área de estudio

N°	ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITO ESTRATIGRÁFICAS	CODIGO	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
01	CENOZOICO	Cuaternario	Inferior	Deposito fluvioglaciares	Q-fg	8.87	0.94
02			Reciente	Depósitos aluviales	Q-al	63.64	6.76
03	MESOZOICO	Jurásico	Inferior	Grupo Pucará Grupo Chambara	400.71	400.71	42.58
04		Pérmico	Superior	Grupo Mitú	Ps-m	35.19	3.74
05		Carbonifero	Inferior	Grupo Ambo	Ci-a/sed	11.31	1.20
06	PALEOZOICO	Devonico	Superior	Grupo Cabanillas	D-Ca	366.18	38.91
07				Grupo Excélsior	SD-e	40.83	4.34
08				Misceláneo Mina	MM	14.45	1.54
09	TOTAL					941.19	100

Fuente: Elaboración propia en base a la información obtenida de INGEMMET y Geoservice (2006), 2018.

4.1.2.3.1.1 Grupo Pucara (Triásico-Jurásico)

Constituida por una secuencia de calizas gris claro, brumácea y arenosa de Goyllarisquisga y alrededores de Cerro de Pasco, entre pizarras y filitas del Grupo Excelsior, en muchas partes, cubriendo el Grupo Mitu. Su espesor aumenta de Oeste a Este. De gran importancia en la localización de cuerpos mineralizados, principalmente las capas de caliza amarillenta que se extiende por 1km. desde el borde Oriental del tajo “Raúl Rojas” hacia el Este en la mina El Pilar. Dentro de este grupo se diferencian las siguientes formaciones:

Formación Chambará

Caracterizada por su relativa monotonía de calizas masivas, color gris azulino a superficie intemperizada de color amarillo cremoso, donde se distinguen nódulos de chert con formas irregulares. En la zona Rumiallana, las calizas se encuentran muy sub verticales, encima del Grupo Excelsior.

4.1.2.3.1.2 Grupo Mitu (Permico)

Constituido por areniscas, cuarcitas y conglomerados rojos, que afloran en los alrededores de Cerro de Pasco, con una potencia entre 50 y 80 metros. Es un depósito usual de molasa y niveles volcánicos representados por andesitas que pueden ser las manifestaciones volcánicas más tempranas de los Andes Centrales; es una fase de actividad, antes relacionada con las fases próximas de la Orogenia Hercínica. Las lavas son de composición sub alcalina, pueden estar relacionadas a los plutones graníticos de edad Permiano medio que afloran de la Cordillera Oriental.

4.1.2.3.1.3 Grupo Ambo

Constituido en la base por un conglomerado basal que se reporta en discordancia sobre el Complejo Marañón o Paleozoico inferior; el conglomerado está constituido por elementos bien redondeados a sub angulosos de cuarcitas, areniscas, esquistos y micaesquistos, concentrado por una matriz de areniscas, esquistos y micaesquistos, concentrado por una matriz de arenisca feldespática y micácea; el espesor varia de 0.50 (Ñausa) a 150 m (Buena vista); luego continua arenisca gris marrón a verdes, con intercalaciones de lutitas gris oscuras a bituminosas, esporádicamente se presentan capas de carbón de 30 a 50 cm

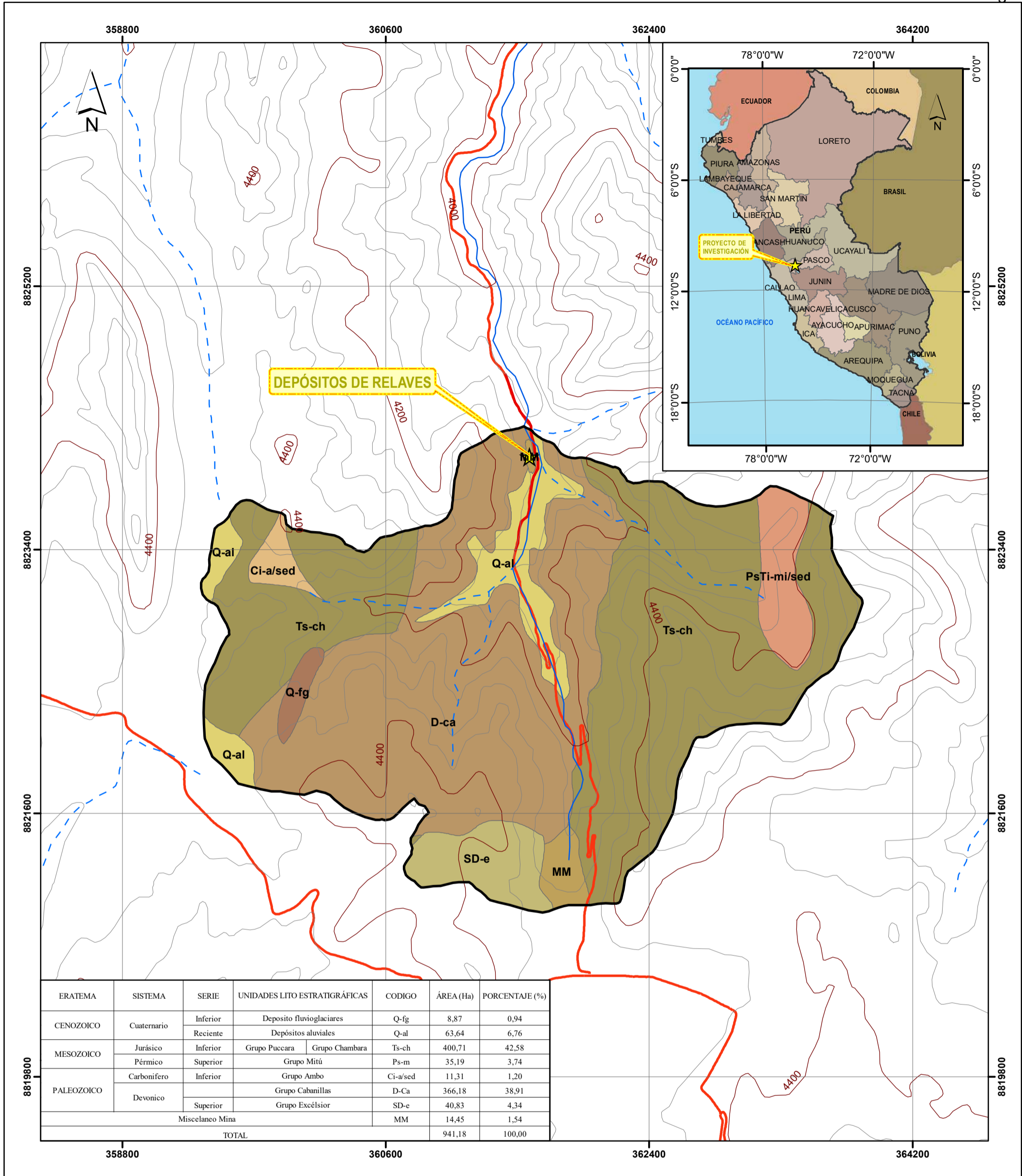
(Huaracalla). En la parte media se tienen areniscas finas en estratos medios a gruesos, compactos de color gris bruno, que por intemperismo se disgrega en “bolas” a manera de nódulos, se intercalan areniscas de grano medio, con lutitas negras a gris verdosas, bastante fracturadas. Hacia el tope se encuentran areniscas gris claras con lutitas gris oscuras a bituminosas con plantas.

4.1.2.3.1.4 Grupo Cabanillas

Litológicamente el Grupo Cabanillas de Cerro de Pasco está compuesto por lutitas pizarrosas negras (en ocasiones micáceas) con intercalaciones de areniscas cuarzosas en estratos menores a 10 cm. La base de la secuencia no aflora y el techo está sobre yacido en discordancia erosional directamente por el Grupo Mitu (Pérmico superior- Triásico inferior) o el Grupo Pucará (Triásico superior-Jurásico inferior). En el río Tingo, se observa que las areniscas son más abundantes hacia el techo, determinando una secuencia grano creciente.

4.1.2.3.1.5 Grupo Excélsior: Siluriano - Devonico

En este grupo se encuentran las rocas más antiguas de la zona conformadas por filitas, cuarcitas y lutitas carbonosas. Estas rocas son pizarras grises y filitas con areniscas en capas delgadas, que pueden variar de 0.30 m, de espesor, en correspondiente desarrollo. Presentan venillas de cuarzo, posiblemente, resultado de una segregación de metamorfismo regional de bajo grado. Se encuentran presentes clivajes en las rocas, que están perfectamente desarrollados, pero presentan una distribución irregular, así mismo, se caracterizan por presentarse plegados, fracturados y fallados. Por otro lado, resalta una morfología suave y ondulada en la zona por efectos de la erosión.



LEYENDA

HIDROGRAFÍA

- RÍOS
- - - QUEBRADAS

HIPSOGRAFÍA

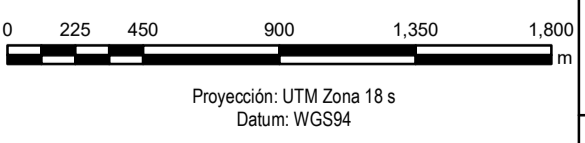
- CURVAS PRINCIPALES
- CURVAS SECUNDARIAS

LÍMITES

- REGIONES
- VIAS DE ACCESO

SIMBOLOGÍA

- ★ DEPÓSITOS DE RELAVES
- MICROCUENCA RUMIALLANA



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
GEOLOGÍA DEL ÁREA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04
SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:25000
APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018

MAPA 5

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.1.2.3.2 Geología Local

Del estudio elaborado por Geoservice (2006), se indica que el terreno del proyecto se encontraba revegetado, sin embargo, al hacer un reconocimiento de campo, se evidencio que esto no es verídico. Asimismo, Geoservice realizo muestreos por medio de calicatas en las canchas de las plataformas, demostrando que los relaves debajo de la capa de vegetación de todas las relaveras tienen una composición predominante de limo y arcilla. Adicional a esto, debajo de los taludes de los Depósitos de Relaves No 1 y No 2, se evidencio que los relaves tienen una composición arenosa limosa, mientras que debajo del talud del Depósito de Relave No 3 tienen una composición de limo y arcilla.

4.1.2.3.3 Geomorfología

Los rasgos geomorfológicos de la zona donde se encuentran empalmado el proyecto, son el resultado de efectos degradatorios, producidos por agentes de meteorización que han actuado sobre las unidades litológicas, asimismo, los agentes de intemperismo que han modelado el rasgo morfo estructural actual de la región.

El relieve es generalmente ondulado. Sobre las laderas de los cerros existe la presencia de material de derrumbe, producto de la erosión e intemperismo que han sufrido las rocas presentes. Los cauces de los riachuelos son poco profundos, ya que es una zona de pendiente baja, siendo constante el flujo de agua a lo largo de todo el año, cuyo colector principal es el río Rumiallana.

4.1.2.3.3.1 Cadena Montañosa

Consiste en elevaciones montañosas emplazadas en cadena, siguiendo la tendencia del perfil andino: sureste-Noreste, sus cumbres máximas alcanzan los 4,500 msnm, donde está ubicado el proyecto, con un relieve de topografía moderada.

4.1.2.3.3.2 Valles Interandinos

De origen tectónico, por lo que está presente un fuerte control estructural y pueden ser longitudinales, se encuentran perfilando las cadenas montañosas.

4.1.2.3.4 *Geodinámica*

4.1.2.3.4.1 *Geodinámica Externa*

Referido a los procesos geodinámicos que operan en la parte superior de la corteza terrestre y que puede incidir sobre el área del yacimiento.

Flujos Hídricos

Relacionado a la escorrentía y filtraciones de aguas producto de deshielos y almacenamiento en reservorios naturales que existen en la zona.

Inestabilidad de Taludes

Cuando ocurren fenómenos naturales existe el riesgo de derrumbes, deslizamiento de suelos o desprendimiento de rocas que puedan afectar la superficie de rodadura de los caminos de acceso. Entre los principales elementos condicionantes de los fenómenos, antes mencionados, están la gravedad y la saturación del suelo. Los estudios geotécnicos y análisis de estabilidad realizados demostraron que las relaveras No 1 y No 2 cumplían con los factores mínimos de seguridad, sin embargo, la Relavera No 3 no cumple con estos factores, por lo cual se recomienda modificar el talud exterior.

4.1.2.3.5 *Geodinámica Interna*

Referido a los procesos endógenos que ocurren al interior de las capas estructurales de la tierra, estos procesos son independiente de la interacción con los fenómenos atmosféricos. El área donde esta empalmado el proyecto se evidencio que no es una zona activa en la generación de sismo y actividades volcánicas.

4.1.2.3.6 *Geología Estructural*

De acuerdo al “Plan de cierre de pasivos El Pilar” (2006) se identificó la existencia de plegamientos y fallas cerca a los depósitos de relaves No 1, No 2 y No 3, del cual no se tiene evidencia que se encuentre aprobado por la autoridad competente.

4.1.2.3.6.1 Plegamientos

La dirección regional de los plegamientos, que se encuentran cerca del área donde se encuentran las Relaveras, de Norte a Sur ha sido interrumpida por pequeños pliegues transversales de rumbo Este-Oeste y buzamiento al norte.

4.1.2.3.6.2 Fallas

Las fallas existentes se encuentran entre 60° y 65° al Este, las fallas oblicuas se encuentran rumbo al Nor Oeste y la falla Yurajhuanc se encuentra en dirección al Nor Este. Otras fallas transversales se encuentran con rumbo Este-oeste, sin embargo, no se pudo evidenciar fallas activas en el área del proyecto, solo se pudo apreciar ligeras caídas de materiales (tierra, piedras) de los taludes adyacentes al proyecto.

4.1.2.4 Cobertura Vegetal

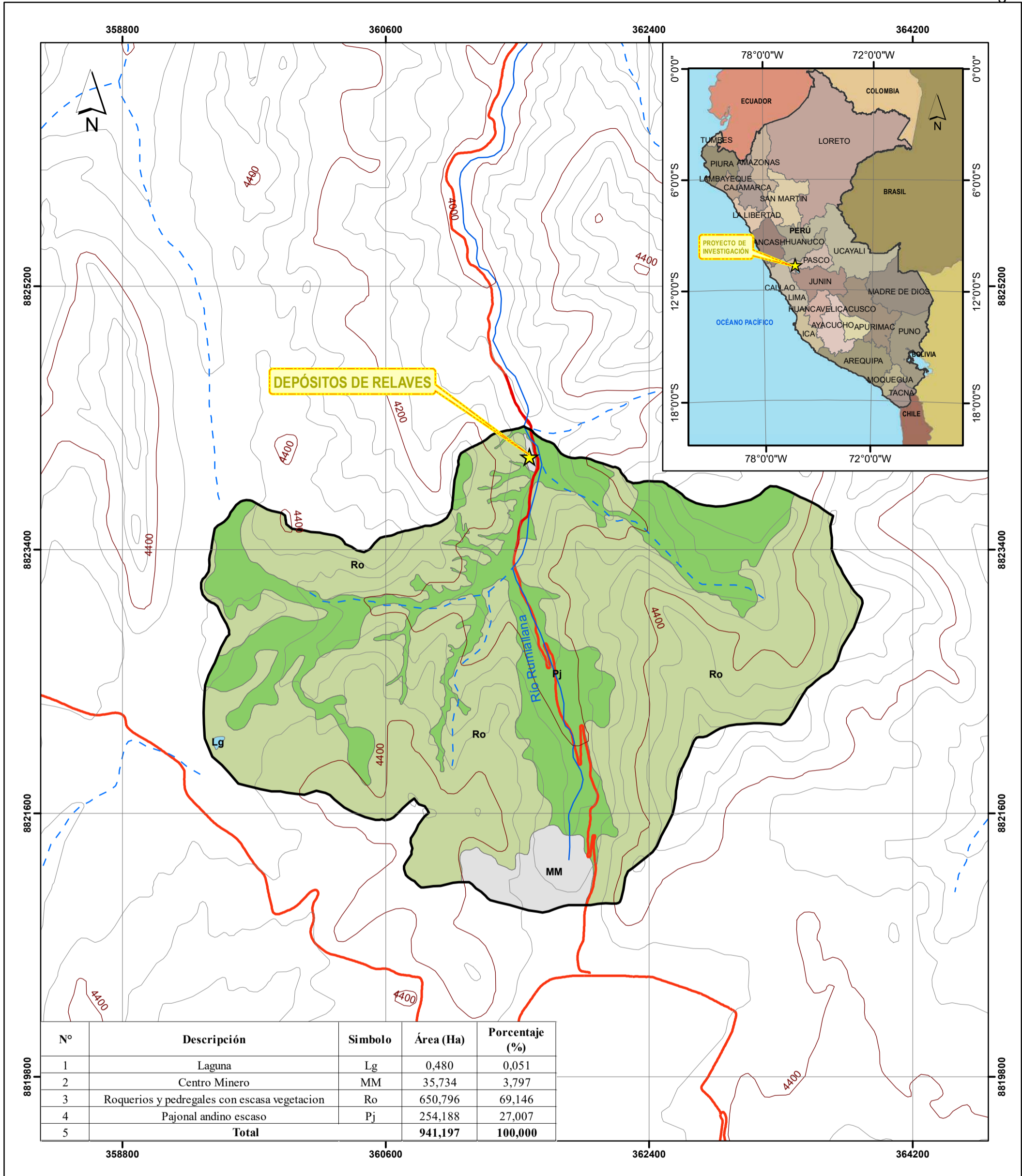
La cobertura vegetal es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por los bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivo. Para la presente área de estudio se clasificó la cobertura vegetal, según como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10 Clasificación de cobertura vegetal del área de estudio

N°	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	ÁREA (HA)	PORCENTAJE (%)
01	Laguna	Lg	0.480	0.051
02	Centro Minero	MM	35.734	3.797
03	Roquedales y pedregales con escasa vegetación	Ro	650.796	69.146
04	Pajonal andino escaso	Pj	254.188	27.007
05	Total		941.197	100.000

Fuente: Elaborado en base al Mapa Nacional de Cobertura Vegetal (Memoria Descriptiva) MINAM, 2015.

De igual manera a continuación se presenta gráficamente la distribución de estas áreas en el Mapa 6.



N°	Descripción	Simbolo	Área (Ha)	Porcentaje (%)
1	Laguna	Lg	0,480	0,051
2	Centro Minero	MM	35,734	3,797
3	Roqueros y pedregales con escasa vegetacion	Ro	650,796	69,146
4	Pajonal andino escaso	Pj	254,188	27,007
5	Total		941,197	100,000

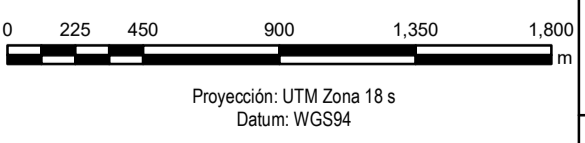
LEYENDA

HIDROGRAFÍA
 RÍOS
 QUEBRADAS

HISOGRAFÍA
 CURVAS PRINCIPALES
 CURVAS SECUNDARIAS

LÍMITES
 REGIONES
 VIAS DE ACCESO

SIMBOLOGÍA
 DEPÓSITOS DE RELAVES
 MICROCUENCA RUMIALLANA



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
COBERTURA VEGETAL DEL ÁREA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04
SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:25000
APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018

MAPA 6

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.1.2.5 Zonas de Vida

La zona de vida es una región biogeográfica que está delimitada por parámetros climáticos como la temperatura y precipitaciones, por lo que se presume que dos zonas de clima similar, desarrollarían formas de vida similares, esta clasificación permitirá conocer algunos parámetros hidrometeorológicos compartidos con áreas ya estudiadas e indicar valores iniciales de evaluación.

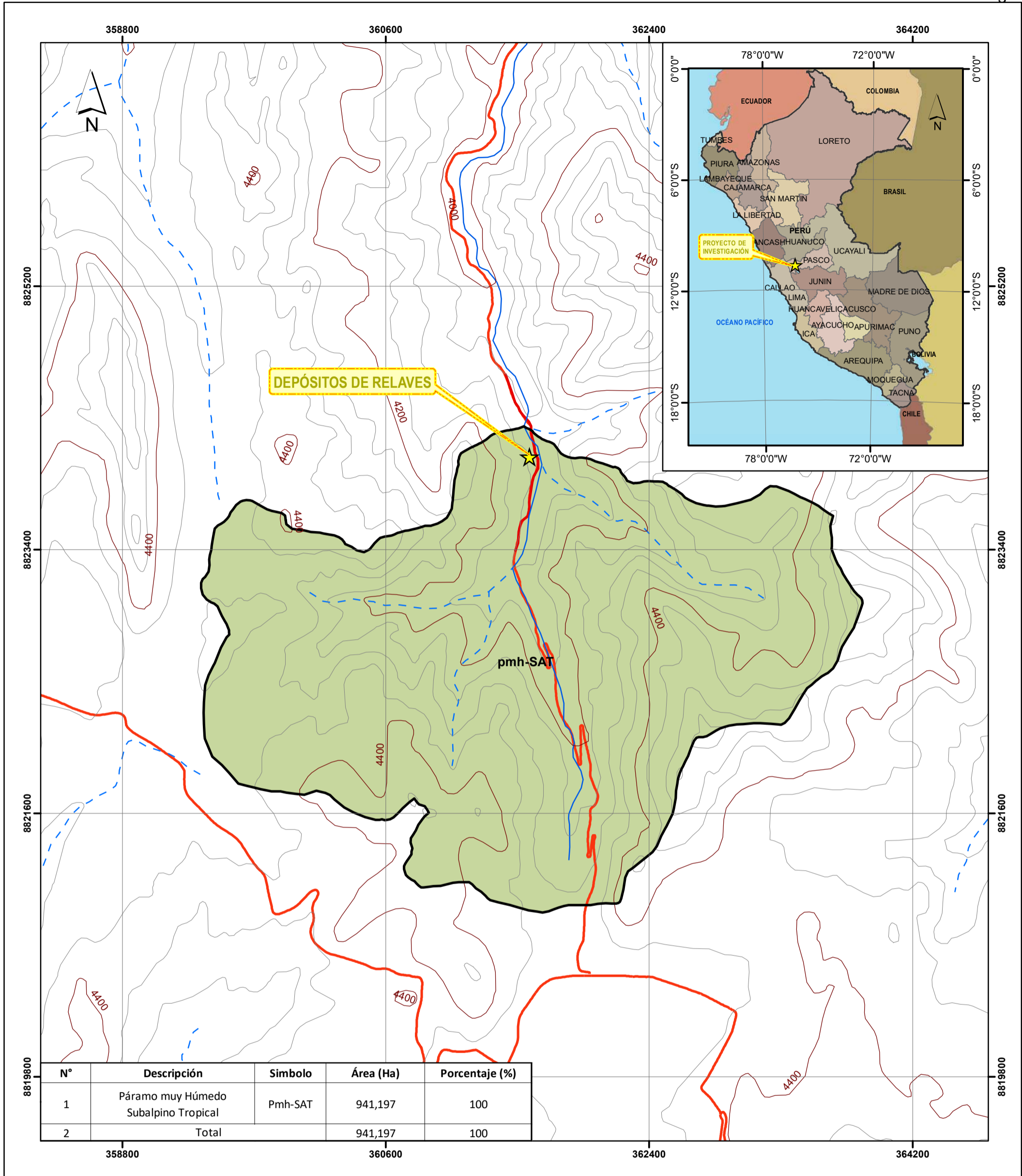
El Perú cuenta con 12 (doce) zonas de vida existentes que han sido identificadas mediante el sistema de “Clasificación de zonas de Vida del Mundo” de Leslie R. Holdridge. El área de estudio se ubica completamente dentro de la zona climática Páramo muy Húmedo – Subalpino Tropical (MINAM), a continuación, se realiza una descripción de sus características.

4.1.2.5.1 *Clima*

Esta zona de vida se caracteriza por tener una biotemperatura media anual máxima de 6 °C y la media anual mínima de 3.8°C; presenta una precipitación promedio máximo por año de 1 254.8 mm y el promedio mínimo de 584.2 mm. Según el diagrama de Holdridge, la evapotranspiración potencial total por año para estas zonas de vida se ha estimado que varía entre la cuarta parte (0.25) y la mitad (0.5) del promedio de precipitación total por año, lo que las ubica en la provincia de humedad: PERHUMEDO.

4.1.2.5.2 *Vegetación*

La flora está compuesta por una abundante mezcla de gramíneas y otras hierbas de hábitat perenne. Entre las especies dominantes, se tiene la *Pestuca dolycophylla*, *Festuca orthophylla*, *Calamagrostis antoniana*, *C. intermedia.*, *C. vicunarum*, *Stipa brachyphylla*. *S. ichu*, *S. obtusa* y *S. incospicua*. En el Mapa 7 se presenta gráficamente la zona de vida característica del área de estudio.



LEYENDA

HIDROGRAFÍA

- RÍOS
- - - QUEBRADAS

HISOGRAFÍA

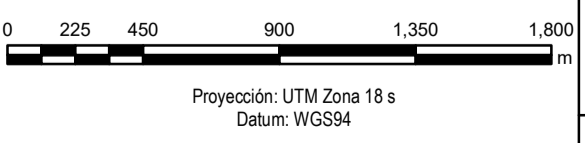
- CURVAS PRINCIPALES
- CURVAS SECUNDARIAS

LÍMITES

- REGIONES
- VIAS DE ACCESO

SIMBOLOGÍA

- ★ DEPÓSITOS DE RELAVES
- MICROCUENCA RUMIALLANA



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
ZONA DE VIDA DEL ÁREA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 7
SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:25000	
APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.1.2.6 Sitios Poblados

La evaluación ambiental previa también considera la identificación de los factores sociales por ellos es importante identificar los sitios poblados más cercanos al depósito de relaves, es decir aquellos que se encuentren dentro y fuera del área de estudio. Para lo cual se utilizó información extraída del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), sobre la ubicación de centros poblados a nivel nacional.

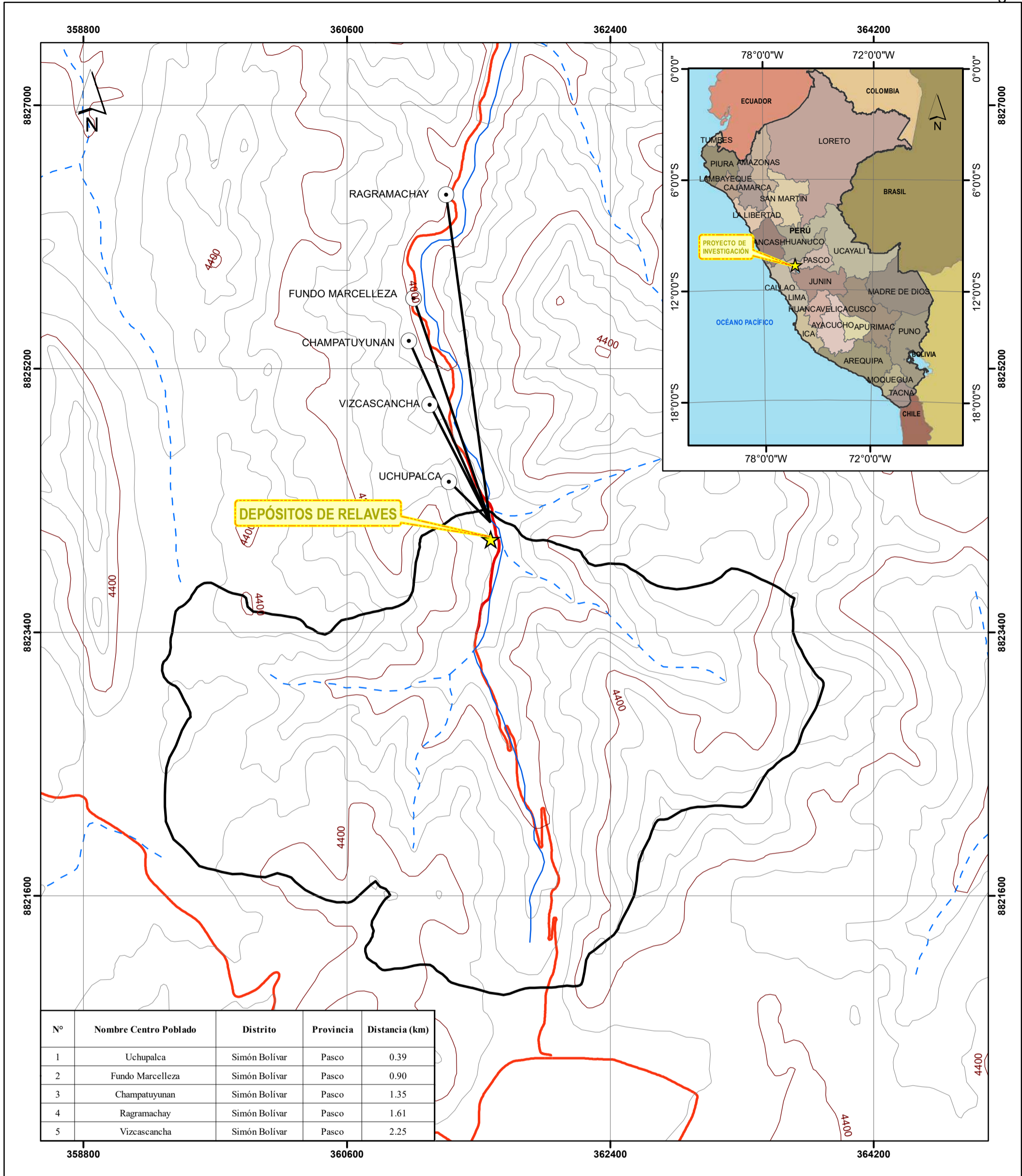
No obstante, es preciso señalar que se les dio prioridad a los centros poblados aledaños ubicados aguas debajo de los depósitos de relaves, al considerar el comportamiento de los posibles impactos generados por la mala gestión de este pasivo ambiental. Obteniendo el Cuadro 11 en el que se especifica el nombre y la distancia a los componentes en estudio.

Cuadro 11 *Distancia a centro poblado*

N°	NOMBRE CENTRO POBLADO	DISTRITO	PROVINCIA	DISTANCIA (km)
01	Uchupalca	Simón Bolívar	Pasco	0.39
02	Fundo Marcelleza	Simón Bolívar	Pasco	0.90
03	Champatuyunan	Simón Bolívar	Pasco	1.35
04	Ragramachay	Simón Bolívar	Pasco	1.61
05	Vizcascancha	Simón Bolívar	Pasco	2.25

Fuente: Elaboración propia en base a la información obtenida del INEI, 2018.

Asimismo, en el Mapa 8 se presenta gráficamente la ubicación y distancia de los centros poblados considerados en la identificación de los aspectos ambientales.



LEYENDA

HIDROGRAFÍA

- RIOS
- QUEBRADAS

HIPSOGRAFÍA

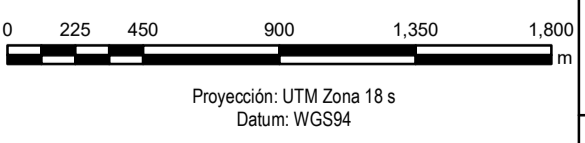
- CURVAS PRINCIPALES
- CURVAS SECUNDARIAS

LÍMITES

- REGIONES
- VIAS DE ACCESO

SIMBOLOGÍA

- DEPÓSITOS DE RELAVES
- MICROCUECNA RUMIALLANA



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
DISTANCIA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES A CENTROS POBLADOS

DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 8
SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:25000	
APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.2 RESULTADOS

En el presente ítem se realizará la evaluación hidrológica de la microcuenca del Río Rumiallana, que contiene la descripción de la hidrografía, cálculo de la morfología de la microcuenca hasta el punto de interés hidrológico. Asimismo en la caracterización climática se ha evaluado y determinado la precipitación total mensual, precipitación máxima en 24 horas, relación de intensidad – duración – periodo de retorno (IDT), precipitación máxima probable (PMP), temperatura, humedad relativa, evaporación y velocidad y dirección del viento, finalmente se realizó el análisis de máximas avenidas para el sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana, aplicando el software hidrológico HEC- HMS 4.2 (Hydrologic Modeling System), obteniendo caudales máximos instantáneos del río Rumiallana, para distintos periodos de retorno y la creciente probable (CMP).

4.2.1 Hidrografía

Según como me mencionó anteriormente, los depósitos de relaves se localizan en la margen izquierda de la cabecera de la Microcuenca Rumiallana, cabe mencionar que, el cierre de la microcuenca se definió aproximadamente 50 m aguas debajo del DR N°3. Se adoptó a denominación de microcuenca Rumiallana, dado que la unidad hidrográfica es de segundo orden, la justificación de esta denominación se presenta en el Cuadro 12.

Cuadro 12 *Tamaño relativo de sistemas hidrológicos*

N°	SISTEMA HIDROLÓGICO	N° DE ORDEN
01	Cuenca	6 a más
02	Subcuenca	4 y 5
03	Microcuenca	1, 2 y 3

Fuente: Revista HIDRORED, 2004.

4.2.2 Morfología de la microcuenca

La morfología de la microcuenca considera el cálculo y descripción de los parámetros generales, de forma y de relieve en fase al marco teórico sobre el que se desarrolla el proyecto, los mismo que se describen a continuación:

4.2.2.1 Parámetros Generales

La microcuenca Rumiallana, tiene un área de drenaje de 9.4 km², su perímetro es de 14.2 km, con una longitud de 4.6 km y ancho de 3.3 km. Asimismo presenta un desnivel de 531 m y una longitud del cauce principal de 3.0 km

4.2.2.2 Parámetros de Forma

Los parámetros de forma considerados son factor de forma, coeficiente de compacidad, factor de circularidad y razón de circularidad:

4.2.2.2.1 Factor de Forma (k_f)

Es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la cuenca:

$$k_f = \frac{A}{L^2}$$

Nota:

A: Área de la cuenca

L: Longitud de la cuenca

De donde se obtuvo que el factor de forma (k_f) es 0.44, que significa que está sujeta a menos crecientes que una de la misma área y con mayor de factor de forma.

4.2.2.2.2 Coeficiente de Compacidad (k_c)

Este método compara el área de la microcuenca con el área de una circunferencia, está definido por lo siguiente:

$$k_c = \frac{P}{2\pi R}$$

Nota:

P: Perímetro

R: Radio de la circunferencia

El coeficiente de compacidad de la microcuenca Rumiallana es de 1.31, se clasifican como “oval redonda a oval oblonga” la cual significa que representa moderada tendencia a las crecidas.

4.2.2.2.3 Factor de Circularidad (R_c)

Es la relación entre el área y el perímetro expresado en la siguiente formula:

$$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Nota:

P: Perímetro

A: Área de la microcuenca

Para lo que se tiene un valor de 0.59 que quiere decir tiene tendencia a una forma circular según sus características.

4.2.2.2.4 Razón de Elongación (R_e)

Es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que de la cuenca y la longitud máxima de la misma, la misma que se presenta a continuación:

$$R_e = \frac{D}{L}$$

Nota:

D: Diámetro

L: Longitud de la Cuenca

La razón de elongación de la microcuenca Rumiallana es de 0.75, este valor ratifica la tendencia moderado de crecidas por la forma “oval redonda” de la microcuenca Rumiallana.

4.2.2.3 Parámetros de Relieve

Las cotas de la microcuenca Rumiallana, fluctúan entre 4 051 m.s.n.m. hasta los 4 582 m.s.n.m. siendo su elevación media de 4 316.6 m.s.n.m. En el siguiente cuadro se presentan los cálculos de las características de la microcuenca Rumiallana. No obstante, para una mejor descripción se realizará el cálculo de coeficiente de Gravelius, Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente, Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km), así como de la pendiente por los métodos de Alvord, Horton y Taylor y Schwarz; los mismos que se presentan a continuación:

4.2.2.3.1 Coeficiente de Gravelius (C_g)

También conocido por el nombre de coeficiente de compacidad, este coeficiente relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de una cuenca teórica circular de igual área; estima por tanto la relación entre el ancho promedio del área de captación y la longitud de la cuenca, este se puede calcular también de la siguiente manera:

$$C_e = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Nota:
P: Perímetro
A: Área

El resultado de este valor es igual que el coeficiente de compacidad es de 1.31.

4.2.2.3.2 Rectángulo Equivalente

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de los lados L y l del mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (l). Esta cuenca teórica tendrá el mismo coeficiente de Gravelius y la misma distribución altitudinal de la cuenca original.

$$L = \frac{C_g \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{C_g} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{C_g \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{C_g} \right)^2} \right]$$

Nota:
C_g: Coeficiente de Gravelius
A: Área
L: Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)
l: Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km)

Los valores obtenidos en estos cálculos son L= 5.42 y l=1.74.

4.2.2.3.3 Cálculo de Pendiente

El cálculo de la pendiente se realizó mediante la aplicación de 02 (tres) métodos Alvord y Horton. Para lo cual primero se desarrolló el cálculo la elevación media de la microcuenca tal como se muestra en el Cuadro 13:

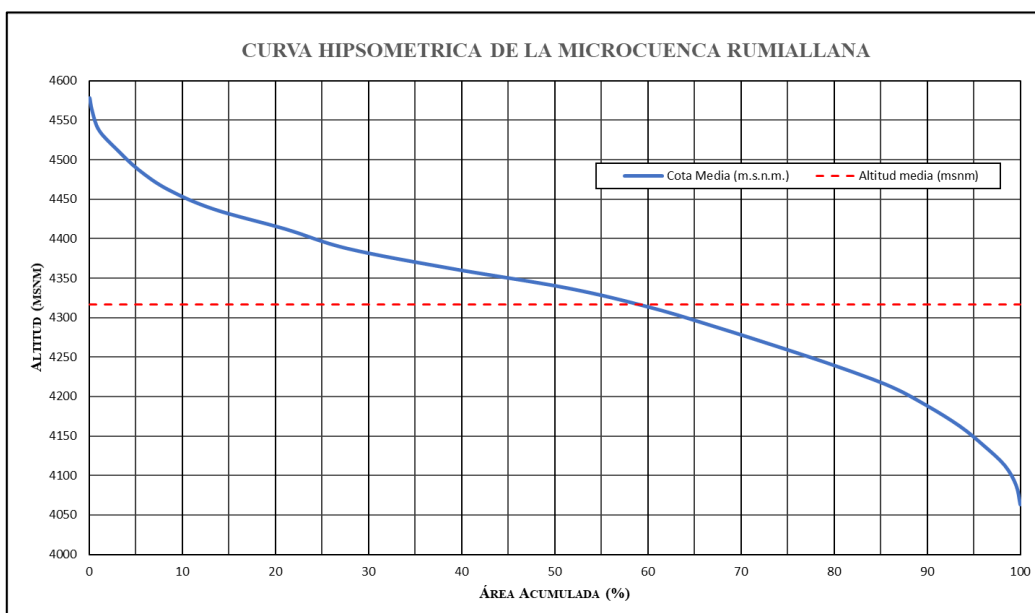
Cuadro 13 Cálculo de Elevación media de la Microcuenca Rumiallana

Nº	COTAS INTERVALO DE CLASE (m.s.n.m.)		COTA MEDIA (m.s.n.m.)	ÁREA (KM2)	ÁREA ACUMULADA (Km ²)	ÁREA (%)	ÁREA ACUMULADA (%)
01	4582	- 4575	4578.5	0.005	0.005	0.053	0.053
02	4575	- 4550	4562.5	0.024	0.029	0.255	0.308
03	4550	- 4525	4537.5	0.070	0.099	0.744	1.052
04	4525	- 4500	4512.5	0.186	0.285	1.976	3.028
05	4500	- 4475	4487.5	0.214	0.499	2.273	5.301
06	4475	- 4450	4462.5	0.296	0.795	3.145	8.446
07	4450	- 4425	4437.5	0.465	1.260	4.940	13.386
08	4425	- 4400	4412.5	0.719	1.979	7.638	21.024
09	4400	- 4375	4387.5	0.635	2.614	6.746	27.770
10	4375	- 4350	4362.5	1.037	3.651	11.017	38.787
11	4350	- 4325	4337.5	1.183	4.834	12.568	51.355
12	4325	- 4300	4312.5	0.852	5.686	9.051	60.406
13	4300	- 4275	4287.5	0.667	6.353	7.086	67.492
14	4275	- 4250	4262.5	0.626	6.979	6.650	74.142
15	4250	- 4225	4237.5	0.597	7.576	6.342	80.484
16	4225	- 4200	4212.5	0.530	8.106	5.631	86.115
17	4200	- 4175	4187.5	0.376	8.482	3.994	90.109
18	4175	- 4150	4162.5	0.319	8.801	3.389	93.498
19	4150	- 4125	4137.5	0.246	9.047	2.613	96.112
20	4125	- 4100	4112.5	0.210	9.257	2.231	98.343
21	4100	- 4075	4087.5	0.114	9.371	1.211	99.554
22	4075	- 4051	4063.0	0.042	9.413	0.446	100.000
23	Área Total (Km2)			9.4			
24	Elevación Media (m.s.n.m.)				4316.5		

Fuente: Elaboración propia en base a la información obtenido del sistema de información geográfica, 2018.

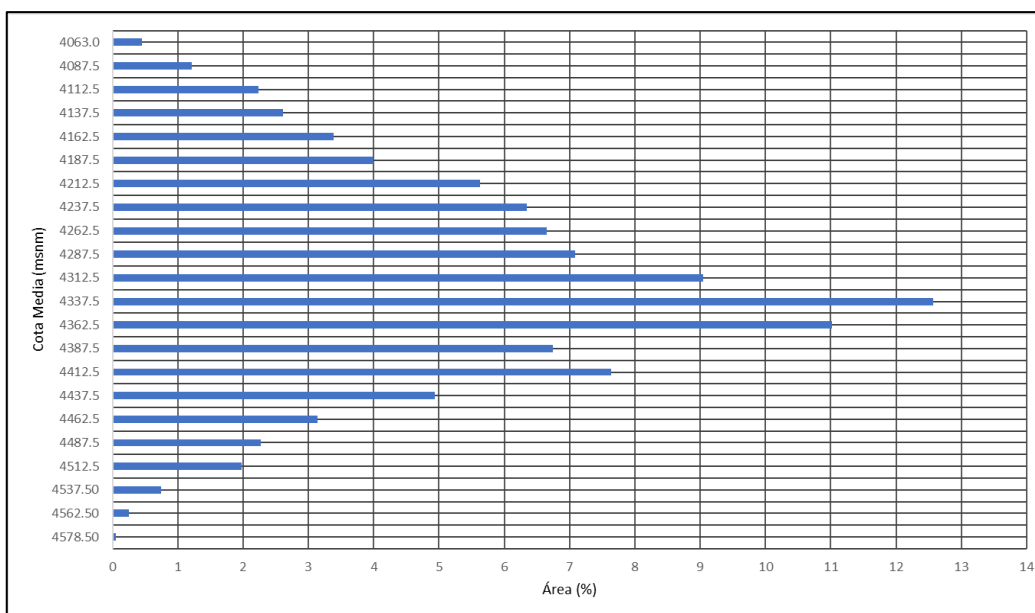
Asimismo, se presenta gráficamente la distribución de la curva hipsométrica de la microcuenca Rumiallana y de la frecuencia en porcentaje de cada nivel.

Gráfico 6 *Curva Hipsométrica de la Microcuenca Rumiallana*



Fuente: Elaborado en base a las curvas hipsométricas, 2018.

Gráfico 7 *Frecuencia de Altitudes de la Microcuenca Rumiallana*



Fuente: Elaborado en base a las curvas hipsométricas, 2018.

Los resultados según el método de Alvord se presentan en el Cuadro 14, en el que se obtuvo como pendiente 0.3914 m/m.

Cuadro 14 Cálculo de pendiente media – Método de Alvord

N°	COTAS (MSNM)	LONGITUD DE CURVA DE NIVEL (KM)	DESNIVEL (KM)	LONGITUD * DESNIVEL (KM ²)	PENDIENTE MEDIA DE LA FAJA
		Li	Di	Li*Di0	S
01	4051	0	0	0	0
02	4075	1.145	0.037	0.042	0.0045
03	4100	2.441	0.025	0.061	0.0065
04	4125	4.346	0.025	0.109	0.0116
05	4150	5.454	0.025	0.136	0.0145
06	4175	6.763	0.025	0.169	0.0180
07	4200	8.039	0.025	0.201	0.0214
08	4225	9.966	0.025	0.249	0.0265
09	4250	11.04	0.025	0.276	0.0294
10	4275	11.351	0.025	0.284	0.0302
11	4300	11.996	0.025	0.300	0.0319
12	4325	13.508	0.025	0.338	0.0359
13	4350	14.569	0.025	0.364	0.0387
14	4375	12.089	0.025	0.302	0.0322
15	4400	9.373	0.025	0.234	0.0249
16	4425	8.896	0.025	0.222	0.0237
17	4450	5.472	0.025	0.137	0.0146
18	4475	3.862	0.025	0.097	0.0103
19	4500	2.992	0.025	0.075	0.0080
20	4525	2.176	0.025	0.054	0.0058
21	4550	0.94	0.025	0.024	0.0025
22	4575	0.268	0.02	0.005	0.0006
23	4582	0	0	0	0
24	Pendiente media (m/m)			0.3914	

Fuente: Elaboración propia en base a la información recopilada de los sistemas de información geográfica, 2018.

Por otro lado, la pendiente calculada mediante el método de Horton presentado en el Cuadro 15 es de 0.3838 (m/m).

Cuadro 15 Cálculo de pendiente media – Método de Horton

N°	LÍNEA DEL RETICULADO	INTERSECCIONES Y TANGENCIAS		LONGITUD DE LÍNEAS RETICULADAS (KM)	
		Nx	Ny	Lx	Ly
01	0	0	0	0	0
02	1	2	7	0.45	0.4
03	2	4	11	1	0.87
04	3	8	16	1.22	1.27
05	4	12	18	1.33	1.61
06	5	12	18	1.39	2.06

N°	LÍNEA DEL RETICULADO	INTERSECCIONES Y TANGENCIAS		LONGITUD DE LÍNEAS RETICULADAS (KM)	
		Nx	Ny	Lx	Ly
07	6	11	30	1.45	2.99
08	7	14	38	1.54	3.33
09	8	14	39	1.52	3.44
10	9	16	43	1.52	4.03
11	10	15	37	1.55	4.13
12	11	15	38	1.66	4.27
13	12	16	39	1.76	4.31
14	13	19	52	1.79	4.37
15	14	22	54	1.94	4.42
16	15	21	52	2.22	4.48
17	16	26	53	2.5	4.54
18	17	26	50	2.67	4.58
19	18	24	45	2.8	4.51
20	19	26	54	2.97	4.36
21	20	25	48	3.19	4.22
22	21	32	42	3.31	3.98
23	22	21	40	3.29	3.38
24	23	20	35	3.24	3.19
25	24	20	26	3.2	2.27
26	25	24	23	3.15	1.81
27	26	26	27	2.88	1.84
28	27	27	28	2.71	1.84
29	28	30	21	2.64	1.88
30	29	27	18	2.59	1.8
31	30	22	13	2.47	1.38
32	31	26	10	2.41	1.13
33	32	29	8	2.37	0.86
34	33	26	7	2.16	0.6
35	34	16	-	2.06	-
36	35	18	-	2	-
37	36	17	-	2	-
38	37	17	-	1.98	-
39	38	18	-	2.02	-
40	39	17	-	2	-
41	40	11	-	2.05	-
42	41	8	-	1.96	-
43	42	7	-	1.86	-
44	43	7	-	1.52	-
45	44	3	-	0.98	-
46	45	1	-	0.62	-
47	Sumas	798	1040	93.95	94.15
48	Sumatoria de N		1838		
49	Sumatoria de L		188.1		

N°	LÍNEA DEL RETICULADO	INTERSECCIONES Y TANGENCIAS		LONGITUD DE LÍNEAS RETICULADAS (KM)	
		Nx	Ny	Lx	Ly
50	Desnivel Constante (m)			25	
51	Sec Ø			1.57	
52	Pendiente Media (m/m)			0.3835	

Fuente: Elaboración propia en base a la información recopilada de los sistemas de información geográfica, 2018.

4.2.2.3.4 Cálculo de Pendiente del Rio Rumiallana

El cálculo de pendiente del río Rumiallana se realizó mediante el método de Taylor y Schwarz el mismo que considera la longitud del cauce principal y las cotas que atraviesa; donde se obtuvo una pendiente de 0.0530 (m/m) cuyo desarrollo se presenta en el Cuadro 16,

$$S = \left[\frac{L_{total} * 1000}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{L_3}{\sqrt{S_3}} + \dots + \frac{L_n}{\sqrt{S_n}}} \right]^2$$

Nota:

S: Pendiente método de Taylor y Schwarz (m/m)

L_{total} : Longitud total del cauce del rio Rumiallana (km)

L_1 : Longitud en el tramo 1 (km)

S_1 : Pendiente en el tramo 1 (m/m)

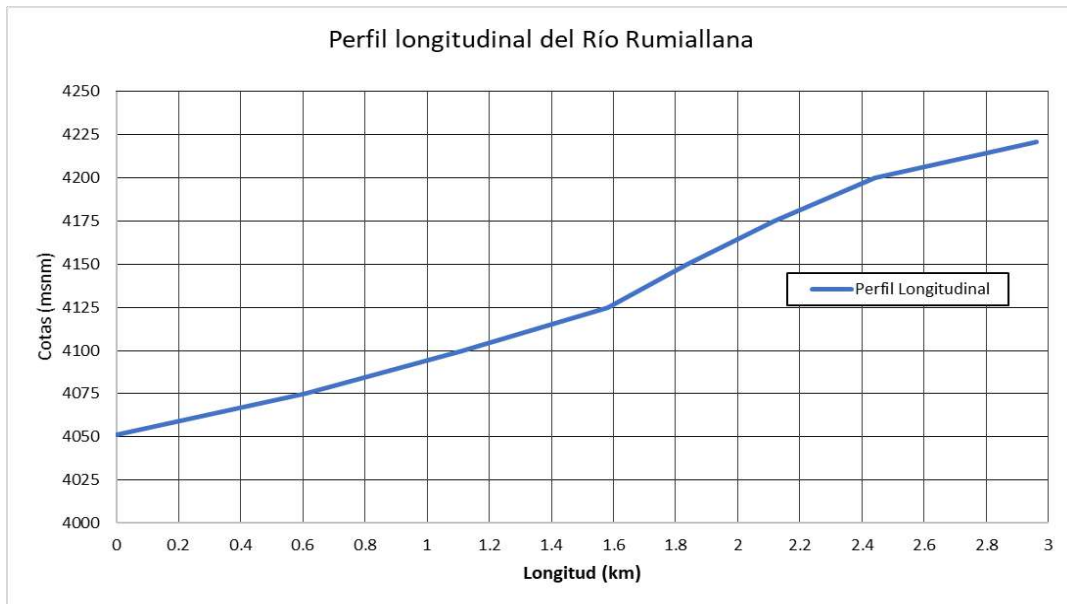
Cuadro 16 Cálculo de Pendiente del cauce Rumiallana

N°	COTAS (msnm)	PROGRESIVA (km)	LONGITUD POR TRAMO "L"(km)	DESNIVEL "H" (m)	PENDIENTE POR TRAMO "S" (M/M)	\sqrt{S}	L/\sqrt{S}
01	4051	0	0	0	-	-	-
02	4075	0.611	0.611	24	0.0393	0.1982	3082.877
03	4100	1.111	0.5	25	0.0500	0.2236	2236.068
04	4125	1.58	0.469	25	0.0533	0.2309	2031.371
05	4150	1.836	0.256	25	0.0977	0.3125	819.200
06	4175	2.117	0.281	25	0.0890	0.2983	942.084
07	4200	2.442	0.325	25	0.0769	0.2774	1171.804
08	4221	2.961	0.519	21	0.0405	0.2012	2580.129
09	Longitud Total (km)		3.0		Suma total L/\sqrt{S}		12863.533
10	Pendiente (m/m)				0.0530		

Fuente: Elaboración propia en base a la información recopilada de los sistemas de información geográfica, 2018.

Asimismo, se presenta gráficamente los resultados del perfil longitudinal del mismo en el Gráfico 8:

Gráfico 8 *Perfil longitudinal del Río Rumiallana*



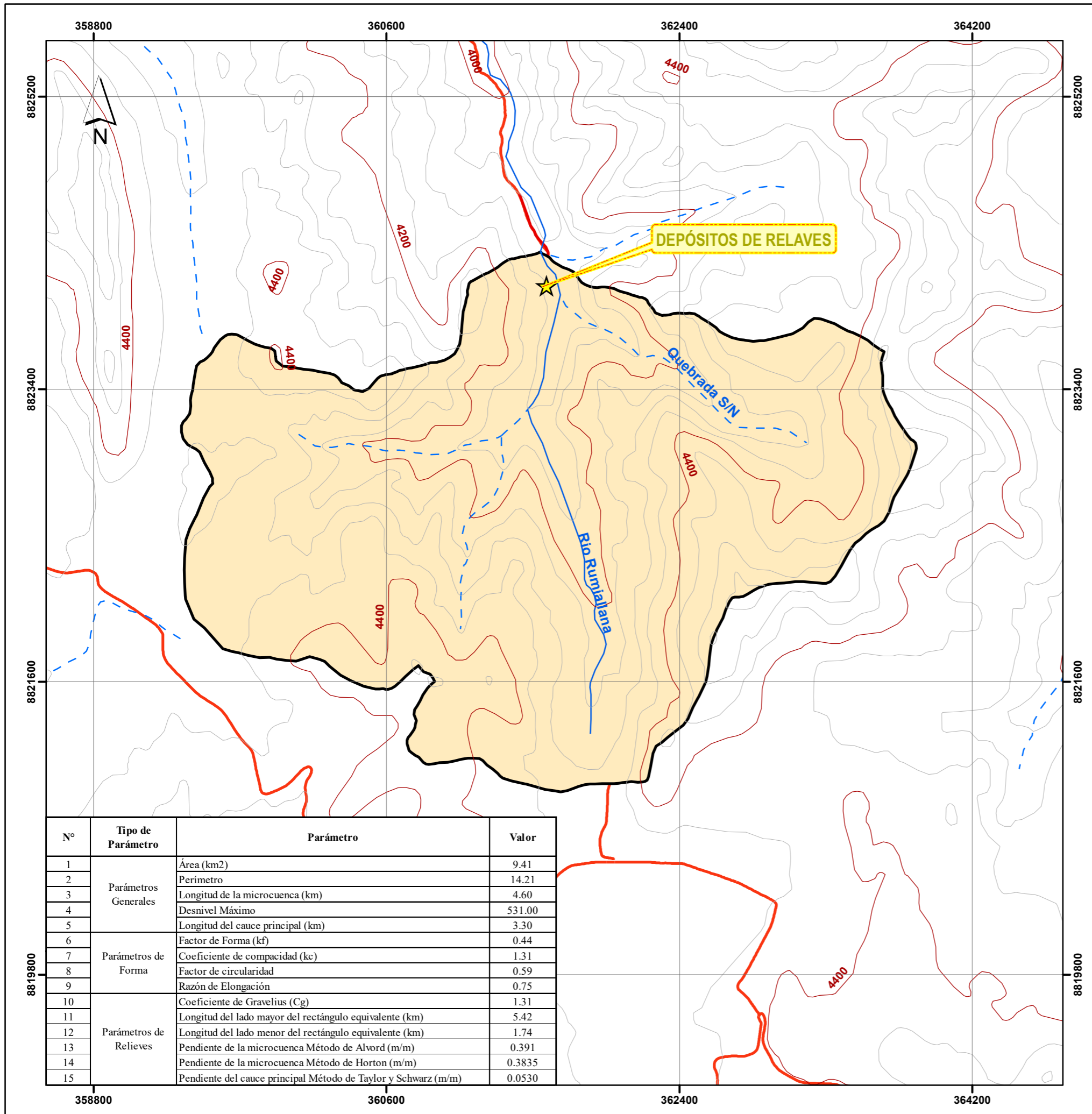
Fuente: Elaboración propia en base a la información recopilada de los sistemas de información geográfica, 2018.

Finalmente, en el Cuadro 17 se presenta el resumen de las características morfológicas de la microcuenca Rumiallana y de su cauce principal, así mismo en el Mapa 9 se presenta gráficamente estas características bajo un sistema de información geográfica debidamente referenciado.

Cuadro 17 *Resumen de características morfológicas – microcuenca Rumiallana*

N°	TIPO DE PARÁMETRO	PARÁMETRO	VALOR
01		Área (km ²)	9.41
02		Perímetro	14.21
03	Parámetros Generales	Longitud de la microcuenca (km)	4.60
04		Desnivel Máximo	531.00
05		Longitud del cauce principal (km)	3.30
06		Factor de Forma (kf)	0.44
07	Parámetros de Forma	Coefficiente de compacidad (kc)	1.31
08		Factor de circularidad	0.59
09		Razón de Elongación	0.75
10		Coefficiente de Gravelius (Cg)	1.31
11		Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)	5.42
12	Parámetros de Relieves	Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km)	1.74
13		Pendiente de la microcuenca Método de Alvord (m/m)	0.391
14		Pendiente de la microcuenca Método de Horton (m/m)	0.3835
15		Pendiente del cauce principal Método de Taylor y Schwarz (m/m)	0.0530

Fuente: Elaboración propia en base a la información recopilada de los sistemas de información geográfica, 2018.



N°	Tipo de Parámetro	Parámetro	Valor
1	Parámetros Generales	Área (km ²)	9.41
2		Perímetro	14.21
3		Longitud de la microcuenca (km)	4.60
4		Desnivel Máximo	531.00
5		Longitud del cauce principal (km)	3.30
6	Parámetros de Forma	Factor de Forma (kf)	0.44
7		Coefficiente de compacidad (kc)	1.31
8		Factor de circularidad	0.59
9		Razón de Elongación	0.75
10	Parámetros de Relieves	Coefficiente de Gravelius (Cg)	1.31
11		Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)	5.42
12		Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km)	1.74
13		Pendiente de la microcuenca Método de Alvord (m/m)	0.391
14		Pendiente de la microcuenca Método de Horton (m/m)	0.3835
15		Pendiente del cauce principal Método de Taylor y Schwarz (m/m)	0.0530



LEYENDA

HIDROGRAFÍA

- RÍOS
- QUEBRADAS

HIPSOGRAFÍA

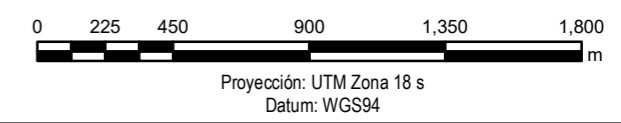
- CURVAS PRINCIPALES
- CURVAS SECUNDARIAS

LÍMITES

- REGIONES
- VIAS DE ACCESO

SIMBOLOGÍA

- DEPÓSITOS DE RELAVES
- MICROCUENCA RUMIALLANA



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA MICROCUENCA RUMIALLANA

	DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 9
	SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:25000	
	APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gov.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.2.2.4 Sistema de Drenaje

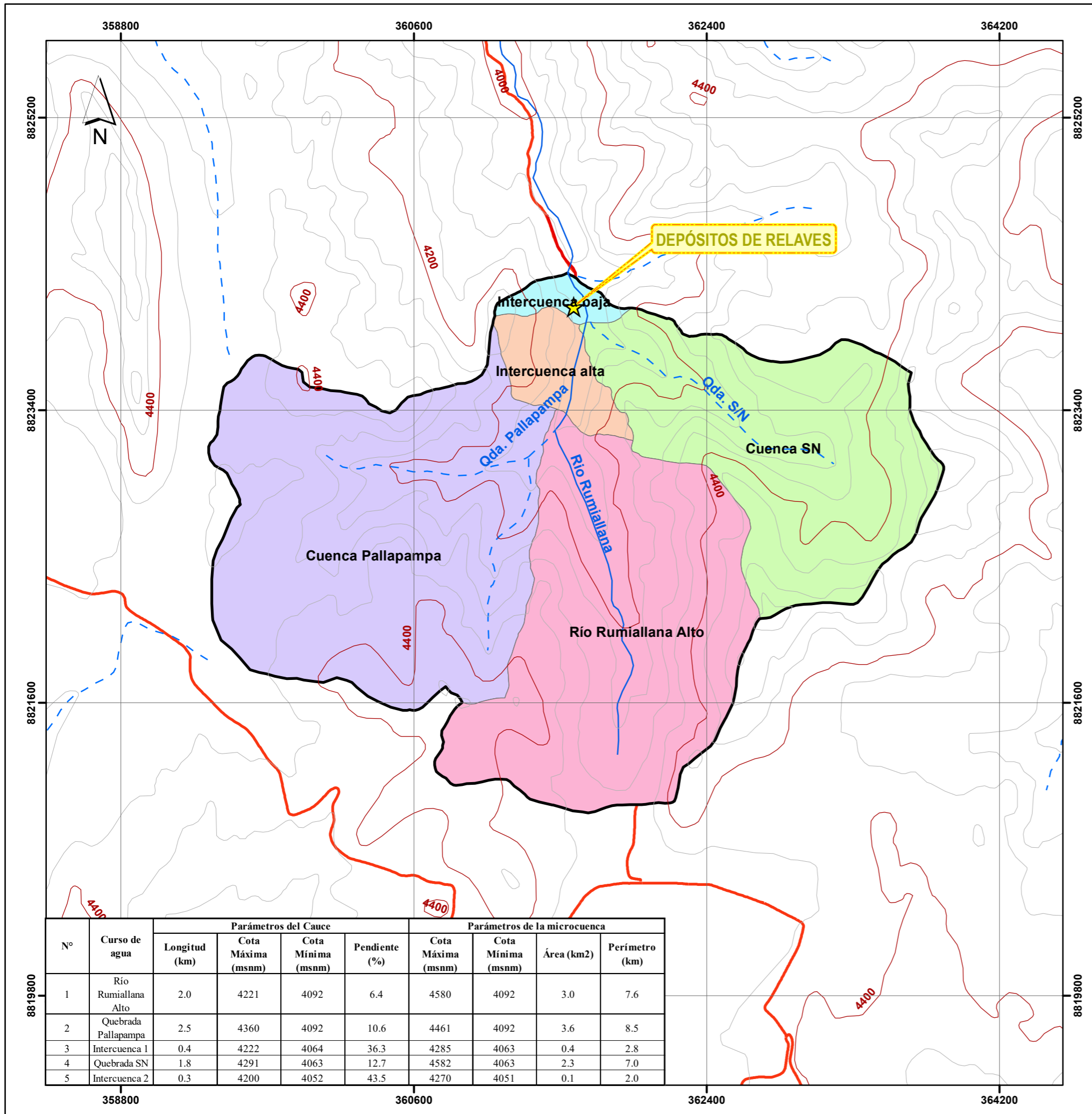
El sistema de drenaje se evalúa mediante la identificación de las quebradas que alimentan al cauce principal de la microcuenca Rumiallana, cuya delimitación y cálculo de características se realizó con ayuda del software ArcGIS, de donde se obtuvo que está compuesta por 5 microsistemas de alimentación; posteriormente a través del criterio de Strahler, se determinó que la microcuenca Rumiallana es de segundo orden, en conclusión, se considera que la microcuenca evaluada presenta un drenaje pobre.

En el Cuadro 18, se presentan el sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana, donde se muestra los parámetros morfológicos de los tributarios e Inter cuencas y está representada en la Mapa 10.

Cuadro 18 *Sistema de Drenaje de la microcuenca Rumiallana*

N°	CURSO DE AGUA	PARÁMETROS DEL CAUCE				PARÁMETROS DE LA MICROCUENCA			
		LONGITUD (km)	COTA MÁXIMA (msnm)	COTA MÍNIMA (msnm)	PENDIENTE (%)	COTA MÁXIMA (msnm)	COTA MÍNIMA (msnm)	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (km)
01	Río Rumiallana Alto	2.0	4221	4092	6.4	4580	4092	3.0	7.6
02	Quebrada Pallapampa	2.5	4360	4092	10.6	4461	4092	3.6	8.5
03	Intercuenca 1	0.4	4222	4064	36.3	4285	4063	0.4	2.8
04	Quebrada SN	1.8	4291	4063	12.7	4582	4063	2.3	7.0
05	Intercuenca 2	0.3	4200	4052	43.5	4270	4051	0.1	2.0

Fuente: Elaboración propia en base a la información recopilada de los sistemas de información geográfica, 2018.



N°	Curso de agua	Parámetros del Cauce				Parámetros de la microcuenca			
		Longitud (km)	Cota Máxima (msnm)	Cota Mínima (msnm)	Pendiente (%)	Cota Máxima (msnm)	Cota Mínima (msnm)	Área (km ²)	Perímetro (km)
1	Río Rumiallana Alto	2.0	4221	4092	6.4	4580	4092	3.0	7.6
2	Quebrada Pallapampa	2.5	4360	4092	10.6	4461	4092	3.6	8.5
3	Intercuenca 1	0.4	4222	4064	36.3	4285	4063	0.4	2.8
4	Quebrada SN	1.8	4291	4063	12.7	4582	4063	2.3	7.0
5	Intercuenca 2	0.3	4200	4052	43.5	4270	4051	0.1	2.0



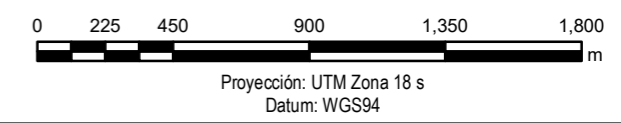
LEYENDA

HIDROGRAFÍA
 RÍOS (Blue line)
 QUEBRADAS (Dashed blue line)

HIPSOGRAFÍA
 CURVAS PRINCIPALES (Red line)
 CURVAS SECUNDARIAS (Grey line)

LIMITES
 REGIONES (Grey outline)
 VIAS DE ACCESO (Red outline)

SIMBOLOGÍA
 DEPÓSITOS DE RELAVES (Yellow star)
 MICROCUENCA RUMIALLANA (Black outline)



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
SISTEMA DE DRENAJE DE LA MICROCUENCA RUMIALLANA

	DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 10
	SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:25000	
	APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gov.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.2.3 Caracterización Climática

La caracterización considera los siguientes aspectos a evaluar análisis de precipitación total mensual, análisis de precipitación máxima en 24 horas, relación entre I-D-T, Cálculo de precipitación máxima probable, temperatura, humedad relativa, evaporación, velocidad y dirección del viento. Los valores usados se presentando en el Anexo 4, los mismo que se presentan a continuación:

4.2.3.1 Análisis de Precipitación total mensual

Para el desarrollo de este ítem se realizó la selección de 03 (tres) estaciones meteorológicas fuera del área de estudio, debido a que la microcuenca evaluada no cuenta con información histórica de precipitación, no obstante, es importante resaltar que estas presentan similitudes hidrológicas y sobre todo son las más cercanas a la microcuenca evaluada y servirá de base para realizar la extrapolación de la data histórica del SENAMHI. Las estaciones seleccionadas tienen por nombre Cerro de Pasco, Yanahuanca y San Rafael, y se encuentran a una distancia de 4.3 km, 31.4 km y 38.2 km, respectivamente al centroide de la Microcuenca Rumiallana.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM – N° 1090), publicado el año 2012, señala que para el análisis de precipitación total mensual se debe disponer de una data mínima entre 20 y 30 años. Por ello, las estaciones Cerro de Pasco, Yanahuanca y San Rafael presentan una serie histórica de 26, 26 y 30 años respectivamente. En el Cuadro 19 se presentan las características espaciales de las estaciones meteorológicas, anudado a ello, en el Cuadro 20 se presenta la información que se dispone por cada estación, finalmente en el Mapa 11 se presenta gráficamente la ubicación de estas estaciones bajo un sistema geográfico debidamente georreferenciado.

Cuadro 19 Estaciones con Registro de Precipitación

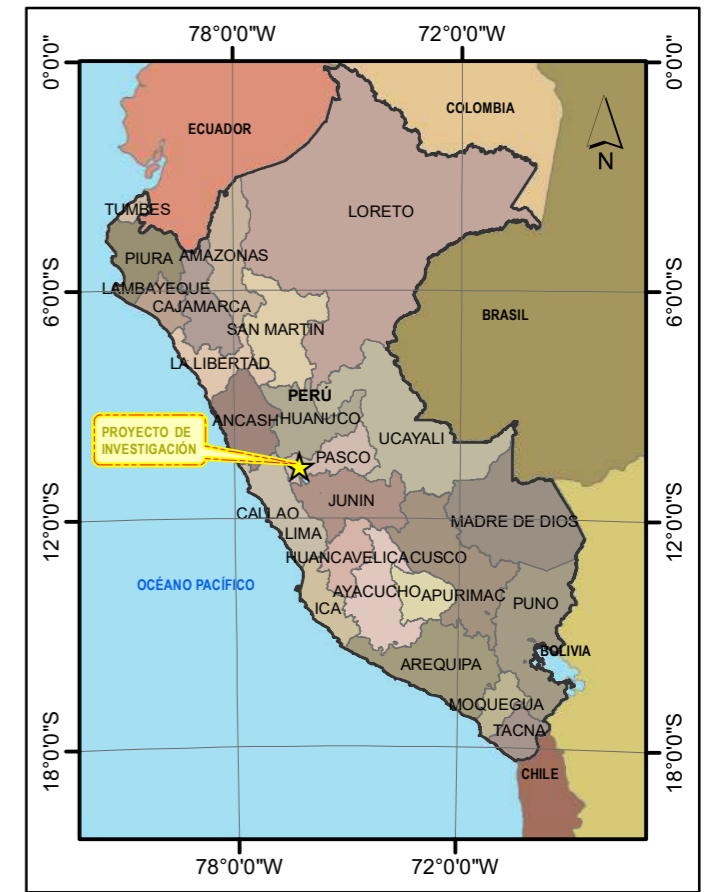
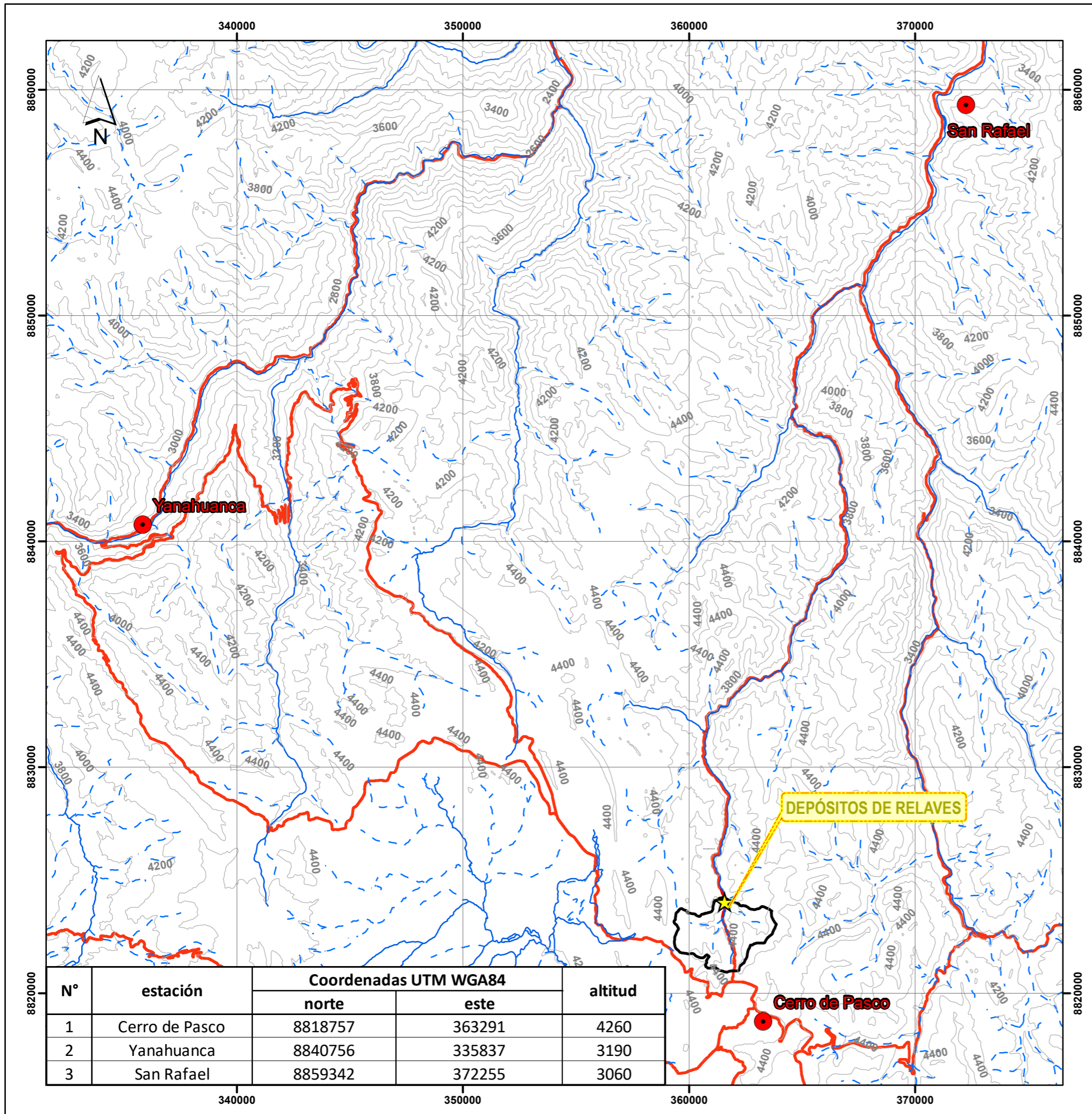
Estación	Tipo	Ubicación			Coordenadas		Altitud
		Departamento	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	msnm
Cerro de Pasco	Climatológica Ordinaria	Pasco	Pasco	Chaupimarca	76° 15'	10° 41'	4260
Yanahuanca	Climatológica Ordinaria	Pasco	Daniel Alcides Carrión	Yanahuanca	76° 30'	10° 29'	3190
San Rafael	Climatológica Ordinaria	Huánuco	Ambo	San Rafael	76° 10'	10° 19'	3060

Fuente: Elaboración Propia en base al SENAMHI, 2018.

Cuadro 20 Información Disponible de Precipitación

N°	ESTACIÓN	PERIODO DE REGISTRO	AÑOS DE REGISTRO	OPERADOR
01	Cerro de Pasco	1989-1995 y 1998-2016	26	SENAMHI
02	Yanahuanca	1989-2014	26	SENAMHI
03	San Rafael	1993-2015	23	SENAMHI

Fuente: Elaboración Propia en base al SENAMHI, 2018.



LEYENDA

HIDROGRAFÍA

- RÍOS
- QUEBRADAS

HIPSOGRAFÍA

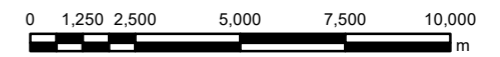
- CURVAS PRINCIPALES
- CURVAS SECUNDARIAS

LÍMITES

- REGIONES
- VIAS DE ACCESO

SIMBOLOGÍA

- DEPÓSITOS DE RELAVES
- ESTACIONES METEOROLÓGICAS
- MICROCUECNA RUMIALLANA



Proyección: UTM Zona 18 s
Datum: WGS94

PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 11
SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:180000	
APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

4.2.3.1.1 Tratamiento de Información Pluviométrica

El tratamiento de información pluviométrica, se realizó en 02 (dos) etapas, en la primera se realiza el análisis de consistencia y la segunda etapa corresponde a la completación y extensión de datos de precipitación total mensual.

4.2.3.1.1.1 Análisis de Consistencia

El análisis de consistencia de precipitación, es el proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de los errores de la serie de datos, a fin de obtener series confiables. Para el análisis de consistencia, se eligieron la 03 (tres) estaciones y se aplicó el método de vector regional.

Método del vector regional (MVR)

El MRV es un método de cálculo orientado a 03 (tres) tareas definitivas: La crítica de datos, la homogenización y la extensión – completación de datos de precipitación. La hipótesis fundamental consiste en asumir que, para una misma zona climática sometida a un mismo régimen de precipitaciones, los totales pluviométricos anuales son pseudo – proporcionales, con una pequeña variación aleatoria cada año debido a la repartición de las lluvias dentro de la zona.

La principal diferencia con los otros métodos, es la creación de una estación ficticia que se una “especie de promedio” de todas las estaciones de la zona, con la cual se comparación cada una de las estaciones, difiriendo de los métodos clásicos como comparar 02 (dos) por 02 (dos) estaciones por correlación o doble masa. El MVR emplea entonces, para el cálculo de este “Vector” el concepto de precipitación media extendida al periodo de trabajo, salvando los problemas del peso de estaciones más lluviosas sobre las menos lluviosas (siendo este el principal problema que ocurría con un método simple) y la existencia de datos faltantes o diferentes periodos de funcionamiento (que calcularían promedios alterados en caso de tener solamente años húmedos o solamente años secos de determinada estación) como ocurriría al obtener valores estandarizados o centrados reducidos de lluvia.

Bajo estos conceptos, se emplea el método de Mínimos cuadrados para encontrar los índices pluviométricos regionales anuales “ Z_i ” y la precipitación media extendida “ P_j ”, esto se logra al minimizar la sumatoria de la expresión:

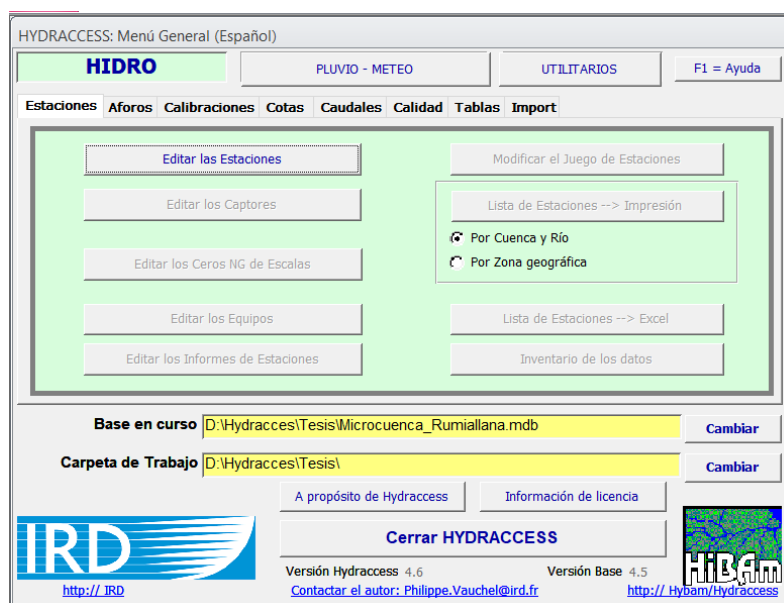
$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\frac{P_{ij}}{P_i} - Z_i \right)$$

Donde i es el índice de año, j el índice de estación, N el número de años y M el número de estaciones. P_{ij} es la precipitación anual en la estación j en el año i , P_j es la precipitación media extendida al periodo de N años y finalmente Z_i es el índice pluviométrico regional del año i . El procesamiento del problema sería dificultoso, debido al hecho que ciertos P_{ij} no fueron observados y faltan. Sin embargo, es posible mediante el uso de un computador, por descomposición en un sistema $(M-1)$ ecuaciones lineales a $(M-1)$ desconocidas. La serie de los índices cronológicos Z_i se llama “Vector regional de índices pluviométrico anuales”.

Para el presente proyecto de investigación, se aplica el software hidrológico HYDRACCESS (Ver Imagen 4), la que ejecuta el MVR y proporciona información diversa en hojas de cálculo Microsoft Excel. La determinación de la calidad de una estación, es función de diferentes parámetros calculados; los parámetros más importantes, que dan una buena idea del comportamiento de una estación son:

- (a) La desviación Standard de los desvíos (D.E.D), compara la desviación de una estación respecto al vector, un valor fuerte indica desviaciones fuertes.
- (b) Correlación entre la estación y el vector, si la zona es homogénea climáticamente, los valores serán cercanos entre sí, si un valor es sensible más bajo que el promedio de la zona, entonces la estación tiene fuerte probabilidad de tener errores o que se encuentre en el margen de la zona.

Imagen 4 Interfaz de HYDRACCESS



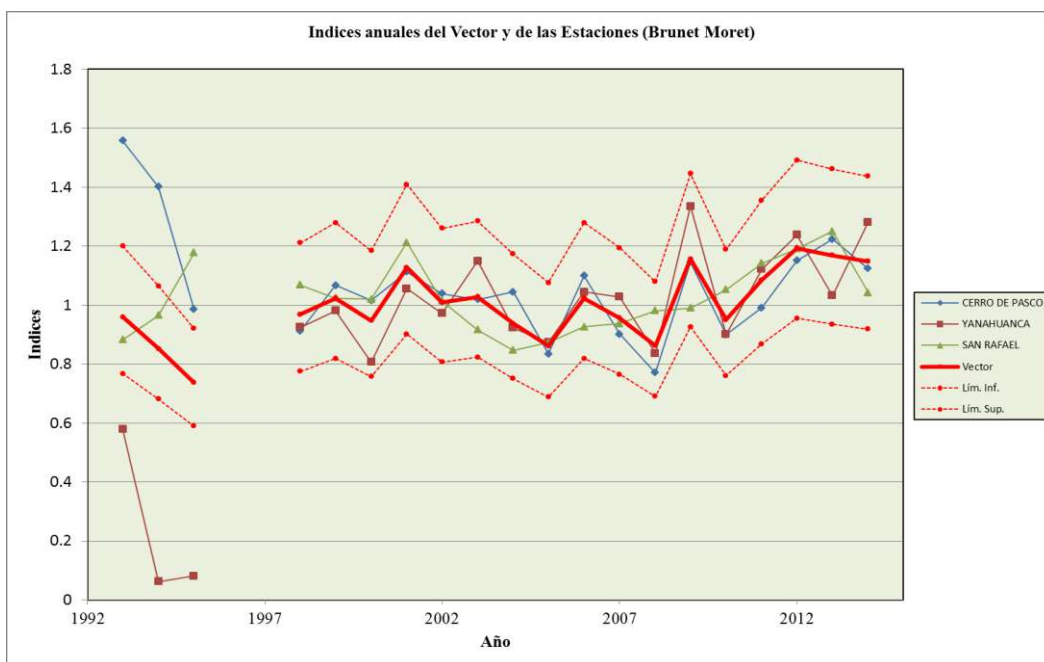
Fuente: Elaborado en fase al software, 2018.

El software tiene incorporado el método de G. Hiez se basa en el cálculo de la moda (valor más frecuente), y el método de Brunet Moret que se basa en el promedio, eliminando los valores demasiado alejados del promedio para evitar contaminar demasiado las estimaciones con datos evidentemente erróneos. Cada método estima una media extendida para cada estación sobre el periodo de trabajo, y calcula los índices anuales de cada estación, obtenidos al dividir el valor observado en una estación para un año por esta medida extendida. Por ello es importante precisar que el presente proyecto de investigación, considera el uso del método de Brunet Moret y se considera una zona como homogénea para el área de estudio, si los coeficientes de correlación anual entre el vector y la estación son superiores o iguales a 0.7.

En el Gráfico 9, se aprecia el índice anual del vector y de las estaciones, mientras que en el Fuente: Elaborado en base a la aplicación del HYDRACCESS, 2018.

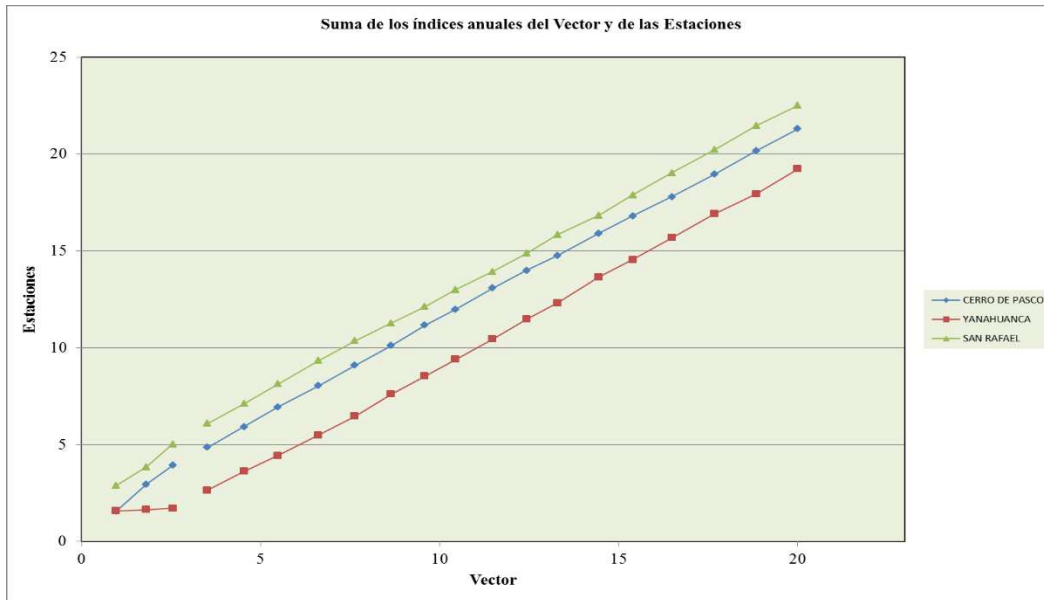
Gráfico 10, se muestra el acumulado de los índices del vector y de las estaciones; las representaciones gráficas, muestran la existencia de grandes saltos hidrológicos, además presentan valores altos de desviación estándar de desvíos (D.E.D) y valores bajos de correlación entre el vector y cada estación, como se aprecia en el Cuadro 21. Se han identificado que existen saltos

Gráfico 9 Índice anual del vector y de las estaciones – Resultado Inicial



Fuente: Elaborado en base a la aplicación del HYDRACCESS, 2018.

Gráfico 10 Acumulado de los índices del vector y de las estaciones – Resultado Inicial



Fuente: Elaborado en base a la aplicación del HYDRACCESS, 2018.

Cuadro 21 Parámetros del vector – Resultado Inicial

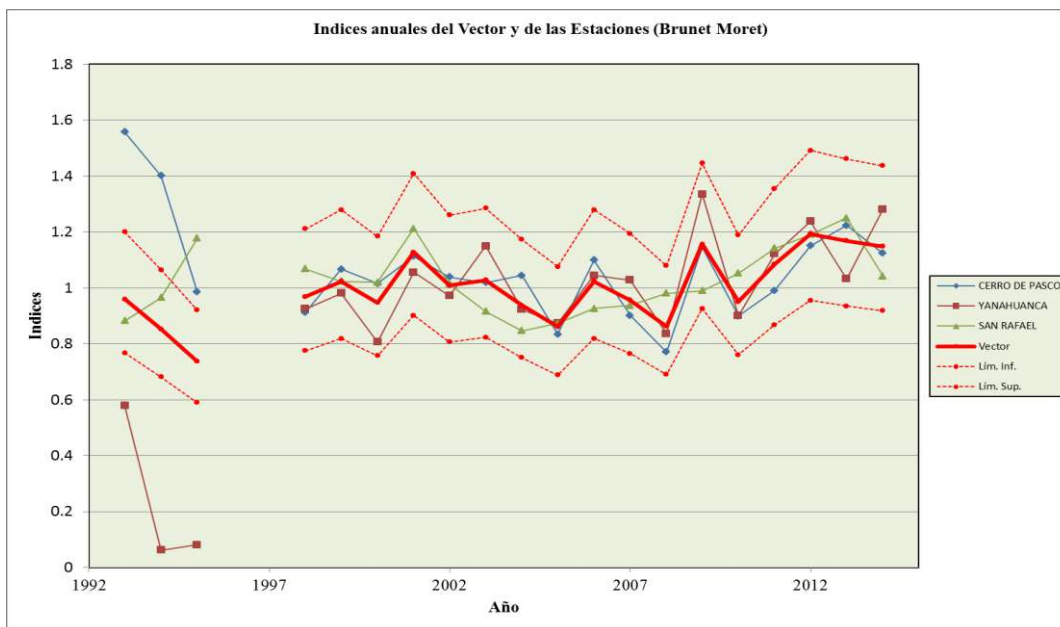
N°	ESTACIÓN	N° AÑOS	D.E. DESVÍOS	CORREL. /VECTOR
01	Cerro de Pasco	20	0.197	0.3
02	Yanahuanca	20	0.257	0.8
03	San Rafael	20	0.130	0.4

Fuente: Elaborado en base a la aplicación del HYDRACCESS, 2018.

Se han identificado que existen saltos hidrológicos significativos para la estación Cerro de Pasco en: 1990 y 1993 – 1994, en tanto, para la estación Yanahuanca en: 1989 y 194 – 1996.

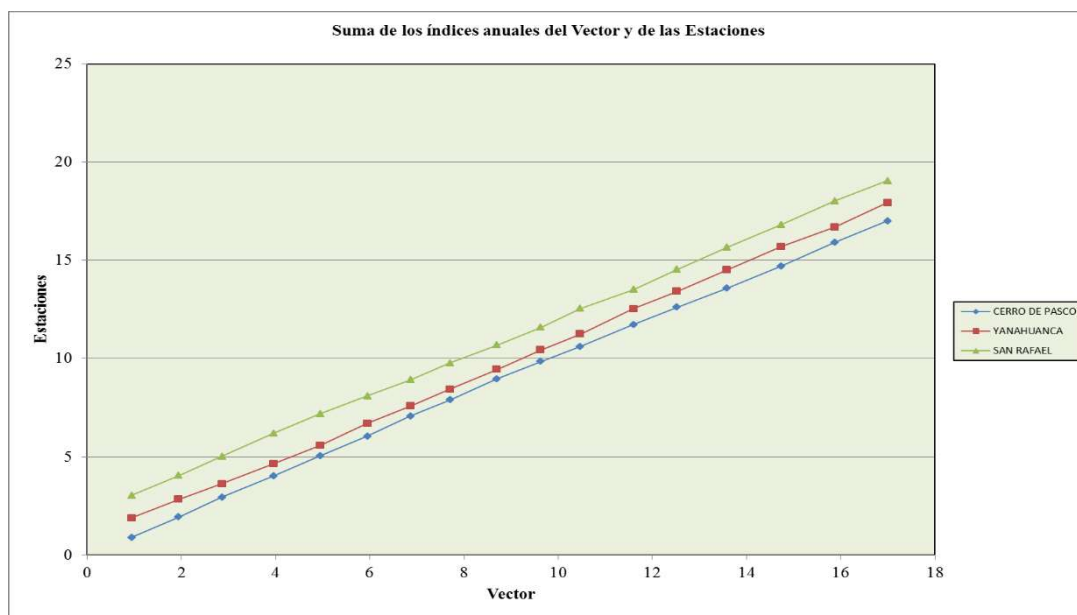
Nuevamente se corre el software hidrológico, ahora sin considerar los saltos hidrológicos, los resultados se aprecian en el Gráfico 11, Gráfico 12 y Cuadro 22, de donde se concluye que la serie evaluado es consistente, obteniendo valores bajos de desviación estándar de desvíos (D.E.D) y valores igual o mayor a 0.7 de correlación entre vector y cada estación, la cual garantiza la pseudo – proporcionalidad.

Gráfico 11 Índice anual del vector y de las estaciones – Resultado Final



Fuente: Elaborado en base a la aplicación del HYDRACCESS, 2018.

Gráfico 12 Acumulado de los índices del vector y de las estaciones – Resultado Final



Fuente: Elaborado en base a la aplicación del HYDRACCESS, 2018.

Cuadro 22 Parámetros del Vector – Resultado Final

Nº	ESTACIÓN	Nº AÑOS	D.E. DESVÍOS	CORREL./VECTOR
01	Cerro de Pasco	17	0.056	0.9
02	Yanahuanca	17	0.083	0.8
03	San Rafael	17	0.084	0.7

Fuente: Elaborado en base a la aplicación del HYDRACCESS, 2018.

4.2.3.1.1.2 Completación y Extensión de datos

La extensión de información, es el proceso de transferencia de información desde estación con “largo” registro histórico a otra con “corto” registro, por otro lado, la completación es un caso particular de la extensión; estos procesos se efectúan para tener en lo posible series, completas, más confiables y de un periodo uniforme. Para el presente reporte la completación y extensión se realizó aplicando la regresión lineal simple, para lo cual se ha elegido el par de estaciones que presentan mayor coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación entre los valores de precipitación de las estaciones Cerro de Pasco versus Yanahuanca es de 0.90, para el periodo común 2005 – 2012; mientras que, el coeficiente de correlación entre los valores de precipitación de las estaciones San Rafael versus Yanahuanca es de 0.82, para periodo común 1997 – 2001. En el Cuadro 23, se

muestra los resultados de la completación y extensión de precipitación total anual para las 03 (tres) estaciones evaluadas.

Cuadro 23 *Completación y extensión de precipitación de las estaciones evaluadas*

N°	AÑO	CERRO DE PASCO	YANAHUANCA	SAN RAFAEL
01	1989	1250.6	1198.6	1151.8
02	1990	1009.5	986.6	944.0
03	1991	932.3	969.2	927.1
04	1992	760.1	621.7	586.6
05	1993	582.3	475.3	616.4
06	1994	789.5	723.4	673.7
07	1995	913.2	869.3	822.7
08	1996	776.2	707.4	650.1
09	1997	726.5	647.9	535.3
10	1998	847.1	759.6	745.9
11	1999	989.6	805.4	714.1
12	2000	942.5	662.7	712.3
13	2001	1032.7	867.3	846.7
14	2002	963.2	797.9	709.1
15	2003	944.9	944.3	639.4
16	2004	969.1	757.5	591.8
17	2005	774.7	717.3	609.6
18	2006	1019.2	857.8	646.9
19	2007	836.9	844.1	655.1
20	2008	715.1	687.4	684.9
21	2009	1063.6	1096.0	691.3
22	2010	834.3	739.6	735.0
23	2011	918.7	921.6	797.4
24	2012	1067.3	1016.2	831.9
25	2013	1135.5	847.7	873.8
26	2014	1042.4	1052.7	727.5
27	2015	897.9	854.4	618.2
28	2016	900.3	856.7	816.8
		Información Completada y Extendida con Regresión Lineal		

Fuente: Elaborado en base a la aplicación del método de regresión lineal, 2018.

Una vez finalizada la completación y extensión de datos a paso anual, se desagrega los valores a nivel mensual, en base a los pesos porcentuales de cada uno de los meses en cada estación, obteniendo series de precipitación de periodo común 1989 – 2016 y la mismas que

se aprecian en el Cuadro 24, Cuadro 25 y Cuadro 26. En el Gráfico 13, se aprecia el histograma de precipitación de la serie consistente para el periodo de 1989 – 2016.

Cuadro 24 *Precipitación Total Mensual Consistente (mm) – Estación Cerro de Pasco*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	195.5	162.6	222.0	102.4	31.9	91.4	24.9	36.4	100.4	111.0	96.3	75.8
1990	137.9	142.1	155.7	79.5	36.2	22.8	15.3	19.2	56.4	107.8	105.0	131.5
1991	89.5	44.2	219.7	66.7	44.7	47.5	12.1	0.7	57.6	163.0	128.2	58.4
1992	100.0	78.1	106.0	76.0	8.5	29.9	3.2	48.5	62.6	93.2	24.6	129.5
1993	79.6	82.0	89.8	45.8	20.9	13.2	8.8	11.1	32.5	62.2	60.5	75.8
1994	107.9	111.2	121.8	62.2	28.3	17.9	11.9	15.0	44.1	84.3	82.1	102.8
1995	109.0	109.1	196.7	72.2	40.2	6.2	7.4	0.6	48.4	88.4	129.1	105.9
1996	106.1	109.3	119.7	61.1	27.9	17.6	11.7	14.8	43.4	82.9	80.7	101.1
1997	99.3	102.3	112.1	57.2	26.1	16.4	11.0	13.8	40.6	77.6	75.5	94.6
1998	91.5	214.2	112.0	72.2	15.7	11.4	0.0	1.5	25.4	130.5	103.7	69.0
1999	135.6	176.8	146.3	68.9	32.5	21.6	5.9	3.3	87.4	70.7	116.6	124.0
2000	189.1	153.1	132.5	42.8	43.6	5.5	11.4	29.0	25.1	118.2	48.2	144.0
2001	178.9	142.9	160.0	52.7	62.0	5.7	32.4	13.3	34.5	97.8	88.9	163.6
2002	37.0	172.5	150.1	72.8	44.3	10.9	41.7	11.6	52.0	136.2	102.3	131.8
2003	124.2	125.6	174.7	114.0	39.2	26.2	5.0	20.2	50.7	24.8	98.4	141.9
2004	69.6	163.9	69.1	62.0	36.7	30.6	24.0	29.6	112.6	88.7	130.8	151.5
2005	93.6	138.4	159.2	53.3	12.2	6.8	7.8	20.3	32.2	79.7	85.9	85.3
2006	97.2	110.4	150.4	97.0	13.3	37.9	5.6	15.1	62.7	169.0	134.2	126.4
2007	92.8	76.4	183.9	80.5	63.9	0.0	17.1	5.4	30.4	88.0	101.1	97.4
2008	135.8	94.1	50.2	63.7	11.6	26.8	6.2	13.2	58.4	103.3	68.8	83.0
2009	119.4	116.4	188.2	54.2	34.7	30.3	23.0	58.8	21.4	68.8	135.4	213.0
2010	178.0	123.3	126.5	59.9	17.0	2.0	9.6	0.0	23.7	101.2	73.1	120.0
2011	165.8	164.0	149.3	65.7	25.6	0.0	15.6	12.9	60.3	68.4	76.5	114.6
2012	152.6	166.6	88.4	104.7	44.2	16.9	5.7	7.3	53.6	106.8	116.7	203.8
2013	190.4	134.7	177.0	85.3	46.7	26.6	21.4	35.6	52.5	168.3	77.8	119.2
2014	200.0	165.2	156.0	71.1	45.2	22.0	19.7	8.3	73.7	63.4	92.9	124.9
2015	139.0	65.0	130.5	98.0	43.1	15.7	19.5	8.9	56.6	76.3	124.4	120.9
2016	87.7	164.6	107	76.2	23.7	20	9.7	33.5	32.7	107.9	107.8	129.5

Fuente: Elaborado en base a la aplicación del método de regresión lineal, 2018.

Cuadro 25 *Precipitación Total Mensual Consistente (mm) – Estación Yanahuanca*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	157.1	168.6	204.0	95.9	42.2	31.0	22.8	19.5	46.4	111.4	139.3	160.6
1990	0.0	71.4	142.7	75.5	51.3	144.2	10.1	11.4	81.9	106.4	154.7	137.0
1991	59.7	150.8	241.9	72.0	67.4	17.5	0.0	0.9	69.5	118.7	122.0	48.8
1992	46.4	24.5	91.5	11.6	0.0	45.4	15.1	83.7	13.0	144.1	106.4	40.0
1993	178.4	100.2	122.9	19.7	7.7	0.0	2.7	1.2	10.5	14.8	12.6	4.6
1994	94.8	101.7	123.1	57.9	25.5	18.7	13.7	11.7	28.0	67.2	84.1	96.9
1995	113.9	122.2	147.9	69.5	30.6	22.4	16.5	14.1	33.7	80.8	101.0	116.5
1996	92.7	99.5	120.4	56.6	24.9	18.3	13.4	11.5	27.4	65.7	82.2	94.8
1997	63.2	177.8	45.3	58.6	27.6	0.0	2.5	8.8	21.4	33.1	68.7	140.9
1998	138.2	168.7	139.2	70.5	11.9	15.4	0.0	0.3	14.4	81.5	70.9	48.6
1999	107.8	192.0	128.3	79.2	21.4	12.8	8.4	11.5	38.3	33.6	73.5	98.6
2000	137.5	84.6	167.8	43.4	15.5	9.2	11.6	0.0	11.4	42.9	60.6	78.2
2001	127.7	65.3	169.9	79.8	27.4	20.6	30.1	22.1	15.1	66.0	97.9	145.4
2002	43.3	79.7	106.3	65.2	26.3	2.6	70.9	18.3	69.2	108.0	93.7	114.4
2003	116.0	111.4	144.2	102.8	74.6	12.4	0.0	17.9	24.9	58.2	128.9	153.0
2004	29.9	84.9	86.5	29.4	39.0	35.9	20.8	16.1	48.0	121.6	94.7	150.7
2005	50.0	123.9	123.9	43.3	32.7	0.0	21.8	12.1	34.0	89.7	92.0	93.9
2006	114.3	101.2	148.6	60.3	12.2	22.3	0.5	12.3	51.2	98.0	98.9	138.0
2007	102.1	53.4	196.5	74.9	40.8	0.7	54.9	11.9	9.4	123.6	93.7	82.2
2008	104.8	122.0	81.1	34.9	21.4	13.7	0.0	11.4	39.4	78.4	84.4	95.9
2009	150.3	165.2	201.6	122.0	60.0	45.8	31.6	27.7	16.8	36.0	128.7	110.3
2010	108.2	101.4	123.6	50.1	5.4	5.8	0.0	0.0	12.1	74.1	110.2	148.7
2011	243.2	101.6	206.5	100.8	4.1	0.0	16.9	4.0	15.6	51.6	87.5	89.9
2012	92.2	178.4	91.3	137.8	8.5	30.4	16.3	0.0	51.1	59.1	130.7	220.4
2013	160.6	125.1	170.2	35.2	25.2	15.4	9.3	13.9	19.1	90.9	80.7	102.1
2014	195.4	158.5	146.4	78.6	56.0	16.7	19.7	8.0	33.8	49.7	109.5	180.4
2015	112.0	120.1	145.4	68.3	30.1	22.1	16.2	13.9	33.1	79.4	99.3	114.5
2016	112.3	120.5	145.8	68.5	30.2	22.1	16.3	13.9	33.2	79.6	99.6	114.8

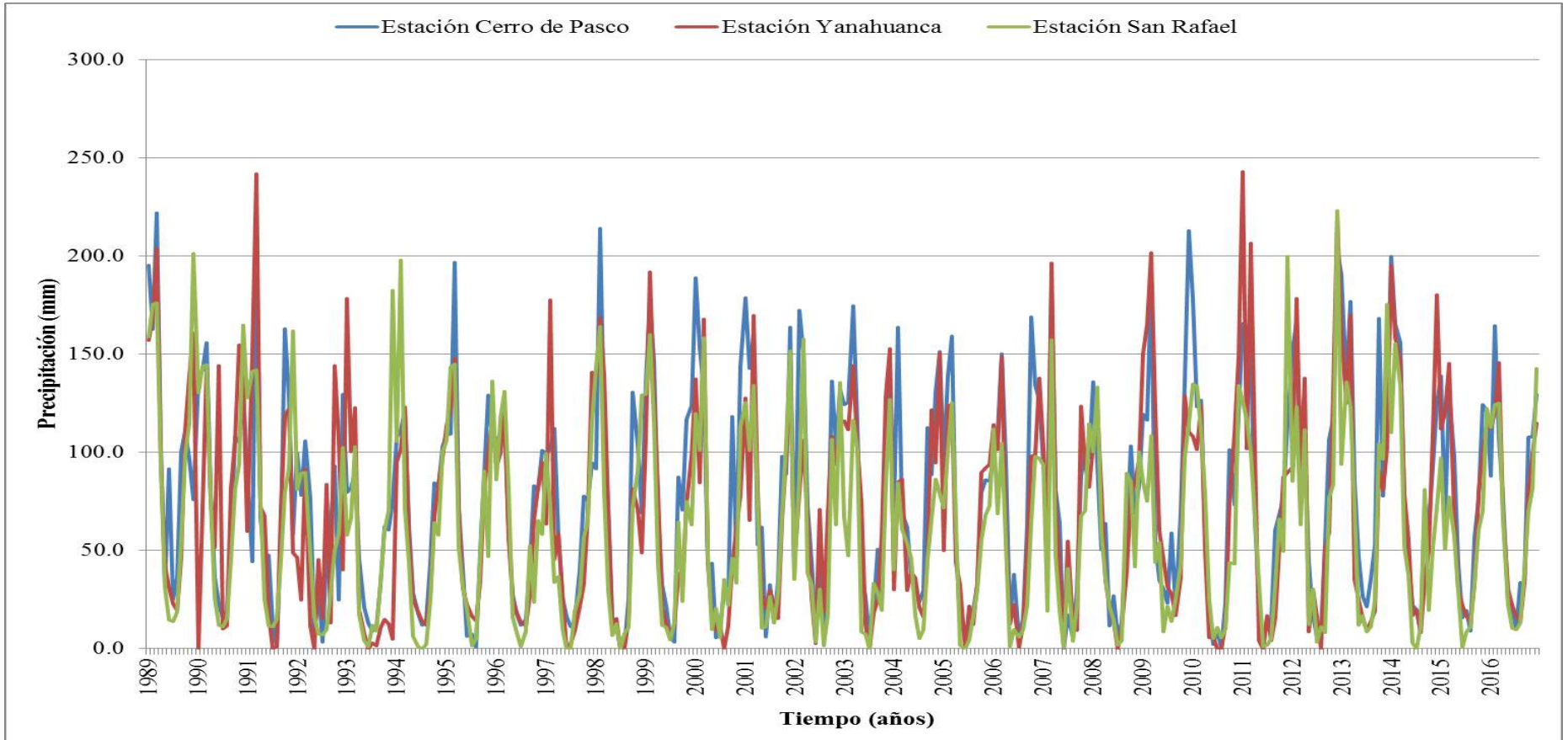
Fuente: Elaborado en base a la aplicación del método de regresión lineal, 2018.

Cuadro 26 *Precipitación Total Mensual Consistente (mm) – Estación San Rafael*

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	158.8	175.3	176.3	92.7	31.3	14.5	13.8	18.6	55.6	98.9	115.0	201.2
1990	130.2	143.7	144.5	75.9	25.6	11.8	11.3	15.2	45.6	81.0	94.2	164.9
1991	127.8	141.1	141.9	74.6	25.2	11.6	11.1	15.0	44.8	79.6	92.5	162.0
1992	80.9	89.3	89.8	47.2	15.9	7.4	7.0	9.5	28.3	50.3	58.5	102.5
1993	57.7	66.3	102.7	17.1	4.0	1.0	11.9	8.9	33.9	60.2	70.0	182.7
1994	105.4	198.1	71.2	43.5	6.2	0.8	0.0	2.1	24.2	64.2	57.6	100.4
1995	105.7	143.5	144.8	51.5	31.5	20.0	1.5	5.0	45.5	90.5	46.8	136.4
1996	86.0	117.5	131.2	82.2	16.0	8.0	0.9	8.9	52.3	23.4	65.4	58.3
1997	99.5	71.3	33.8	36.6	9.9	0.0	0.0	19.1	28.1	56.7	64.9	115.4
1998	143.4	164.2	79.7	29.5	6.6	12.5	0.0	7.6	10.7	72.1	90.4	129.2
1999	129.4	160.1	115.1	42.8	11.7	10.9	4.4	13.2	64.4	24.0	75.0	63.1
2000	119.9	100.9	158.6	47.5	9.7	20.5	5.4	35.0	22.1	46.2	33.4	113.1
2001	125.4	100.9	134.0	72.1	10.5	11.1	26.5	13.0	28.0	68.9	104.6	151.7
2002	35.1	88.0	157.8	38.6	32.2	3.2	30.3	1.2	17.5	106.8	63.0	135.4
2003	67.1	47.3	116.5	101.4	8.6	7.2	0.0	33.2	28.6	19.4	83.3	126.8
2004	40.2	84.3	60.7	53.5	45.7	16.7	5.0	9.5	45.0	66.0	86.3	78.9
2005	71.5	100.4	125.5	63.7	1.9	0.0	4.4	16.4	30.1	55.2	67.8	72.7
2006	112.0	68.7	104.6	54.2	0.9	9.7	5.8	9.8	22.1	64.3	97.9	96.9
2007	93.6	18.9	157.3	47.4	18.5	0.7	41.0	3.7	21.7	67.4	70.3	114.6
2008	100.2	133.2	58.8	35.4	21.2	14.5	1.9	3.9	89.4	84.8	41.4	100.2
2009	84.9	75.2	108.6	44.0	54.1	8.6	21.8	13.8	25.2	42.9	97.5	114.7
2010	134.9	133.6	111.1	78.3	24.9	5.2	10.6	5.4	9.9	43.9	43.0	134.2
2011	125.7	116.7	99.3	66.5	33.7	1.0	1.6	5.2	32.4	66.2	49.4	199.7
2012	85.1	123.2	63.0	111.6	12.1	30.2	3.3	11.2	8.3	77.1	83.8	223.0
2013	94.0	135.9	123.1	71.4	11.9	16.9	8.4	11.3	24.5	104.3	96.5	175.6
2014	110.1	155.5	134.2	51.6	37.3	3.0	0.0	11.5	81.0	19.5	51.4	72.4
2015	97.4	50.7	77.2	57.0	28.9	0.7	8.4	11.3	33.9	60.2	70.0	122.5
2016	112.6	124.3	125.0	65.7	22.2	10.3	9.8	13.2	39.4	70.1	81.5	142.7

Fuente: Elaborado en base a la aplicación del método de regresión lineal, 2018.

Gráfico 13 *Histograma de precipitación total mensual de la serie consistente*



Fuente: Elaborado en base a los tratamientos estadísticos de las tres (03) estaciones considerados, 2018.

4.2.3.1.2 Variabilidad temporal de precipitaciones en las Estaciones Evaluadas

Se analizó la precipitación total mensual de las estaciones evaluadas a través de cuartiles los cuales son una medida de dispersión que asocia probabilidades de ocurrencia de la siguiente manera: el primer cuartil, indica una probabilidad de ocurrencia del 25%; el segundo cuartil o mediana revela una probabilidad de ocurrencia de 50%; y el tercer cuartil muestra una probabilidad de ocurrencia del 75%.

4.2.3.1.2.1 Estación Cerro de Pasco

La precipitación promedio mensual oscila entre 13.8 mm y 141.2 mm, siendo el promedio 76.3 mm. El 77.3% de precipitaciones se presenta entre los meses de octubre y marzo (temporada húmeda). De acuerdo al análisis por cuartiles, en el mes de enero hay una probabilidad del 25% para que la precipitación sea menor o igual a 93.4 mm (primer cuartil), una probabilidad del 50% para que se produzca una precipitación igual o menor de 114.2 mm (segundo cuartil), y una probabilidad del 75% para que la precipitación sea igual o menor a 155.9 mm (tercer cuartil); la misma interpretación se realiza para todos los meses.

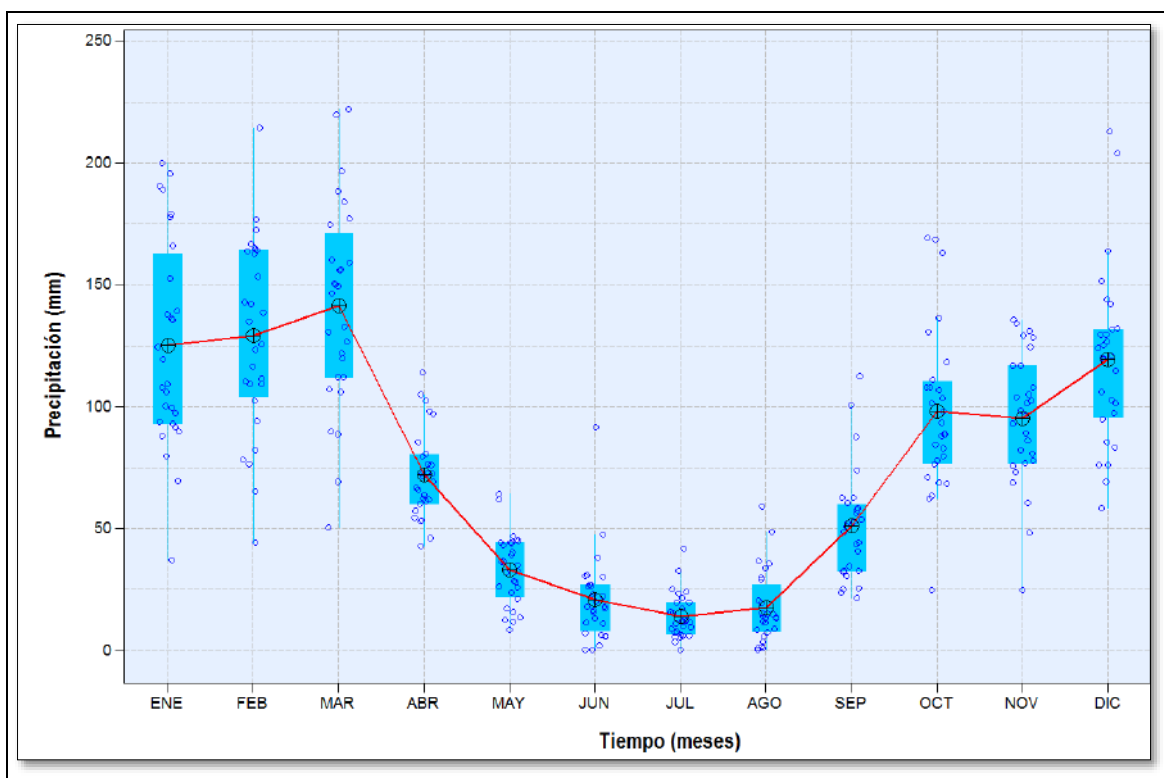
El valor mínimo y máximo mensual histórico fueron de 0.0 mm y 222.9 mm, respectivamente; la precipitación total anual fluctúa entre 582.3 mm y 1 250.6 mm, siendo el promedio 915.5 mm. En el Cuadro 27, se presenta los parámetros de la precipitación en la estación de Cerro de Pasco; asimismo en el Gráfico 14 se presenta el diagrama de cajas de precipitación.

Cuadro 27 Variabilidad temporal de precipitación en la estación Cerro de Pasco

Parámetro	Precipitación(mm)												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Promedio	125.1	128.9	141.2	72.1	32.9	20.7	13.8	17.4	51.1	97.8	95.2	119.3	915.5
Primer Cuartil	93.4	107.4	112.1	60.8	23.0	9.9	7.1	8.1	32.7	77.3	77.5	96.7	823.1
Segundo Cuartil	114.2	130.2	147.8	70.0	33.6	17.7	11.6	13.6	51.4	91.0	97.4	120.5	925.5
Tercer Cuartil	155.9	163.9	163.7	79.7	43.8	26.7	19.6	22.5	58.9	108.7	116.6	131.6	1011.9
Mínimo	37.0	44.2	50.2	42.8	8.5	0.0	0.0	0.0	21.4	24.8	24.6	58.4	582.3
Máximo	200.0	214.2	222.0	114.0	63.9	91.4	41.7	58.8	112.6	169.0	135.4	213.0	1250.6

Fuente: Elaborado en base al procesamiento de datos, 2018.

Gráfico 14 Diagrama de cajas de precipitación en la Estación Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al procesamiento de datos, 2018.

4.2.3.1.2.2 Estación de Yanahuanca

La precipitación promedio mensual varía entre 13.5 mm y 141.5 mm, siendo el promedio 69.3 mm. El 78.5% de precipitaciones se presenta entre los meses de octubre y marzo (temporada húmeda). De acuerdo al análisis de cuartiles, se encontró que la precipitación en el mes de febrero, para el primer, segundo y tercer cuartil, son de 95.8 mm, 115.8 mm, y 152.7 mm, respectivamente.

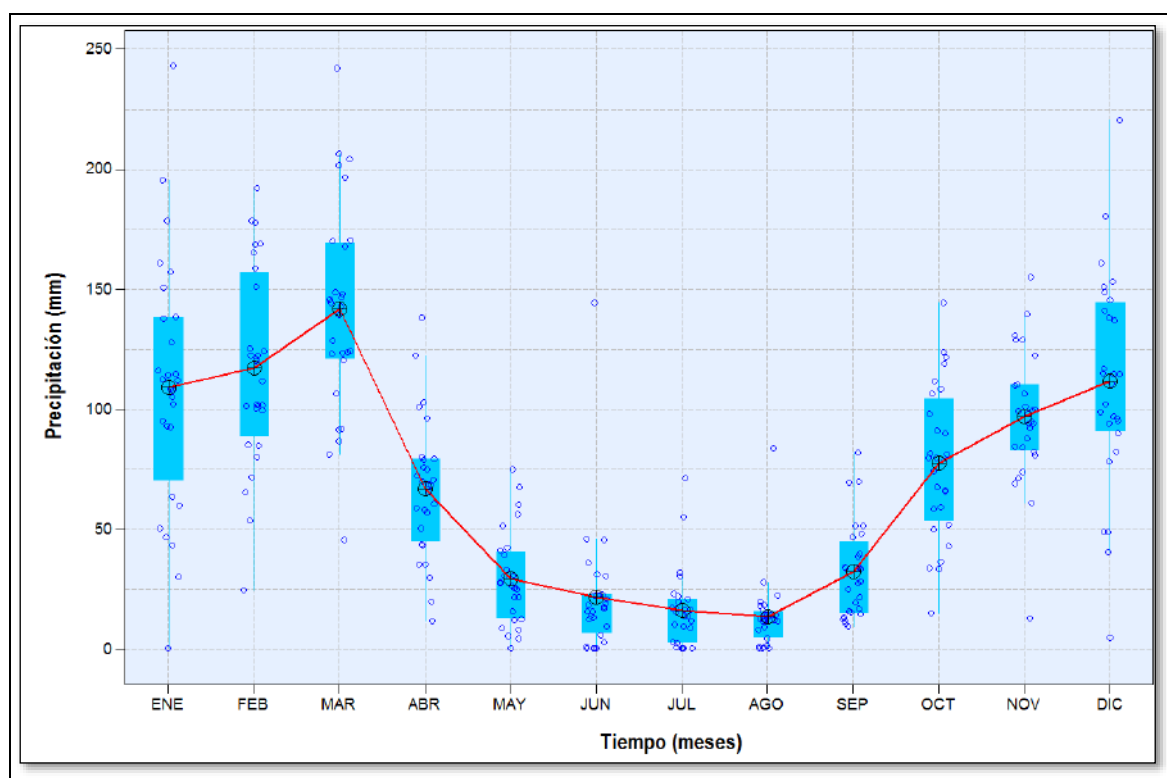
El valor mínimo y máximo mensual histórico fueron 0.0 mm y 243.2 mm, respectivamente. La precipitación total anual fluctúa entre 475.3mm y 1198.6 mm, siendo el promedio 831.6 mm. En el Cuadro 28, se presenta los parámetros estadísticos de la precipitación en la estación Yanahuanca, asimismo en el Gráfico 15 se presenta el diagrama de cajas de precipitación de la estación Yanahuanca.

Cuadro 28 Variabilidad temporal de precipitación en la Estación Yanahuanca

Parámetro	Precipitación(mm)												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Promedio	109.0	116.9	141.5	66.5	29.3	21.5	15.8	13.5	32.2	77.3	96.7	111.4	831.6
Primer Cuartil	85.0	95.8	122.3	48.4	14.7	8.4	2.7	7.0	15.5	56.5	83.6	92.9	721.9
Segundo Cuartil	110.1	115.8	143.5	68.4	26.9	17.1	14.4	11.8	30.6	78.9	96.3	112.4	845.9
Tercer Cuartil	137.7	152.7	168.3	78.8	39.5	22.3	20.0	14.6	41.2	100.1	109.7	142.0	927.3
Mínimo	0.0	24.5	45.3	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	14.8	12.6	4.6	475.3
Máximo	243.2	192.0	241.9	137.8	74.6	144.2	70.9	83.7	81.9	144.1	154.7	220.4	1198.6

Fuente: Elaborado en base al procesamiento de datos, 2018.

Gráfico 15 Diagrama de cajas de precipitación en la Estación Yanahuanca



Fuente: Elaborado en base al procesamiento de datos, 2018.

4.2.3.1.2.3 Estación San Rafael

La precipitación promedio mensual fluctúa entre 8.8 mm y 128.3 mm, siendo el promedio 61.2 mm. El 80.3% de precipitaciones se presenta entre los meses de octubre y marzo (temporada húmeda). De acuerdo al análisis por cuartiles, se encontró que la precipitación

en el mes de marzo, para el primer, segundo y tercer cuartil, es de 87.3 mm, 115.8 mm y 136.1 mm, respectivamente.

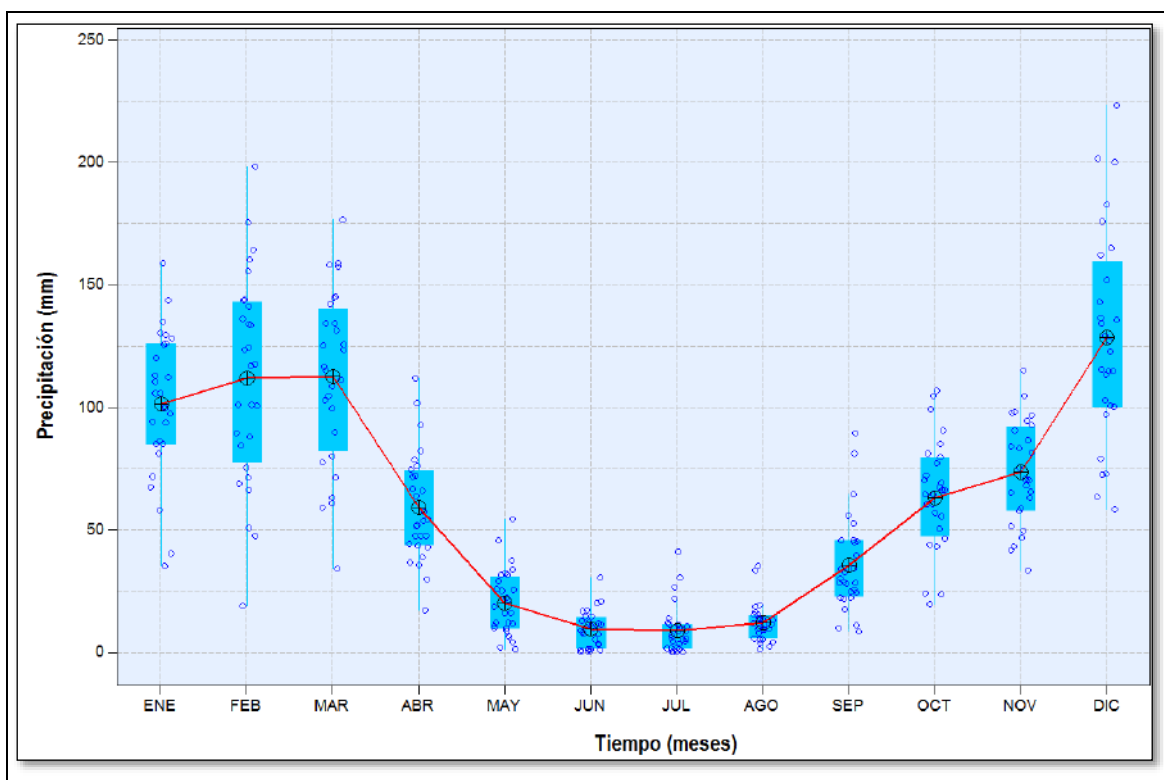
El valor mínimo y máximo mensual histórico fueron 0.0 mm y 223.0 mm, respectivamente. La precipitación total anual fluctúa entre 535.3 mm y 1 151.8 mm, siendo el promedio 734.1 mm. En el Cuadro 29, presenta los parámetros estadísticos de la precipitación en la estación San Rafael, de igual manera, en el Gráfico 16 se presenta el diagrama de cajas de la estación San Rafael.

Cuadro 29 Variabilidad temporal de precipitaciones en la Estación San Rafael

Parámetro	Precipitación(mm)												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	anual
Promedio	101.2	111.7	112.4	59.1	19.9	9.2	8.8	11.8	35.4	63.0	73.3	128.3	734.1
Primer Cuartil	85.1	82.0	87.3	43.9	9.9	2.5	1.6	7.1	23.7	49.3	58.3	100.4	645.0
Segundo Cuartil	102.8	117.1	115.8	53.9	17.3	9.2	5.6	11.3	29.4	65.2	70.2	124.7	710.7
Tercer Cuartil	125.5	141.7	136.1	72.7	29.5	13.0	11.1	14.1	45.1	77.7	90.9	154.3	818.3
Mínimo	35.1	18.9	33.8	17.1	0.9	0.0	0.0	1.2	8.3	19.4	33.4	58.3	535.3
Máximo	158.8	198.1	176.3	111.6	54.1	30.2	41.0	35.0	89.4	106.8	115.0	223.0	1151.8

Fuente: Elaborado en base al procesamiento de datos, 2018.

Gráfico 16 *Diagrama de cajas de precipitación en la Estación San Rafael*

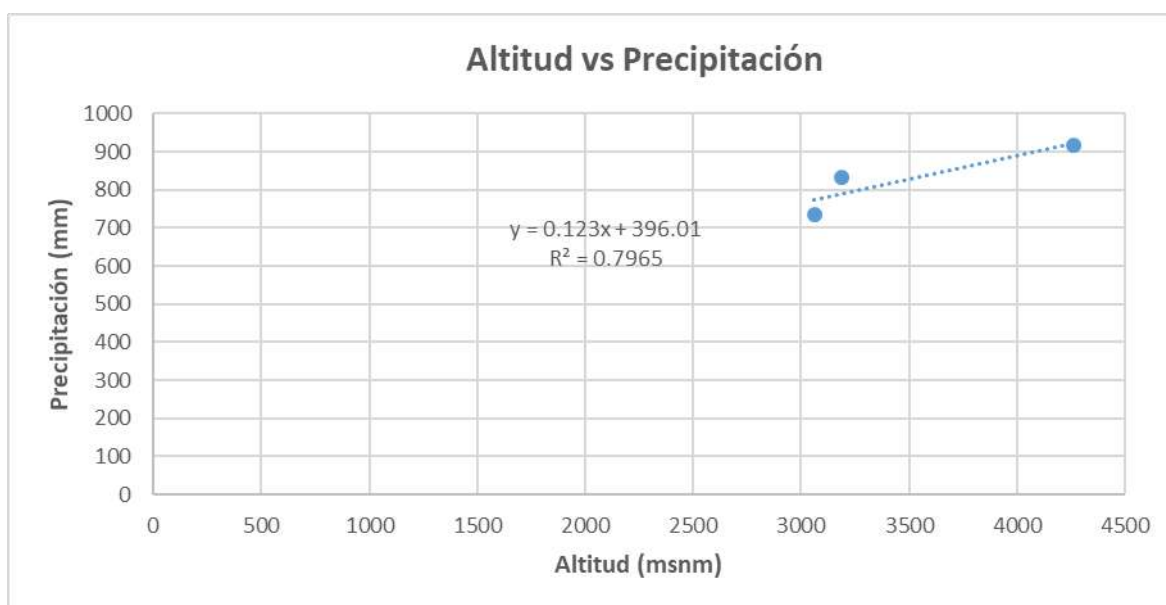


Fuente: Elaborado en base al procesamiento de datos, 2018.

4.2.3.1.3 Regionalización de precipitación a la Microcuenca Rumiallana

La microcuenca Rumiallana, no cuenta con registro de precipitación, debido a esta limitante se procedió a regionalizar mediante datos consistentes de precipitación total anual versus la altitud de cada estación. Para lo que se seleccionó el modelo de regresión lineal como el que más se adecuó, dado que presenta un coeficiente de determinación de 0.80, que indica una buena asociación entre precipitación versus altitud, para realizar la regionalización correspondiente a la microcuenca evaluada. En el Gráfico 17 se presenta la ecuación de regionalización de precipitación.

Gráfico 17 Ecuación Precipitación vs Altitud



Fuente: Elaboración propia en base a la información de las estaciones meteorológicas, 2018.

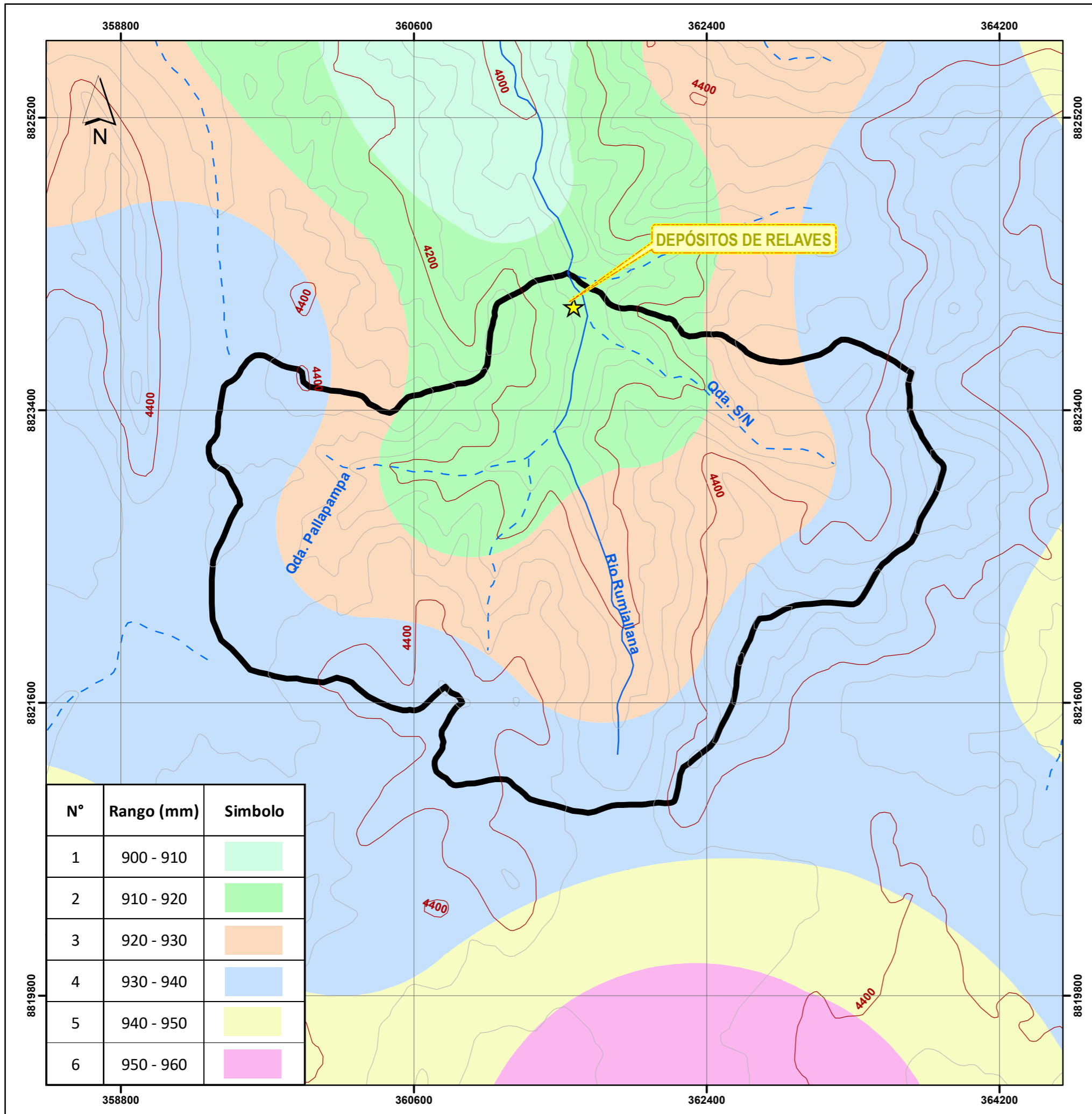
$$P = 396 + 0.123 * H, R^2 = 0.80$$

Nota:

P: Precipitación Total Anual (mm)

H: Altitud (msnm)

Tomando como base las precipitaciones de la 03 (tres) estaciones evaluadas y la ecuación de regionalización se trazan las isoyetas que cubren la microcuenca Rumiallana, esto con el objetivo de visualizar la variabilidad espacial de la precipitación. Asimismo, en el Mapa 12 gráficamente las líneas isoyetas generadas para el área de estudio abarcando el interior y exterior de la microcuenca Rumiallana; la misma que se caracteriza por presentar un máximo valor de precipitación de 940 mm y valor mínimo de precipitación de 910 mm anuales.



LEYENDA

HIDROGRAFÍA

- RÍOS
- QUEBRADAS

HIPSOGRAFÍA

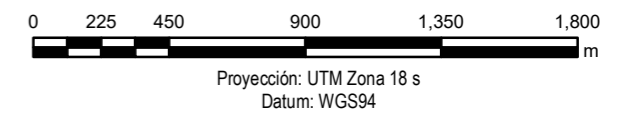
- CURVAS PRINCIPALES
- CURVAS SECUNDARIAS

LÍMITES

- REGIONES
- VIAS DE ACCESO

SIMBOLOGÍA

- DEPÓSITOS DE RELAVES
- MICROCUENCA RUMIALLANA



PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
ISOYETAS DE PRECIPITACIÓN ANUAL EN MICROCUENCA RUMIALLANA

	DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 12
	SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:25000	
	APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

Una vez generadas se procedió a determinar la precipitación media, por el método de isoyetas, según la siguiente fórmula, en apoyo del software ArcGIS para el cálculo de las áreas intermedias:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} * \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} * A_i$$

Nota:

P_{med} : Precipitación media (mm)

T_T : Área total de la cuenca

P_i : Altura de precipitación de las isoyetas i

A_i : Área parcial comprendida entre las isoyetas P_{i-1} y P_i

n : Número de áreas parciales

Se obtuvo un valor de precipitación total anual en la microcuenca del río Rumiallana de 925.8 mm, cuya serie de tiempo de la precipitación total mensual generada para el mismo se presenta en Cuadro 30.

Cuadro 30 *Precipitación Total Mensual Generada (mm) – Microcuenca Rumiallana*

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Anual
1989	197.7	164.4	224.5	103.5	32.3	92.4	25.2	36.8	101.5	112.2	97.4	76.6	1264.6
1990	139.5	143.7	157.5	80.4	36.6	23.1	15.4	19.4	57.0	109.0	106.1	133.0	1020.8
1991	90.5	44.7	222.2	67.4	45.2	48.0	12.2	0.7	58.2	164.8	129.6	59.1	942.8
1992	101.1	79.0	107.2	76.9	8.6	30.2	3.2	49.0	63.3	94.2	24.9	131.0	768.6
1993	80.5	82.9	90.8	46.3	21.1	13.3	8.9	11.2	32.9	62.9	61.2	76.7	588.8
1994	109.1	112.4	123.2	62.9	28.6	18.1	12.1	15.2	44.6	85.3	83.0	104.0	798.4
1995	110.2	110.3	198.9	73.0	40.7	6.3	7.5	0.6	48.9	89.4	130.5	107.1	923.4
1996	107.2	110.5	121.1	61.8	28.2	17.7	11.9	14.9	43.8	83.8	81.6	102.2	784.9
1997	100.4	103.4	113.3	57.8	26.4	16.6	11.1	14.0	41.0	78.5	76.4	95.7	734.6
1998	92.5	216.6	113.3	73.0	15.9	11.5	0.0	1.5	25.7	132.0	104.9	69.8	856.6
1999	137.1	178.8	147.9	69.7	32.9	21.8	6.0	3.3	88.4	71.5	117.9	125.4	1000.7
2000	191.2	154.8	134.0	43.3	44.1	5.6	11.5	29.3	25.4	119.5	48.7	145.6	953.1
2001	180.9	144.5	161.8	53.3	62.7	5.8	32.8	13.4	34.9	98.9	89.9	165.4	1044.3
2002	37.4	174.4	151.8	73.6	44.8	11.0	42.2	11.7	52.6	137.7	103.4	133.3	974.0
2003	125.6	127.0	176.7	115.3	39.6	26.5	5.1	20.4	51.3	25.1	99.5	143.5	955.5
2004	70.4	165.7	69.9	62.7	37.1	30.9	24.3	29.9	113.9	89.7	132.3	153.2	980.0
2005	94.6	140.0	161.0	53.9	12.3	6.9	7.9	20.5	32.6	80.6	86.9	86.3	783.4
2006	98.3	111.6	152.1	98.1	13.4	38.3	5.7	15.3	63.4	170.9	135.7	127.8	1030.6
2007	93.8	77.3	186.0	81.4	64.6	0.0	17.3	5.5	30.7	89.0	102.2	98.5	846.3
2008	137.3	95.2	50.8	64.4	11.7	27.1	6.3	13.3	59.1	104.5	69.6	83.9	723.1

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total, Anual
2009	120.7	117.7	190.3	54.8	35.1	30.6	23.3	59.5	21.6	69.6	136.9	215.4	1075.5
2010	180.0	124.7	127.9	60.6	17.2	2.0	9.7	0.0	24.0	102.3	73.9	121.3	843.7
2011	167.7	165.8	151.0	66.4	25.9	0.0	15.8	13.0	61.0	69.2	77.4	115.8	928.9
2012	154.3	168.5	89.4	105.9	44.7	17.1	5.8	7.4	54.2	108.0	118.0	206.1	1079.3
2013	192.5	136.2	179.0	86.3	47.2	26.9	21.6	36.0	53.1	170.2	78.7	120.5	1148.2
2014	202.2	167.1	157.7	71.9	45.7	22.2	19.9	8.4	74.5	64.1	93.9	126.3	1054.1
2015	140.6	65.7	132.0	99.1	43.6	15.9	19.7	9.0	57.2	77.2	125.8	122.3	908.0
2016	88.7	166.4	108.2	77.1	24.0	20.2	9.8	33.9	33.1	109.1	109.0	131.0	910.4
Promedio	126.5	130.3	142.8	72.9	33.2	20.9	14.0	17.6	51.7	98.9	96.3	120.6	925.8

Fuente: Elaboración propia en base los datos procesado, 2018.

4.2.3.1.4 Variabilidad Temporal de Precipitaciones en la Microcuenca Rumiallana

La precipitación en los doce meses del año, en la microcuenca Rumiallana, se distribuye de la siguiente forma: El 77.3% de la precipitación se presenta entre los meses de octubre y marzo (periodo húmedo), el 13.4% ocurren en los meses de abril y setiembre (periodo de transición) y el 9.3 %, se presenta en los meses de mayo hasta agosto (periodo seco).

La precipitación promedio mensual oscila entre 14.0 mm y 142.8 mm, siendo el promedio 77.2 mm. De acuerdo al análisis por cuartiles, se encontró que la precipitación en el mes de abril, para el primer, segundo y tercer cuartil, es de 61.5 mm, y 80.6 mm, respectivamente. El valor mínimo y máximo mensual, histórico fueron 0.0 mm y 224.5 mm, respectivamente. La precipitación total anual fluctúa entre 588.8 mm y 1264.4 mm siendo el promedio 925.8 mm. En el Cuadro 31, se presenta los parámetros estadísticos de la precipitación en la microcuenca Rumiallana, asimismo en el Fuente: Elaboración propia en base al análisis realizado, 2018.

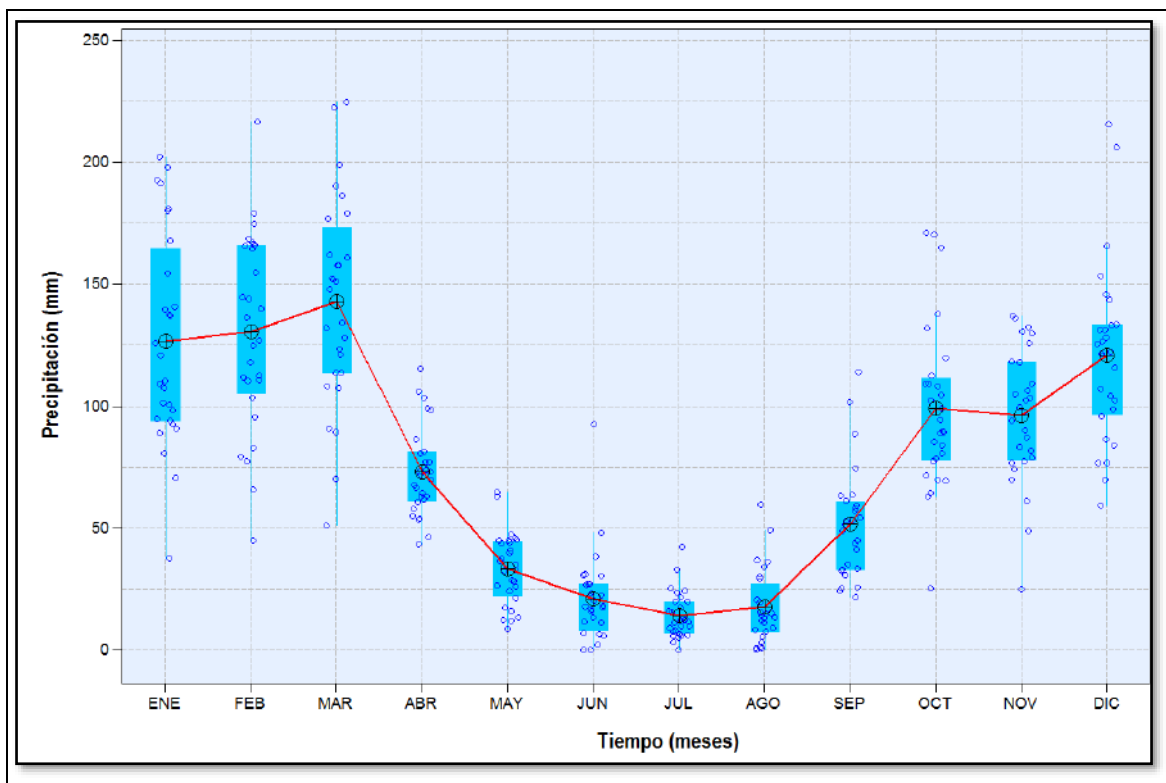
Gráfico 18 se presenta su respectivo diagrama de cajas.

Cuadro 31 Variabilidad Temporal de Precipitación en la Microcuenca Rumiallana

Parámetro	Precipitación (mm)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Promedio	126.5	130.3	142.8	72.9	33.2	20.9	14.0	17.6	51.7	98.9	96.3	120.6	925.8
Primer Cuartil	94.4	108.6	113.3	61.5	23.3	10.0	7.2	8.1	33.0	78.1	78.3	97.8	832.3
Segundo Cuartil	115.5	131.6	149.5	70.8	34.0	17.9	11.7	13.7	51.9	92.0	98.4	121.8	935.8
Tercer Cuartil	157.6	165.8	165.5	80.6	44.2	26.9	19.8	22.7	59.5	109.9	117.9	133.0	1023.2
Mínimo	37.4	44.7	50.8	43.3	8.6	0.0	0.0	0.0	21.6	25.1	24.9	59.1	588.8
Máximo	202.2	216.6	224.5	115.3	64.6	92.4	42.2	59.5	113.9	170.9	136.9	215.4	1264.6

Fuente: Elaboración propia en base al análisis realizado, 2018.

Gráfico 18 Diagrama de Cajas de Precipitación en la Microcuenca Rumiallana



Fuente: Elaboración propia en base al análisis realizado, 2018.

4.2.3.1.5 Precipitación mensual y anual para años secos y húmedos en la microcuenca Rumiallana

La determinación de la precipitación anual para años secos y húmedos se realizó el análisis de distribución de frecuencia, que consiste en ajustar una curva teórica en base a parámetros estadísticos que provee la data original; mediante la extrapolación de esta curva teórica se puede estimar la precipitación anual para años secos con probabilidades de baja ocurrencia y precipitación anual para años húmedos con probabilidades de alta ocurrencia

Para este análisis se emplearon distribuciones de frecuencia que típicamente se utilizan en hidrología, incluyendo, Gumbel, Log Normal de 2 parámetros, Log Normal de 3 parámetros, Pearson Tipo III y Log Pearson Tipo III; siendo la distribución de Gumbel la que mejor ajustó los valores y pasó satisfactoriamente la prueba estadística de Chi cuadrado. La distribución de precipitación mensual para diferentes intervalos de recurrencia para años secos y húmedos, se ha distribuido en base a la proporción del año promedio.

El Cuadro 32, resume los resultados obtenidos, de donde se desprende que, para un año seco, la precipitación anual para un intervalo de recurrencia de 500 años es de 569.3 mm, mientras que, para un escenario de año húmedo, para el mismo periodo de retorno es de 1 763.9 mm.

Cuadro 32 *Precipitación mensual y anual para años secos y húmedos de la microcuenca Rumiallana*

AÑO HIDROLÓGICO	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Seco	1000	77.8	80.1	87.8	44.8	20.4	12.9	8.6	10.8	31.8	60.8	59.2	74.2	569.3
	500	79.9	82.3	90.2	46.0	21.0	13.2	8.8	11.1	32.7	62.5	60.8	76.2	584.8
	200	83.1	85.6	93.8	47.9	21.8	13.8	9.2	11.6	34.0	65.0	63.2	79.2	608.2
	100	85.9	88.5	97.0	49.5	22.6	14.2	9.5	12.0	35.1	67.2	65.4	81.9	628.8
	50	89.2	91.9	100.7	51.4	23.4	14.8	9.9	12.4	36.5	69.7	67.9	85.0	652.7
	25	93.1	95.9	105.1	53.6	24.4	15.4	10.3	13.0	38.1	72.8	70.8	88.7	681.3
Promedio	10	99.8	102.8	112.7	57.5	26.2	16.5	11.0	13.9	40.8	78.0	76.0	95.1	730.4
		126.5	130.3	142.8	72.9	33.2	20.9	14.0	17.6	51.7	98.9	96.3	120.6	925.8
Húmedo	10	161.6	166.5	182.5	93.1	42.4	26.7	17.9	22.5	66.1	126.3	123.0	154.1	1182.7
	25	180.6	186.1	203.9	104.1	47.4	29.9	20.0	25.2	73.8	141.2	137.4	172.2	1321.8
	50	194.7	200.6	219.8	112.2	51.1	32.2	21.5	27.1	79.6	152.2	148.2	185.6	1424.9
	100	208.7	215.0	235.6	120.2	54.8	34.5	23.1	29.1	85.3	163.2	158.8	198.9	1527.3
	200	222.6	229.4	251.4	128.3	58.5	36.8	24.6	31.0	91.0	174.1	169.4	212.2	1629.3
	500	241.0	248.3	272.1	138.9	63.3	39.9	26.7	33.6	98.5	188.4	183.4	229.8	1763.9
	1000	254.9	262.6	287.8	146.9	66.9	42.2	28.2	35.5	104.2	199.3	194.0	243.0	1865.6

Fuente: Elaborado en base a la información procesada

4.2.3.2 Análisis de Precipitación Máxima en 24 Horas

Para el análisis de precipitación en 24 horas se utilizaron los datos de la estación Cerro de Pasco, ubicada a una altitud de 4 260 msnm, es preciso mencionar que la elevación media de la microcuenca Rumiallana es del orden de 4 316.6 msnm, siendo representativo para el análisis de datos. El observatorio presenta data histórica de 26 años, el detalle se aprecia en el Cuadro 33.

Cuadro 33 Estación con registro de precipitación máximo diaria

N°	ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD msnm	PERIODO DE REGISTRO	AÑOS DE REGISTRO	OPERADOR
		LONGITUD	LATITUD				
01	Cerro de Pasco	76° 15'	10° 41'	4260	1989-1995 y 1998-2016	26	SENAMHI

Fuente: Elaborado en base a la información recopilada, 2018.

4.2.3.2.1 Estadísticos Básicos de la serie analizada

La estación monitoreada por SENAMHI, proporcionan series de precipitaciones máximas diarias; la precipitación máxima en 24 horas se obtuvo multiplicando la serie de máximas diarias por 1.13 según recomendación de la World Meteorological Organization (WMO,1994).

La precipitación máxima en 24 horas, de la estación Cerro de Pasco, presenta el siguiente valor histórico.

- El valor más alto de precipitación máxima en 24 horas, fue registrada en el año 2015 con 52.88 mm.

Los estadísticos básicos de la serie de tiempo de precipitación máxima en 24 horas de la estación evaluada se muestran en el

Cuadro 34 *Estadística básica de precipitación máxima en 24 horas*

N°	ESTADÍSTICA BÁSICA	ESTACIÓN CERRO DE PASCO
01	Número de Años	26
02	Mínimo	23.3
03	Máximo	52.8
04	Media	33.8
05	Desviación Estándar	7.63
06	Mediana	30.6
07	Coefficiente de Variación	0.226
08	Coefficiente de Asimetría	0.721
09	Coefficiente de Kurtosis	2.43

Fuente: Elaboración propia en base a los estadísticos realizados, 2018.

4.2.3.2.2 *Pruebas de independencia, estacionariedad y homogeneidad*

Se evaluó la independencia, estacionariedad y homogeneidad de la serie histórica de precipitación máxima en 24 horas, de la estación Cerro de Pasco, para este análisis fue empleando el software hidrológico HYFRAN, desarrollado por el Instituto Nacional de Investigación Científica Agua, Tierra y Medioambiente (INRS-ETE) de la Universidad de Québec de Canadá.

Para las pruebas antes mencionadas se emplearon los siguientes test no paramétricos:

- Test de Wald Wolfowitz, para la prueba de independencia.
- Test de Kendall, para la prueba de estacionariedad.
- Test de Wilcoxon, para la prueba de homogeneidad.

Los resultados indican que la data de precipitación máxima en 24 horas de la estación Cerro de Pasco, se acepta la hipótesis de independencia, como era de esperar, además las pruebas de estacionariedad y homogeneidad, indican que la serie no presenta tendencia y es homogéneo.

Por lo tanto, para la selección del modelo probabilístico, se considera la estación Cerro de Pasco, dado que pasaron los test de independencia, estacionalidad y homogeneidad, los mismo que se presentan en el

Cuadro 35 Prueba de Independencia (Wald – Wolfowitz)

N°	VALOR	ESTACIÓN CERRO DE PASCO
01	Valor del estadístico $ U $	0.526
02	Valor de Significancia (α)	0.05
03	Valor de probabilidad (p)	0.599
04	Hipótesis (Ho)	Se Acepta

Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

Cuadro 36 Prueba de Estacionariedad (Kendall)

N°	VALOR	ESTACIÓN CERRO DE PASCO
01	Valor del estadístico $ U $	1.94
02	Valor de Significancia (α)	0.05
03	Valor de probabilidad (p)	0.0524
04	Hipótesis (Ho)	Se Acepta

Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

Cuadro 37 Prueba de Homogeneidad (Wilcoxon)

N°	VALOR	ESTACIÓN CERRO DE PASCO
01	Valor del estadístico $ U $	0.359
02	Valor de Significancia (α)	0.05
03	Valor de probabilidad (p)	0.720
04	Hipótesis (Ho)	Se Acepta

Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

4.2.3.2.3 Selección de modelo probabilístico

Para la selección del modelo probabilístico con mejor ajuste a los datos de precipitación máxima en 24 horas, se empleó el criterio de Información Akaike (AIC); que desarrollo un método alternativo para la comparación de modelos, llamado criterio de información de Akaike (AIC). Este método permite determinar con que eficiencia los modelos se ajustan a una base de datos. El criterio de selección es escoger el modelo con el valor más bajo de AIC, siendo el que mejor explica los datos.

Aplicando el software hidrológico HYFRAN, se obtuvo los siguientes resultados:

- El modelo Gumbel, presenta un mejor ajuste a los datos de precipitación máxima en 24 horas de la estación Cerro de Pasco, debido a que presenta el valor más bajo del criterio de información de Akaike.

En el Cuadro 38, se muestra las comparaciones de los modelos a detalle.

Cuadro 38 Selección del modelo Probabilístico de la Estación Cerro de Pasco

Nº	MODELO	MÉTODO DE CÁLCULO DE PARÁMETROS	CRITERIO DE INFORMACIÓN DE AKAIKE (AIC)
01	Gumbel	Máxima Verosimilitud	178.635
02	Pearson Tipo III	Máxima Verosimilitud	179.209
03	Lognormal de 3 Parámetros	Máxima Verosimilitud	180.058
04	Valores Extremos Generalizados (GEV)	Máxima Verosimilitud	180.494
05	Log Pearson Tipo III	Máxima Verosimilitud	180.643

Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

4.2.3.2.4 Precipitación del Modelo en 24 horas para diferentes periodos de retorno

Una vez seleccionado el modelo probabilístico como mejor ajuste, se determinaron la precipitación máxima en 24 horas, para diferentes intervalos de recurrencia de la estación Cerro de Pasco. En el Cuadro 39 se presenta la serie de datos usada para el análisis de precipitación máxima en 24 horas.

Cuadro 39 Precipitación máxima anual diaria y en 24 horas

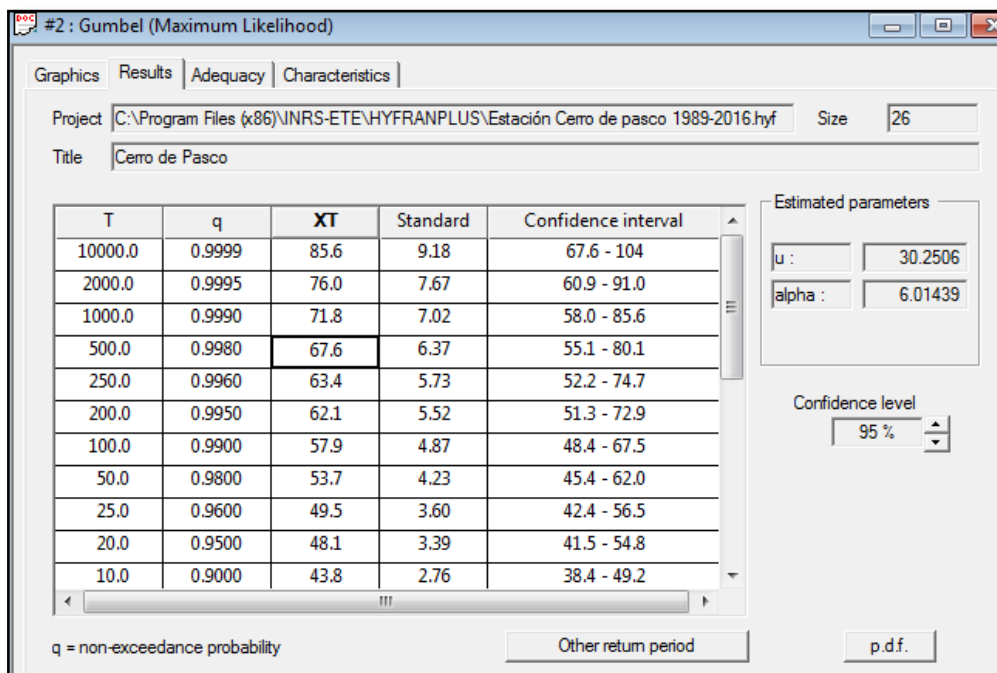
Nº	AÑO	ESTACIÓN CERRO DE PASCO	
		PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)
01	1989	37.0	41.8
02	1990	40.0	45.2
03	1991	27.0	30.5
04	1992	23.0	26.0
05	1993	36.0	40.7
06	1994	35.7	40.3
07	1995	25.1	28.4
08	1998	30.5	34.5

N°	AÑO	ESTACIÓN CERRO DE PASCO	
		PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA (mm)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)
09	1999	38.0	42.9
10	2000	22.6	25.5
11	2001	29.4	33.2
12	2002	26.8	30.3
13	2003	20.7	23.4
14	2004	33.2	37.5
15	2005	46.7	52.8
16	2006	27.3	30.8
17	2007	26.7	30.2
18	2008	29.4	33.2
19	2009	39.2	44.3
20	2010	35.9	40.6
21	2011	24.4	27.6
22	2012	25.4	28.7
23	2013	25.8	29.2
24	2014	26.2	29.6
25	2015	25.1	28.4
26	2016	20.6	23.3

Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

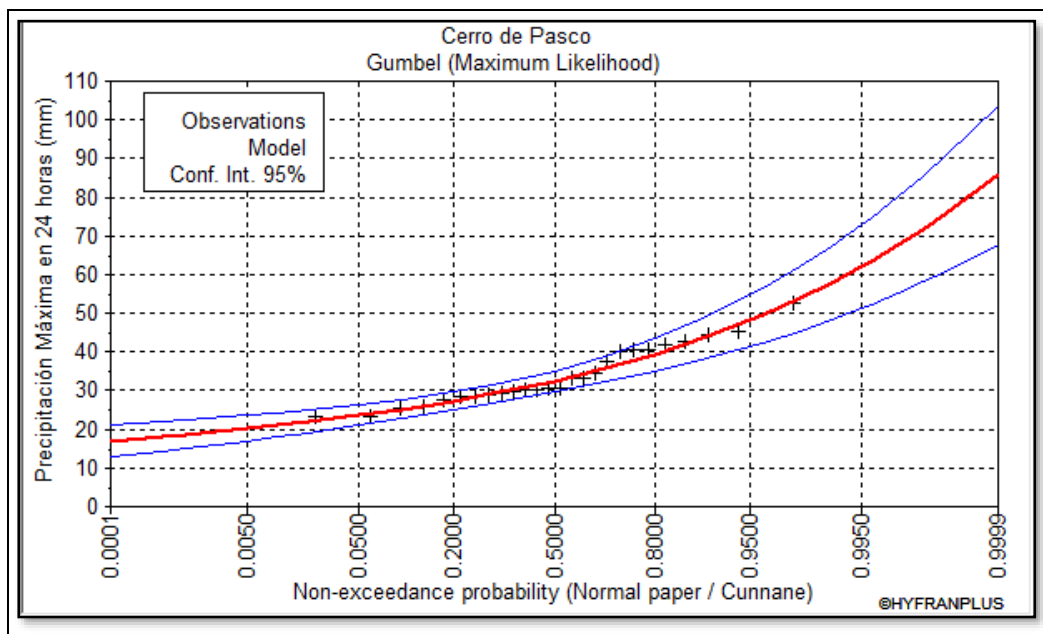
Asimismo, en la Imagen 5 e Imagen 6 se presentan los resultados de precipitación en 24 horas calculadas con el software Hyfran para diferentes periodos de con el modelo hidrológico con mejor ajuste (Gumbel), y la curva de ajuste del modelo de Gumbel, respectivamente.

Imagen 5 Precipitación máxima en 24 h. diferentes periodos de retorno - Gumbel



Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

Imagen 6 Curva de ajuste del Modelo Gumbel



Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

De lo anterior se concluye que la precipitación máxima en 24 horas en la estación Cerro de Pasco, para un periodo de retorno de 500, 1000 y 10000 es de 67.6 mm, 718 mm y 85.6, respectivamente, en el Cuadro 40, se muestran resultados para otros periodos de retorno.

Cuadro 40 *Precipitación máxima en 24 horas para periodos de retornos*

N°	Periodo de Retorno en años	Probabilidad de No Excedencia	Precipitación Máxima en 24 Horas
01	10	0.900	43.8
02	20	0.950	48.1
03	25	0.960	49.5
04	50	0.980	53.7
05	100	0.990	57.9
06	200	0.995	62.1
07	500	0.998	67.6
08	1000	0.999	71.8
09	10000	0.9999	85.6

Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

4.2.3.3 Relación entre intensidad – Duración – Periodo de Retorno

En la estación Cerro de Pasco, no se cuenta con registro pluviográficos continuos, razón por la cual para obtener la relación entre la intensidad – Duración – Periodo de Retorno, se realiza a partir de datos pluviométricos diarios.

4.2.3.3.1 Elección de la Metodología

En el presente ítem se detalla las metodologías descartadas y la seleccionada para el presente reporte:

- El estudio de regionalización de precipitaciones máximas del Perú (IILA SENAMHI, UNI, 1983) fue descartado debido a que las ecuaciones han sido generadas con una data histórica de hace 35 años, lo que no resultaría representativo para las condiciones actuales.
- La expresión matemática propuesta por Bell fue descartada, solo es aplicable para periodos de retorno comprendidos entre 2 y 100 años (Bell, F. C., 1969); siendo indispensable el cálculo de caudales para periodos de retorno de 500 años.
- La metodología elegida es el modelo de discretización de Grobe, también conocido como de Dyck y Pechke, tomado de la publicación de fundamentos de hidrología (Grundlagen der Hydrologie de Siefried Dyck y Gerd Peschke, Berlin Berlín Alemania, 1995), el cual nos permite, a partir de datos de precipitación máximas diarias, medidas en los pluviómetros, generar las curvas IDT. Según este criterio, las

lluvias de duración corta D , P_D , es función de la precipitación máxima en 24 horas de acuerdo con la siguiente ecuación empírica.

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

Nota:

P_D : Precipitación máxima de duración D , en el intervalo de $5' < D < 1440'$, en mm.

D : Duración de la lluvia, en minutos.

P_{24h} : Precipitación máxima en 24 horas, en mm

4.2.3.3.2 *Proceso de Cálculo con el Método Dyck y Peschke*

La aplicación de este método requiere del ingreso de la data histórica de precipitación máxima en 24 horas registrada en la estación de Cerro de Pasco, obedeciendo el siguiente orden:

- Se descompone la precipitación máxima en 24 horas, en diferentes duraciones
- Se transforman las precipitaciones a intensidades máximas
- Se reordena los datos de intensidad máxima, periodo de retorno y duración.

De donde se obtiene la siguiente ecuación de IDT:

$$I_{m\acute{a}x} = 254.7015 \frac{T^{0.2483}}{D^{0.75}}, R^2 = 0.9918.$$

Nota

$I_{m\acute{a}x}$ = Intensidad Máxima (mm/h).

T = Periodo de retorno (años).

D = Duración (minutos).

Con la ecuación de IDT, se determinó la intensidad máxima para periodos de retorno de 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 y 500 años y duraciones de 10, 15, 20, 25, 30, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 minutos. La intensidad máxima para una duración de 15 minutos, correspondiente a un periodo de retorno de 500 años es de 156.4 mm/h; además se muestra que, a mayor duración, disminuye la intensidad máxima para los intervalos de recurrencia analizados, tal como se observa en Cuadro 41.

Cuadro 41 *Intensidad máxima (mm/h) para diferentes Periodos de Retorno*

N°	DURACIÓN	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	MINUTOS	5	10	20	25	50	100	200	500
01	10	67.5	80.2	95.3	100.7	119.6	142.1	168.8	211.9
02	15	49.8	59.2	70.3	74.3	88.3	104.8	124.5	156.4
03	20	40.2	47.7	56.7	59.9	71.1	84.5	100.4	126.0
04	25	34.0	40.4	47.9	50.7	60.2	71.5	84.9	106.6
05	30	29.6	35.2	41.8	44.2	52.5	62.3	74.1	93.0
06	50	20.2	24.0	28.5	30.1	35.8	42.5	50.5	63.4
07	60	17.6	20.9	24.9	26.3	31.2	37.1	44.0	55.3
08	70	15.7	18.6	22.1	23.4	27.8	33.0	39.2	49.2
09	80	14.2	16.9	20.0	21.2	25.2	29.9	35.5	44.6
10	90	13.0	15.4	18.3	19.4	23.0	27.3	32.5	40.8
11	100	12.0	14.3	16.9	17.9	21.3	25.3	30.0	37.7
12	110	11.2	13.3	15.8	16.7	19.8	23.5	27.9	35.1
13	120	10.5	12.4	14.8	15.6	18.6	22.0	26.2	32.9

Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

4.2.3.3.3 Cálculo de Precipitación Máxima Probable (PMP)

La precipitación máxima probable, es el valor límite estimado de precipitación, en consecuencia, la PMP puede definirse como la mayor profundidad de precipitación estimada analíticamente para una duración dada que sea físicamente posible y que caracterice razonablemente una región geográfica particular en un determinado periodo del año.

Para el presente proyecto la PMP, se determinó aplicando el método estadístico desarrollado por David M. Hershfield (OMM, 1986), puede ser empleado cuando se disponga datos de precipitación máxima en 24 horas. El método básicamente permite realizar las estimaciones de la PMP para cuencas no mayores a 1 000 km²; este método se define bajo la siguiente ecuación:

$$PMP = ((X_n * f_{11} * f_{12}) + (K * S_n * f_{13}f_{14})) * f_1 * f_2$$

Nota

PMP: Precipitación máxima probable (mm).

X_n : Promedio de las máximas precipitaciones anuales (mm).

S_n : Desviación Estándar de las máximas precipitaciones anuales (mm).

K: Coeficiente K, que depende del promedio de la precipitación máxima anual.

f_{11} : Factor de ajuste por número de años de registro en la media.

f_{12} : Factor de ajuste por algún valor elevado en la media.

f_{13} : Factor de ajuste por número de años de registro en la desviación estándar.

f_{14} : Factor de ajuste por algún valor elevado en la desviación estándar.

f_1 : Factor de ajuste por número de lecturas/día en el pluviómetro.

f_2 : Factor de ajuste por transición de la lluvia puntual a un área.

Empleando el método estadístico de Hershfield, se determinó que la precipitación máxima probable en la estación de Cerro de Pasco es de 187.3 mm valor que será asignado a la microcuenca Rumiallana. El cálculo a detalle se aprecia en el Cuadro 42.

Cuadro 42 Cálculo de precipitación máxima probable (PMP) – Cerro de Pasco

N°	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (MM)
01	1989	37.0
02	1990	40.0
03	1991	27.0
04	1992	23.0
05	1993	36.0
06	1994	35.7
07	1995	25.1
08	1998	30.5
09	1999	38.0
10	2000	22.6
11	2001	29.4
12	2002	26.8
13	2003	20.7
14	2004	33.2
15	2005	46.7
16	2006	27.3
17	2007	26.7
18	2008	29.4
19	2009	39.2
20	2010	35.9
21	2011	24.4
22	2012	25.4
23	2013	25.8
24	2014	26.2
25	2015	25.1
26	2016	20.6
27	Promedio (\bar{X}_n)	29.9
28	Desviación (S_n)	6.8
29	Promedio (\bar{X}_{n-m})	29.2
30	Desviación (S_{n-m})	5.94

N°	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (MM)
31	N	26
32	f11	1.012
33	f12	1.02
34	f13	1.05
35	f14	1.04
36	f1	1.13
37	f2	1.0
38	k	18.30
39	PMP (mm)	187.3

Fuente: Elaboración propia en base al tratamiento estadístico, 2018.

4.2.3.4 Temperatura

Para el análisis de la temperatura se ha adquirido, la data histórica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de la estación Cerro de Pasco (Ver Anexo 4). Para un mejor análisis de este elemento se ha desarrollado la temperatura media mensual, temperatura mínima media mensual y temperatura máxima media mensual. A continuación, se presenta el periodo y número de años de registro de temperatura en el

Cuadro 43 Estación con registro de temperatura

N°	Estación	Coordenadas		Altitud msnm	Periodo de Registro	Número de años de Registro
		Longitud	Latitud			
01	Cerro de Pasco	76° 15'	10° 41'	4260	2000 -2016	17

Fuente: Información extraída de la base del SENAMHI, 2018.

4.2.3.4.1 Variabilidad Temporal de Temperatura

En el Cuadro 44, se muestra la temperatura promedio, mínima y máxima a paso mensual para el periodo evaluado, de donde se desprende:

- La temperatura promedio anual es de 5.3°C
- La temperatura promedio mínima anual es del orden de 0.2°C.
- La temperatura promedio máxima anual es de 10.8°C.

Las características térmicas son propias de un clima semi – frígido, donde los meses de invierno, presentan temperaturas máximas mensuales del orden de 11.0°C, aunque en las madrugadas las mínimas de estos mismos meses descienden hasta -2.2°C.

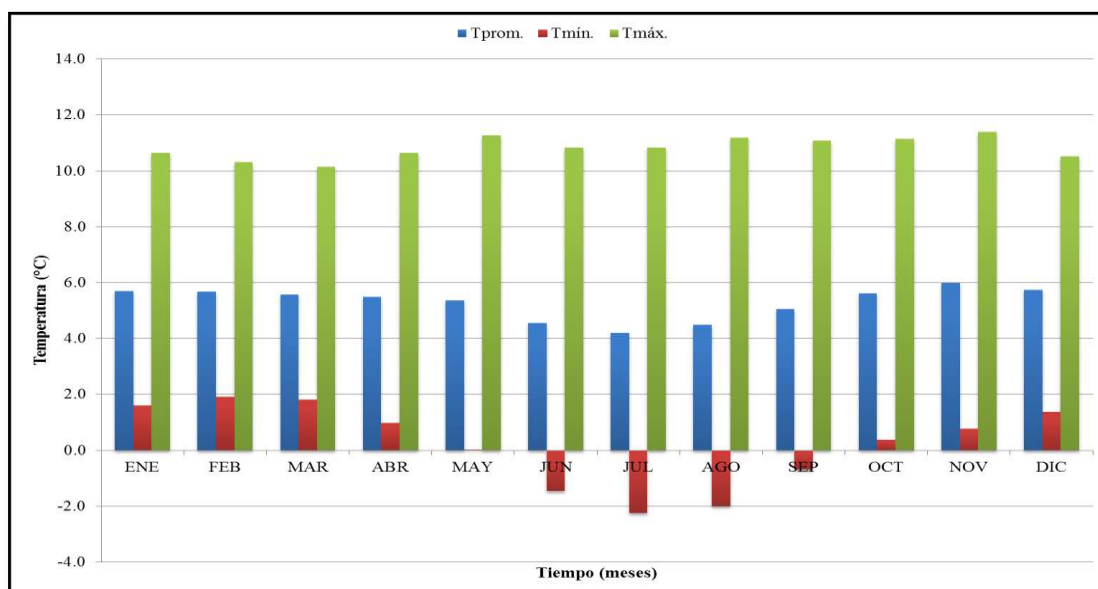
De este modo, si se considera solamente las temperaturas promedio, no muestra una marcada estacionalidad, ya que casi todos los meses presentan prácticamente los mismos valores térmicos. Sin embargo, si se observan las temperaturas mínimas mensuales, los cambios son más notorios, ya que en los meses invernales las temperaturas llegan a descender por debajo de -2.2°C , mientras que en los meses de verano los promedios se hallan hasta 4°C , por encima. A continuación, se muestra la serie de tiempo de temperatura a paso mensual y anual en el Gráfico 19 y Gráfico 20.

Cuadro 44 Variabilidad temporal de temperatura – Cerro de Pasco

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura Media Mensual (°C)	5.7	5.7	5.6	5.5	5.4	4.6	4.2	4.5	5.0	5.6	6.0	5.7	5.3
Temperatura Mínima Mensual (°C)	1.6	1.9	1.8	1.0	0.0	-1.5	-2.2	-2.0	-0.7	0.4	0.8	1.4	0.2
Temperatura Máxima Mensual (°C)	10.6	10.3	10.1	10.6	11.3	10.8	10.8	11.2	11.1	11.1	11.4	10.5	10.8

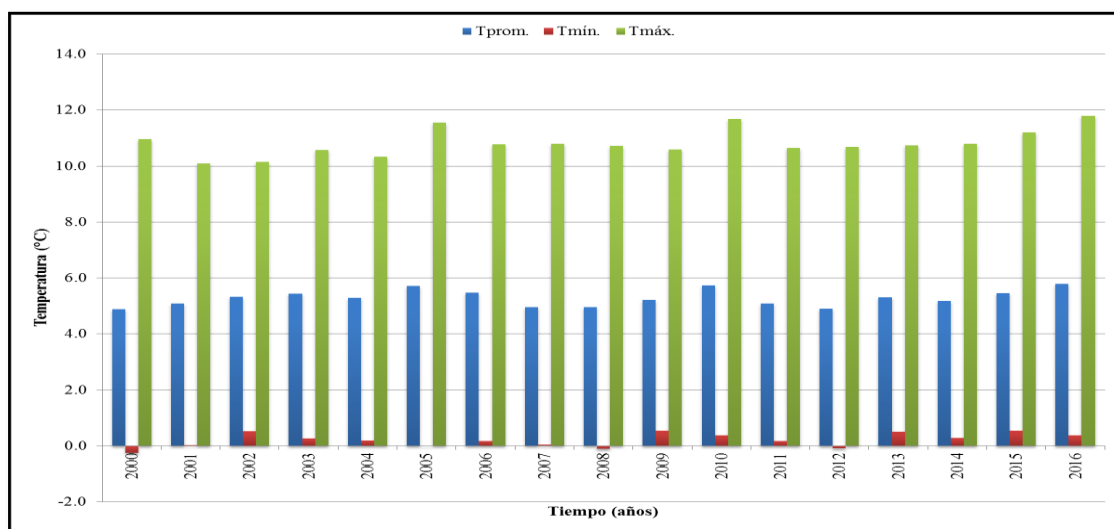
Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

Gráfico 19 Variabilidad temporal de temperatura Mensual – Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

Gráfico 20 Variabilidad temporal de temperatura Anual – Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

4.2.3.5 Humedad Relativa

Para la evaluación de la humedad relativa se analizó la data histórica registrada en la estación de Cerro de Pasco. Los valores de humedad relativa dependen directamente de la precipitación, por tanto, van a seguir de algún modo los patrones de variabilidad, en esta sección se hace un análisis de este parámetro para la estación considerada. A continuación, se presenta el periodo y número de años de registro de humedad relativa en el Cuadro 45.

Cuadro 45 Estación con registro de Humedad Relativa

N°	Estación	Coordenadas		Altitud msnm	Periodo de Registro	Número de años de Registro
		Longitud	Latitud			
01	Cerro de Pasco	76° 15'	10° 41'	4260	2001 -2016	16

Fuente: Información extraída de la base del SENAMHI, 2018.

4.2.3.5.1 Variabilidad Temporal de Humedad Relativa

En el Cuadro 46, se muestra la humedad relativa media mensual registrada en la estación Cerro de Pasco, de donde se deduce los siguientes resultados:

- La humedad relativa mensual anual, en el observatorio Cerro de Pasco es de 83.0%.
- La humedad relativa más alta se presentó en el mes de marzo con 84.6%.

- La humedad relativa más baja se registró en el mes de agosto con 81.7%.

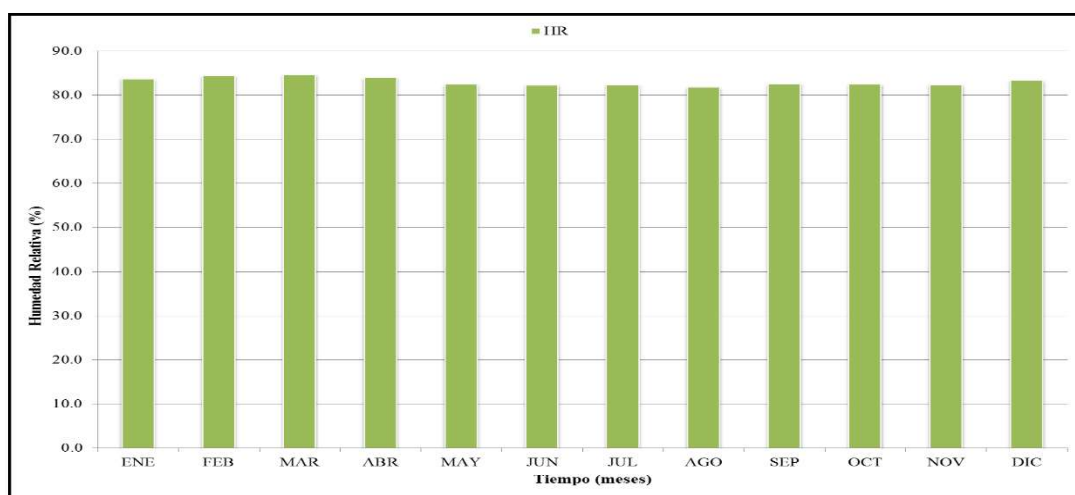
La humedad relativa no muestra un comportamiento claramente estacional definido, coincidente con el que muestran las precipitaciones, ya que es máxima en los meses lluviosos veraniegos y disminuye ligeramente en los meses secos invernales. La serie de tiempo de humedad relativa a paso mensual y anual se aprecian en el

Cuadro 46 Variabilidad de Humedad Relativa – Cerro de Pasco

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Humedad Relativa Media Mensual (%)	83.6	84.4	84.6	83.9	82.4	82.2	82.3	81.7	82.5	82.4	82.4	83.3	83.0

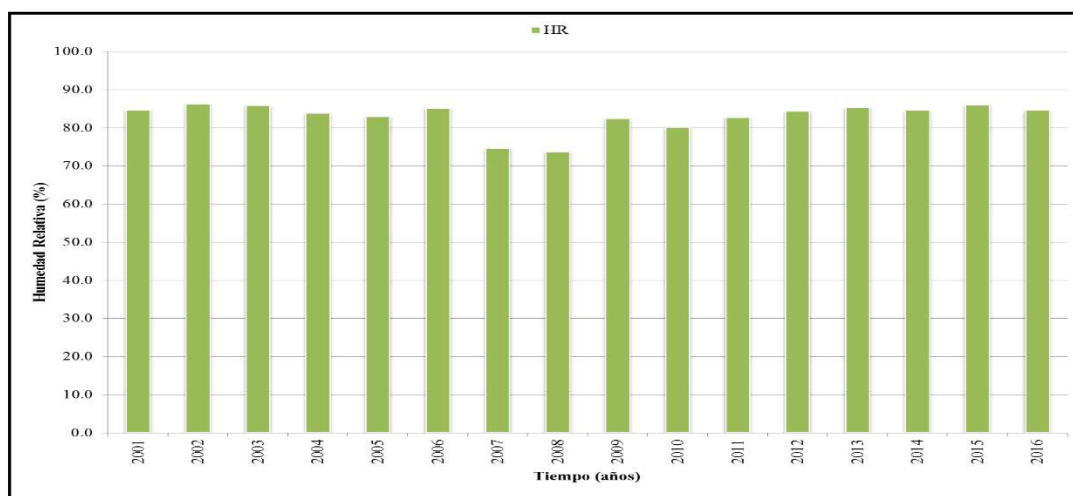
Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

Gráfico 21 Variabilidad temporal de humedad relativa mensual – Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

Gráfico 22 Variabilidad temporal de humedad anual – Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

4.2.3.6 Evaporación

Para el estudio de evaporación, se ha analizado la serie histórica de la estación Cerro de Pasco, esta data es medida en un tanque, según la información proporcionada por SENAMHI. La evaporación medida en un tanque, se corrige por un factor de 0.75, según USBR (United States Bureau of Reclamation). A continuación, se presenta el periodo y número de años de registro de evaporación en el Cuadro 47.

Cuadro 47 Estación con registro de Evaporación

N°	Estación	Coordenadas		Altitud msnm	Periodo de Registro	Número de años de Registro
		Longitud	Latitud			
01	Cerro de Pasco	76° 15'	10° 41'	4260	2011 -2016	6

Fuente: Información extraída de la base del SENAMHI, 2018.

4.2.3.6.1 Variabilidad Temporal de Evaporación

En el Cuadro 48, se muestra la evaporación media mensual a paso mensual para el periodo evaluado, de donde se desprende:

- La evaporación total anual en la estación Cerro de Pasco es de 770.3 mm.

- La evaporación en la estación de verano es del orden de 58 mm, mientras la evaporación en estación de invierno es de 68.8 mm, se aprecia que presenta un comportamiento inverso a la precipitación.

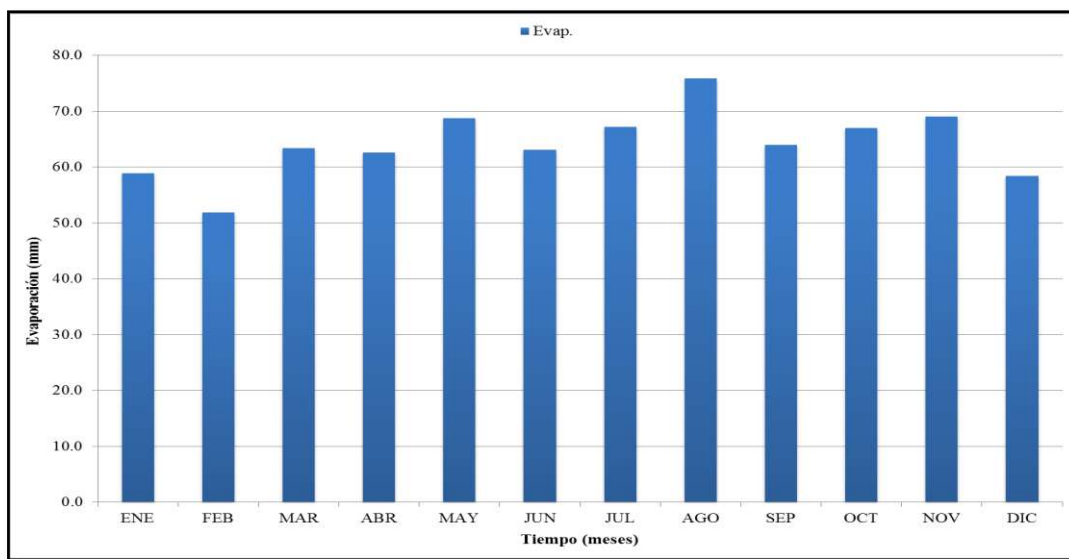
La serie de tiempo de evaporación a paso mensual y anual se muestra en el Gráfico 23 y Gráfico 24.

Cuadro 48 Variabilidad de Evaporación – Cerro de Pasco

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Evaporación Media Mensual (mm)	58.9	51.9	63.4	62.6	68.8	63.1	67.2	75.9	63.9	67.0	69.1	58.4	770.3

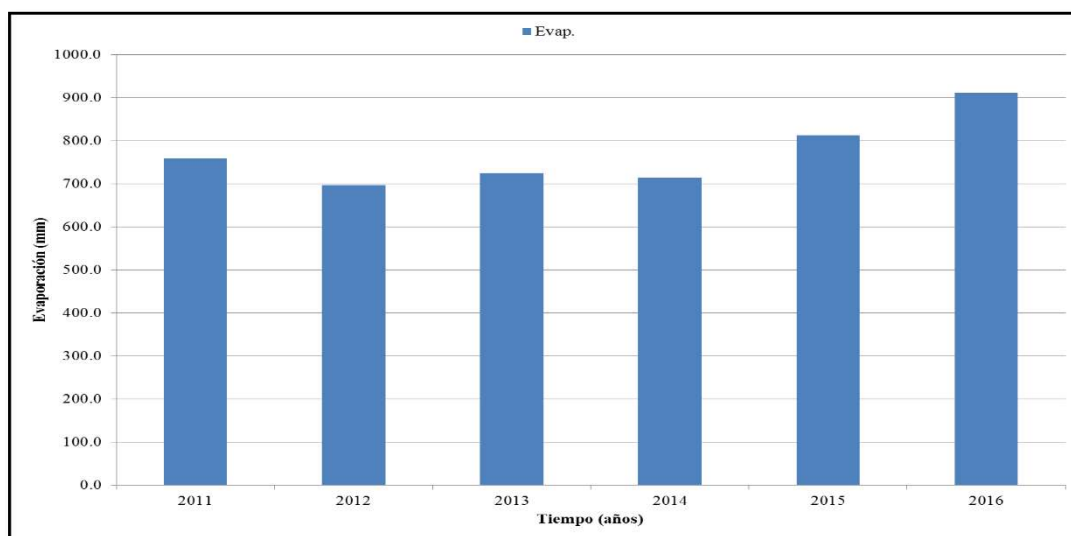
Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

Gráfico 23 Variabilidad temporal mensual de evaporación – Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

Gráfico 24 Variabilidad temporal de evaporación total anual – Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

4.2.3.7 Velocidad y Dirección del viento

Para el análisis de la velocidad y dirección de viento, se ha procesado la velocidad media registrada en el mes en la estación Cerro de Pasco. A continuación, se presenta el periodo y número de años de registro del parámetro evaluado en el Cuadro 49.

Cuadro 49 Estación con registro de velocidad y dirección del viento

N°	Estación	Coordenadas		Altitud msnm	Periodo de Registro	Número de años de Registro
		Longitud	Latitud			
01	Cerro de Pasco	76° 15'	10° 41'	4260	2001 -2015	15

Fuente: Información extraída de la base del SENAMHI, 2018.

4.2.3.7.1 Variabilidad temporal de velocidad del viento

En el Cuadro 50, se muestra valores de velocidad del viento, de donde se desprende:

- Los valores más bajos de velocidad del viento se presentan en los meses de diciembre hasta mayo, en tanto, los valores más altos se registraron en el mes de julio y agosto, siendo la velocidad promedio anual del orden de 2.2 m/s.

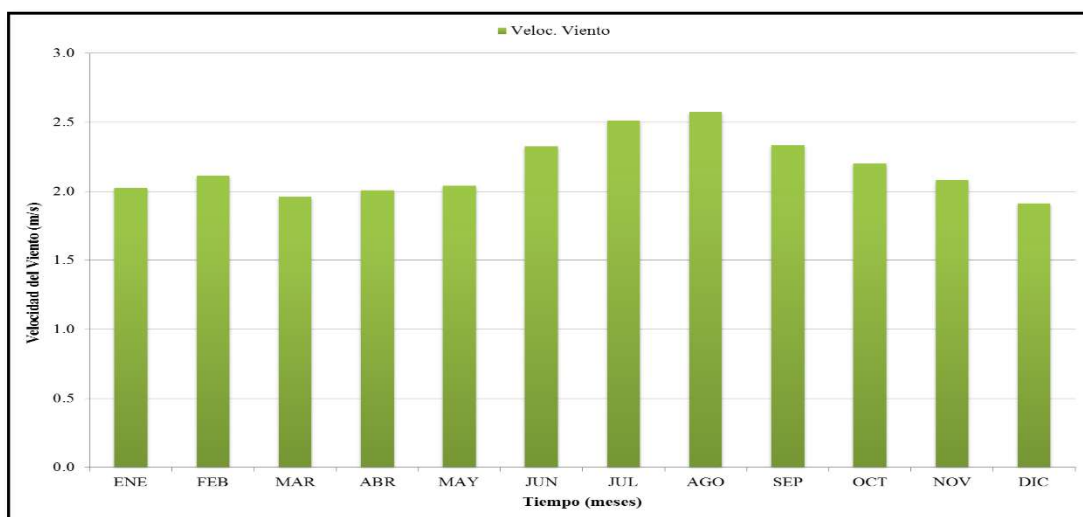
Cuadro 50 Variabilidad temporal de velocidad del viento – Cerro de Pasco

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Velocidad Promedio del Viento (m/s)	2.0	2.1	2.0	2.0	2.0	2.3	2.5	2.6	2.3	2.2	2.1	1.9	2.2

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

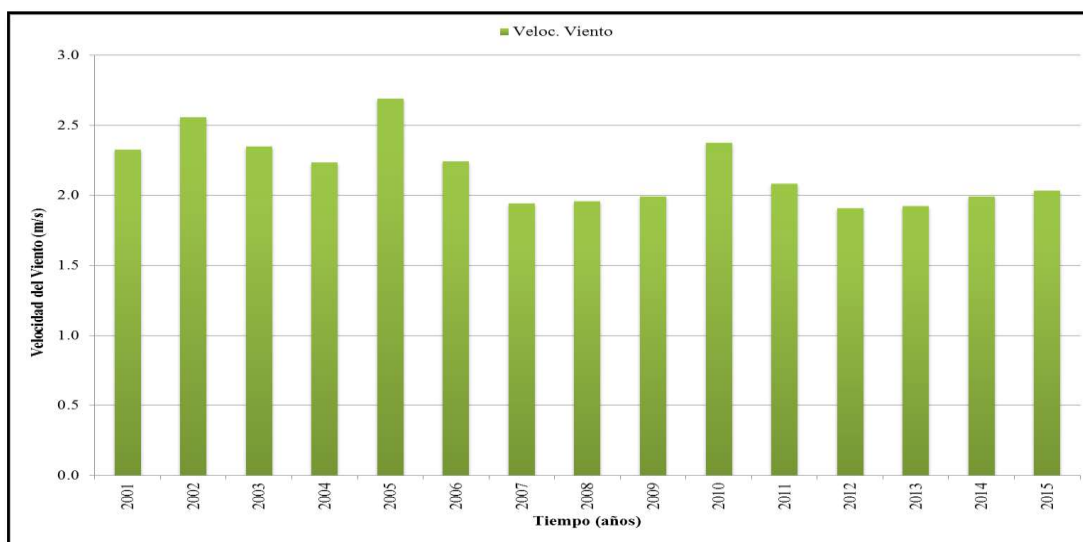
La serie de tiempo de velocidad del viento a paso mensual y anual se aprecia en el Gráfico 25 y Gráfico 26.

Gráfico 25 Variabilidad temporal de velocidad del viento mensual – Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

Gráfico 26 Variabilidad temporal de velocidad del viento anual – Cerro de Pasco



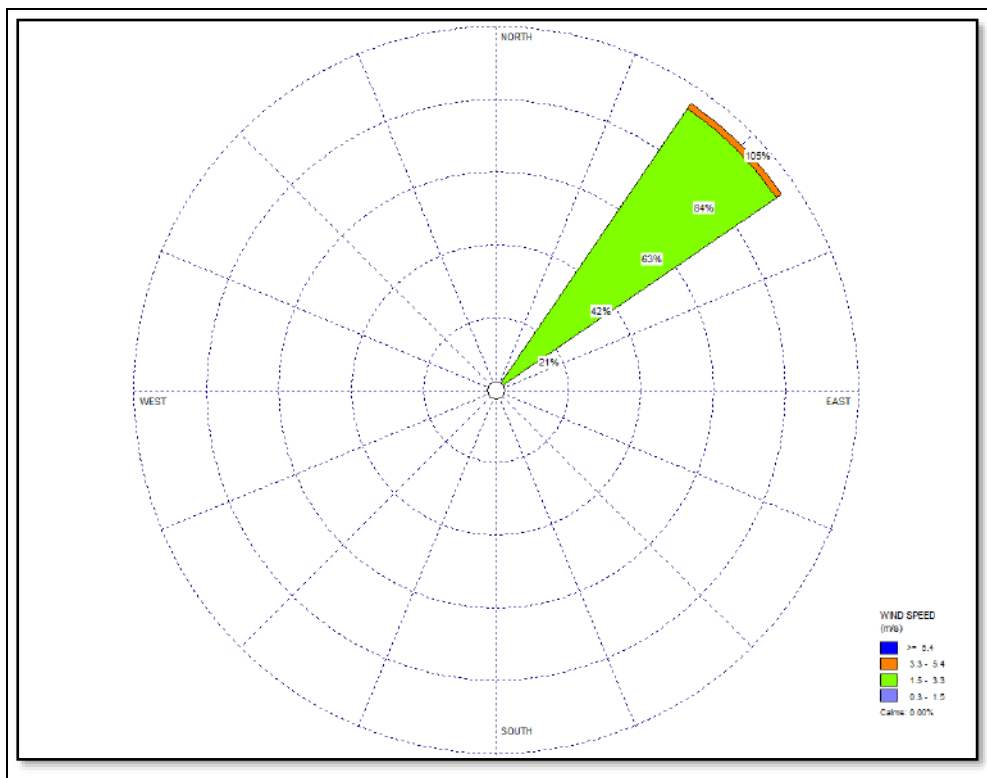
Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

4.2.3.7.2 Variabilidad temporal de la dirección del viento

La dirección del viento se analizó a través de la rosa de vientos, aplicando el software WRPLOT VIEW elaborado por LAKES ENVIRONMENTAL.

La dirección predominante del viento registrado en la estación Cerro de Pasco, proviene de la dirección Nor Este (NE) con una frecuencia de 100 %, la distribución de las frecuencias se muestra en la rosa de vientos, con sus respectivas velocidades la que se aprecia en el Gráfico 27.

Gráfico 27 Rosa de vientos – Cerro de Pasco



Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

4.2.4 Análisis de máximas avenidas

Se realizó el análisis de máximas avenidas, en el sistema de drenaje de la microcuenca del río Rumiallana, con la finalidad de determinar el caudal de diseño de la obra hidráulica, que protegerá a los relaves 1, 2 y 3, ante la presencia de un evento extraordinario. El río Rumiallana, no dispone de una estación hidrométrica, que registre caudales máximos diarios

o caudales máximo instantáneos, razón por la cual, se ha optado por formular un modelo hidrológico de precipitación – escorrentía.

El software utilizado para el modelo precipitación escorrentía es el Hydrologic Modeling System (HEC – HMS versión 4.2), el cual, es un programa computacional del Sistema de Modelación Hidrológica, la última versión en agosto de 2016, por el cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos de Norteamérica. Se determinó el caudal máximo instantáneo en el sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana, para un periodo de retorno de 10, 20, 25, 50, 100, 200, 500, 1 000 y 10 000 años, además se determinó la creciente máxima probable (CMP), correspondiente a una precipitación máxima probable (PMP).

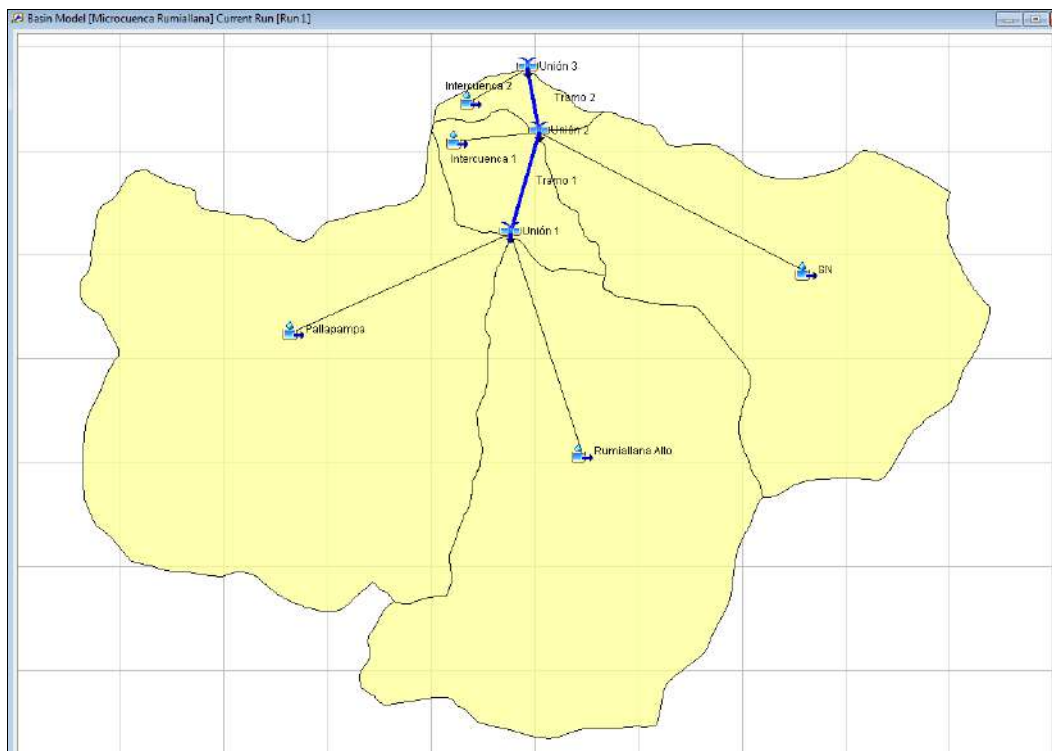
Para determinar la pérdida de agua se utilizó el método del número de curva, propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos, ahora Servicio de Conservación de Recursos Naturales y para la transformación de precipitación – escurrimiento se empleó el método de hidrograma unitario. A continuación, se presentan los ingresos para la aplicación del HEC – HMS.

4.2.4.1 Sistema de drenaje en HEC – HMS

El sistema de drenaje, configurada en el software HEC – HMS, se aprecia en el Gráfico 28 y representa los siguiente:

- La unión 1, corresponde al hidrograma resultante, procedente de los hidrogramas de avenida del río Rumiallana Alto y la quebrada Pallapampa.
- La unión 2, corresponde al hidrograma resultante, procede de los hidrogramas de avenida de la quebrada SN, Intercuenca 1 y tramo 1, este último es el tránsito de avenidas procedente de la unión 1.
- La unión 3, corresponde al hidrograma resultante, procede de los hidrogramas de la Intercuenca 2 y tramo 2, es preciso mencionar que los caudales en la unión 3, viene a ser el caudal que discurre al pie del depósito de relaves 1, 2 y 3.

Gráfico 28 Sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana



Fuente: Información obtenida en base al manejo de los archivos de Arcgis y HEC – HMS, 2018

4.2.4.2 Tiempo de Concentración y Retardo

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida de la cuenca, la escorrentía producida en la zona más alejada de dicha sección. Existen diversos modelos empíricos para estimar este tiempo de concentración, los que toman como variables de entrada la pendiente, longitud del cauce principal, área de la cuenca y rugosidad. Para el presente reporte se determinó el tiempo de concentración empleando los métodos de Hathaway, Temez y Bransby Williams, considerado representativo el promedio de los métodos empleados, mientras el tiempo de retardo es el tiempo desde el centroide del hietograma de lluvia efectiva al pico del hidrograma resultante.

Cuadro 51 Cálculo de tiempo de concentración y retardo

Sistema de Drenaje	Área (km ²)	Longitud (km)	Pendiente (m/m)	Tiempo de Concentración (horas)				Tiempo de Retardo (horas)
				Método Hathaway	Método Temez	Método Bransby Williams	Promedio	
Río Rumiallana Alto	3.01	2.0	0.0637	1.05	0.87	0.77	0.89	0.54
Quebrada Pallapampa	3.59	2.5	0.1065	1.03	0.93	0.85	0.93	0.56
Quebrada SN	2.31	1.8	0.1272	0.84	0.69	0.61	0.71	0.43
Intercuenca 1	0.37	0.4	0.3632	0.34	0.19	0.14	0.23	0.14
Intercuenca 2	0.14	0.3	0.4353	0.29	0.15	0.12	0.19	0.11

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

4.2.4.3 Tránsito del Cauce

En la configuración del sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana, se identifica dos tramos, para la evaluación del tránsito de avenidas. El tramo 1 y 2, presentan una longitud de 589 m y 346 m, respectivamente. Estos se calificaron como muy cortos, razón por la cual el método que mejor se adapta a estas características es el modelo Lag.

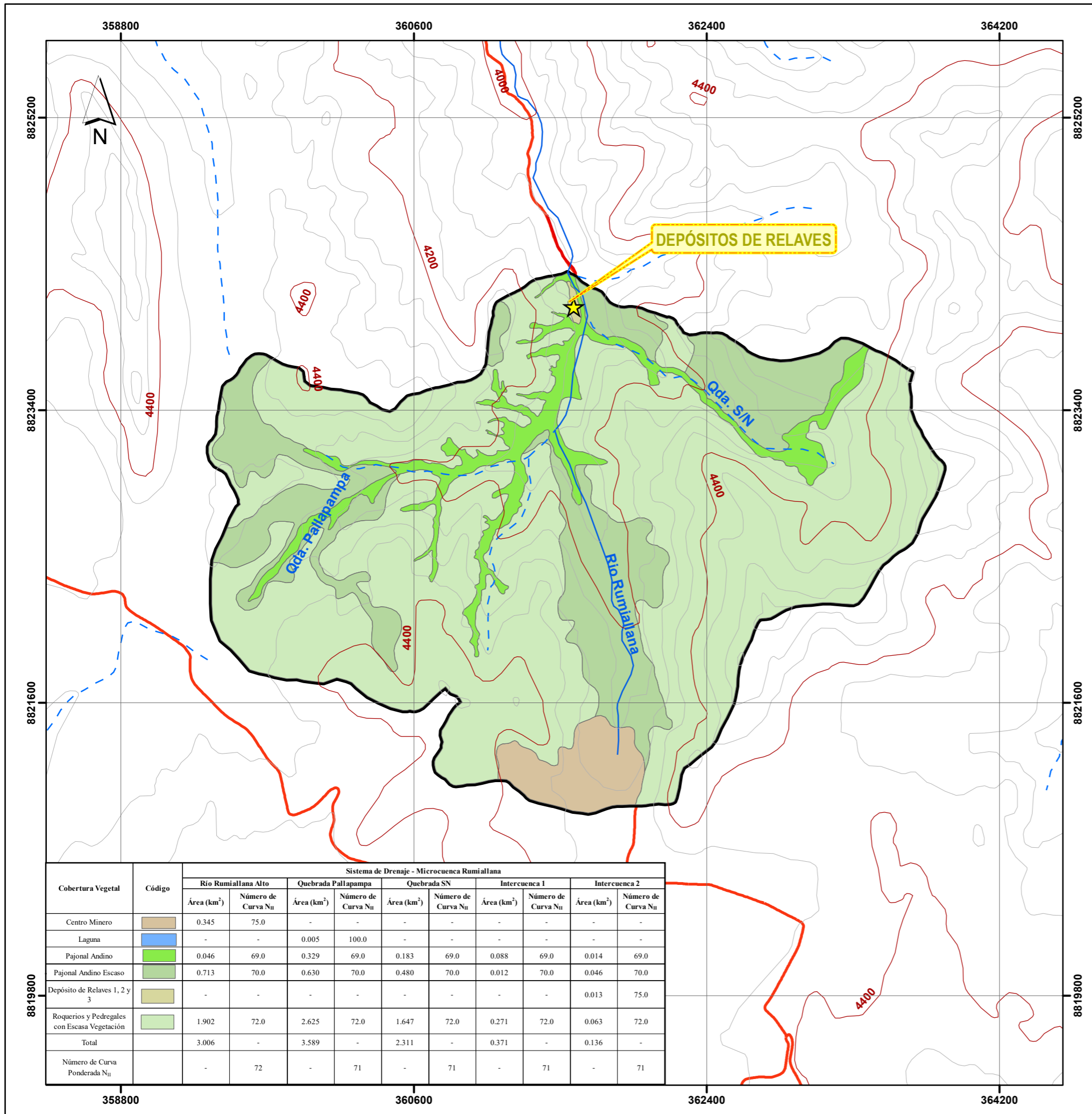
Empleando el modelo Lag, se determinó que el tiempo de tránsito de la onda de avenida (K), para el primer y segundo tramo es del orden de 12.8 y 9.0 minutos, respectivamente.

4.2.4.4 Determinación del Número de Curva

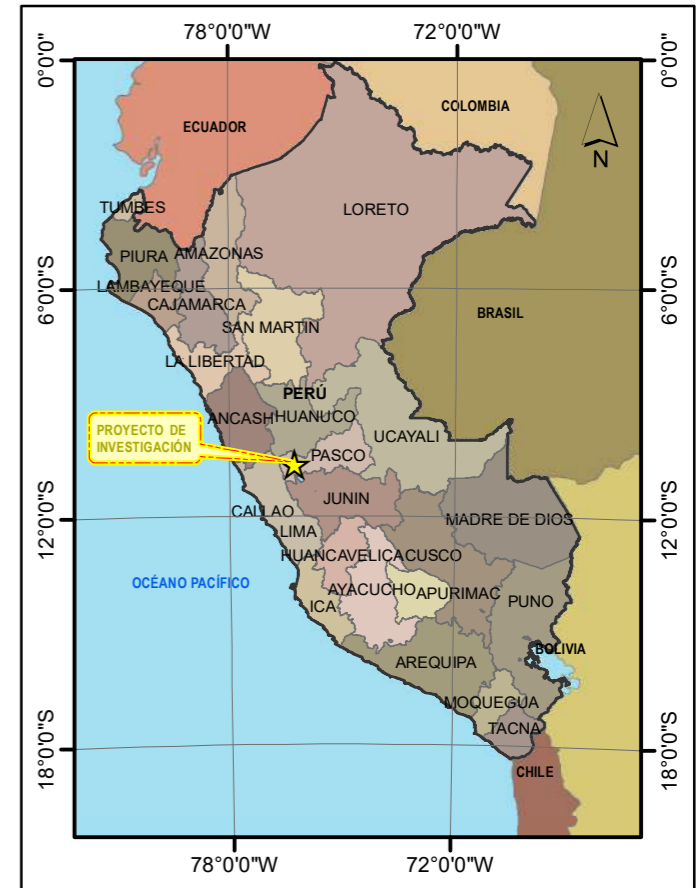
El Servicio de Conservación de Suelos (SCS, 1972) ahora (NRCS) Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos de América, desarrollo el método de Número de Curva, el cual es un valor empírico estimado de la combinación de tipo de suelos, cobertura vegetal y las condiciones de humedad.

Para el presente proyecto se determinó el número de curva representativo para el sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana, tomando como base los polígonos del mapa de cobertura vegetal. Para la elaboración del mapa de la cobertura vegetal de la microcuenca Rumiallana, se ha considerado lo siguiente:

- El mapa nacional de cobertura vegetal, publicada por el Ministerio del Ambiente (MINAM) en el año 2015, donde la cartografía base es de escala 1/100 000, además utilizaron un modelo de elevación digital del terreno de 90 m de resolución espacial, elaborada por United States Geological Survey (USGS) y fue complementado con imágenes satelitales de los años 2011 y 2012.
- Se superpuso la delimitación de la microcuenca Rumiallana a los polígonos de cobertura vegetal definido por el MINAM, las coberturas clasificadas centro minero y Pajonal Andino (Ver 4.1.2.4).
- Tomando como base la clasificación antes mencionada, se realizó ajustes a los polígonos a una escala de 1/25 000, empleando la imagen de satélite del servidor Google Earth para obtener un mejor detalle con fines hidrológicos. En el Mapa 13, se visualiza el mapa de cobertura vegetal de la microcuenca Rumiallana.



DEPÓSITOS DE RELAVES



LEYENDA

HIDROGRAFÍA

- RÍOS
- QUEBRADAS

HIPSOGRAFÍA

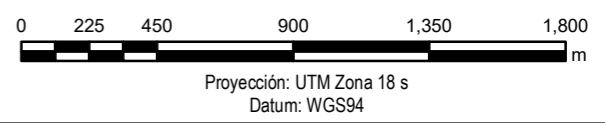
- CURVAS PRINCIPALES
- CURVAS SECUNDARIAS

LÍMITES

- REGIONES
- VIAS DE ACCESO

SIMBOLOGÍA

- DEPÓSITOS DE RELAVES
- MICROCUECNA RUMIALLANA



Cobertura Vegetal	Código	Sistema de Drenaje - Microcuenca Rumiallana									
		Río Rumiallana Alto		Quebrada Pallapampa		Quebrada SN		Intercuenca 1		Intercuenca 2	
		Área (km ²)	Número de Curva N _{ii}	Área (km ²)	Número de Curva N _{ii}	Área (km ²)	Número de Curva N _{ii}	Área (km ²)	Número de Curva N _{ii}	Área (km ²)	Número de Curva N _{ii}
Centro Minero		0.345	75.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Laguna		-	-	0.005	100.0	-	-	-	-	-	-
Pajonal Andino		0.046	69.0	0.329	69.0	0.183	69.0	0.088	69.0	0.014	69.0
Pajonal Andino Escaso		0.713	70.0	0.630	70.0	0.480	70.0	0.012	70.0	0.046	70.0
Depósito de Relaves 1, 2 y 3		-	-	-	-	-	-	-	-	0.013	75.0
Roqueros y Pedregales con Escasa Vegetación		1.902	72.0	2.625	72.0	1.647	72.0	0.271	72.0	0.063	72.0
Total		3.006	-	3.589	-	2.311	-	0.371	-	0.136	-
Número de Curva Ponderada N _{ii}		-	72	-	71	-	71	-	71	-	71

PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
Cobertura vegetal a nivel hidrológico - Microcuenca Rumiallana

	DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 13
	SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:25000	
	APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gov.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

La microcuenca Rumiallana presenta la siguiente cobertura: Cobertura, Laguna, Pajonal Andino, Pajonal Andino Escaso, Depósitos de relaves 1, 2 y 3, Requeríos y pedregales con escasa vegetación. Considerando las características antes mencionadas para la microcuenca Rumiallana, se asignan valores de número de curva a cada cobertura, para una condición de humedad antecedentes II (NII).

En el Cuadro 52, se presentan los cálculos del número de curva ponderado aplicable al sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana.

Cuadro 52 Cálculo de número de curva ponderado – Microcuenca Rumiallana

Cobertura Vegetal	Sistema de Drenaje - Microcuenca Rumiallana									
	Río Rumiallana Alto		Quebrada Pallapampa		Quebrada SN		Intercuenca 1		Intercuenca 2	
	Área (km ²)	Número de Curva N _{II}	Área (km ²)	Número de Curva N _{II}	Área (km ²)	Número de Curva N _{II}	Área (km ²)	Número de Curva N _{II}	Área (km ²)	Número de Curva N _{II}
Centro Minero	0.345	75.0								
Laguna			0.005	100.0						
Pajonal Andino	0.046	69.0	0.329	69.0	0.183	69.0	0.088	69.0	0.014	69.0
Pajonal Andino Escaso	0.713	70.0	0.630	70.0	0.480	70.0	0.012	70.0	0.046	70.0
Depósito de Relaves 1, 2 y 3									0.013	75.0
Roqueros y Pedregales con Escasa Vegetación	1.902	72.0	2.625	72.0	1.647	72.0	0.271	72.0	0.063	72.0
Total	3.006		3.589		2.311		0.371		0.136	
Número de Curva Ponderada N _{II}		72		71		71		71		71

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018.

4.2.4.5 Modelo Meteorológico

Se define la tormenta de diseño que será utilizada en la simulación de la relación precipitación – escorrentía, para ello se utiliza la precipitación máxima en 24 horas para diferentes intervalos de recurrencia y el valor de precipitación máximo probable, determinadas en base a la data de la estación Cerro de Pasco.

Para obtener las respectivas tormentas de diseño, se utilizó lo indicado por el Servicio de Recursos Naturales, SCS Storm, para tormentas tipo II correspondiente para lluvias orográficas.

4.2.4.6 Caudal máximo instantáneo y creciente máxima probable

El caudal máximo instantáneo al pie del depósito de relaves 1, 2 y 3, correspondiente a un periodo de retorno de 500, 1000, 10000 años es del orden de 16.61 m³/s, 19.8 m³/s y 31.46 m³/s, respectivamente y la creciente máxima probable, para una PMP es del orden de 141.5 m³/s.

Los caudales máximos instantáneos y la creciente máxima probable, del sistema de drenaje de la microcuenca Rumiallana se aprecia en el Cuadro 53 y las salidas del programa se presentan desde el Imagen 7 hasta el Imagen 16.

Cuadro 53 Caudal máximo y creciente máxima probable – Microcuenca Rumiallana

Sistema de Drenaje	Caudal Máximo Instantáneo									Creciente Máxima Probable
	T = 10 años	T = 20 años	T = 25 años	T = 50 años	T = 100 años	T = 200 años	T = 500 años	T = 1000 años	T = 10000 años	PMP
Río Rumiallana Alto (m ³ /s)	1.26	1.93	2.17	2.97	3.89	4.9	6.34	7.51	11.73	52.2
Quebrada Pallapampa (m ³ /s)	1.19	1.87	2.13	2.98	3.95	5.02	6.55	7.85	12.59	57.8
Unión 1 (m ³ /s)	2.44	3.8	4.3	5.95	7.8	9.88	12.89	15.36	24.32	109.9
Quebrada SN (m ³ /s)	0.88	1.41	1.61	2.27	3.03	3.85	5.03	6.03	9.7	44.5
Intercuenca 1 (m ³ /s)	0.27	0.44	0.51	0.72	0.94	1.19	1.53	1.81	2.79	12.6
Unión 2 (m ³ /s)	3.18	4.93	5.56	7.68	10.11	12.79	16.61	19.75	31.38	141.9
Intercuenca 2 (m ³ /s)	0.11	0.17	0.2	0.27	0.36	0.45	0.6	0.72	1.14	5.1
Unión 3 (m ³ /s)	3.2	4.94	5.58	7.72	10.15	12.81	16.61	19.8	31.46	141.5
Unión 3 (L/s/ha)	3.4	5.3	5.9	8.2	10.8	13.6	17.7	21.1	33.5	150.5

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 7 Salida HEC – HMS T=10 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 21:23:11 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	1.19	01ene2017, 12:40	4.19
Rumiallana Alto	3.01	1.26	01ene2017, 12:35	4.71
Unión 1	6.60	2.44	01ene2017, 12:40	4.43
Tramo 1	6.60	2.43	01ene2017, 12:50	4.43
SN	2.31	0.88	01ene2017, 12:30	4.19
Intercuenca 1	0.37	0.27	01ene2017, 12:05	4.19
Unión 2	9.28	3.18	01ene2017, 12:45	4.36
Tramo 2	9.28	3.17	01ene2017, 12:55	4.36
Intercuenca 2	0.14	0.11	01ene2017, 12:05	4.19
Unión 3	9.42	3.20	01ene2017, 12:55	4.36

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 8 Salida HEC – HMS T=20 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 21:29:14 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	1.87	01ene2017, 12:40	5.71
Rumiallana Alto	3.01	1.93	01ene2017, 12:35	6.32
Unión 1	6.60	3.80	01ene2017, 12:35	5.99
Tramo 1	6.60	3.77	01ene2017, 12:50	5.99
SN	2.31	1.41	01ene2017, 12:25	5.71
Intercuenca 1	0.37	0.44	01ene2017, 12:05	5.71
Unión 2	9.28	4.93	01ene2017, 12:45	5.91
Tramo 2	9.28	4.91	01ene2017, 12:55	5.91
Intercuenca 2	0.14	0.17	01ene2017, 12:05	5.71
Unión 3	9.42	4.94	01ene2017, 12:55	5.90

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 9 Salida HEC – HMS T=25 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 21:35:41 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	2.13	01ene2017, 12:35	6.24
Rumiallana Alto	3.01	2.17	01ene2017, 12:35	6.88
Unión 1	6.60	4.30	01ene2017, 12:35	6.53
Tramo 1	6.60	4.26	01ene2017, 12:45	6.53
SN	2.31	1.61	01ene2017, 12:25	6.24
Intercuenca 1	0.37	0.51	01ene2017, 12:05	6.24
Unión 2	9.28	5.56	01ene2017, 12:45	6.45
Tramo 2	9.28	5.54	01ene2017, 12:55	6.45
Intercuenca 2	0.14	0.20	01ene2017, 12:05	6.24
Unión 3	9.42	5.58	01ene2017, 12:55	6.44

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 10 Salida HEC – HMS T=50 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 21:52:30 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	2.98	01ene2017, 12:35	7.94
Rumiallana Alto	3.01	2.97	01ene2017, 12:30	8.68
Unión 1	6.60	5.95	01ene2017, 12:35	8.28
Tramo 1	6.60	5.92	01ene2017, 12:45	8.28
SN	2.31	2.27	01ene2017, 12:25	7.94
Intercuenca 1	0.37	0.72	01ene2017, 12:05	7.94
Unión 2	9.28	7.68	01ene2017, 12:40	8.18
Tramo 2	9.28	7.68	01ene2017, 12:50	8.18
Intercuenca 2	0.14	0.27	01ene2017, 12:05	7.94
Unión 3	9.42	7.72	01ene2017, 12:50	8.18

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 11 Salida HEC – HMS T=100 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 21:58:20 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	3.95	01ene2017, 12:35	9.80
Rumiallana Alto	3.01	3.89	01ene2017, 12:30	10.63
Unión 1	6.60	7.80	01ene2017, 12:35	10.17
Tramo 1	6.60	7.79	01ene2017, 12:45	10.17
SN	2.31	3.03	01ene2017, 12:25	9.80
Intercuenca 1	0.37	0.94	01ene2017, 12:05	9.80
Unión 2	9.28	10.11	01ene2017, 12:40	10.07
Tramo 2	9.28	10.09	01ene2017, 12:50	10.07
Intercuenca 2	0.14	0.36	01ene2017, 12:05	9.80
Unión 3	9.42	10.15	01ene2017, 12:50	10.06

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 12 Salida HEC – HMS T=200 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 22:04:15 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	5.02	01ene2017, 12:35	11.78
Rumiallana Alto	3.01	4.90	01ene2017, 12:30	12.71
Unión 1	6.60	9.88	01ene2017, 12:30	12.20
Tramo 1	6.60	9.85	01ene2017, 12:45	12.20
SN	2.31	3.85	01ene2017, 12:25	11.78
Intercuenca 1	0.37	1.19	01ene2017, 12:05	11.78
Unión 2	9.28	12.79	01ene2017, 12:40	12.08
Tramo 2	9.28	12.74	01ene2017, 12:50	12.08
Intercuenca 2	0.14	0.45	01ene2017, 12:00	11.78
Unión 3	9.42	12.81	01ene2017, 12:50	12.08

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 13 Salida HEC – HMS T=500 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 22:12:36 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	6.55	01ene2017, 12:30	14.58
Rumiallana Alto	3.01	6.34	01ene2017, 12:30	15.61
Unión 1	6.60	12.89	01ene2017, 12:30	15.05
Tramo 1	6.60	12.78	01ene2017, 12:45	15.05
SN	2.31	5.03	01ene2017, 12:25	14.58
Intercuenca 1	0.37	1.53	01ene2017, 12:05	14.58
Unión 2	9.28	16.61	01ene2017, 12:40	14.91
Tramo 2	9.28	16.52	01ene2017, 12:50	14.91
Intercuenca 2	0.14	0.60	01ene2017, 12:00	14.58
Unión 3	9.42	16.61	01ene2017, 12:50	14.91

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 14 Salida HEC – HMS T=1000 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 22:19:54 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	7.85	01ene2017, 12:30	16.84
Rumiallana Alto	3.01	7.51	01ene2017, 12:30	17.96
Unión 1	6.60	15.36	01ene2017, 12:30	17.35
Tramo 1	6.60	15.18	01ene2017, 12:40	17.35
SN	2.31	6.03	01ene2017, 12:20	16.84
Intercuenca 1	0.37	1.81	01ene2017, 12:05	16.84
Unión 2	9.28	19.75	01ene2017, 12:40	17.20
Tramo 2	9.28	19.70	01ene2017, 12:45	17.20
Intercuenca 2	0.14	0.72	01ene2017, 12:00	16.84
Unión 3	9.42	19.80	01ene2017, 12:45	17.19

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 15 Salida HEC – HMS T=10000 años

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 22:27:18 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	12.59	01ene2017, 12:30	24.94
Rumiallana Alto	3.01	11.73	01ene2017, 12:30	26.34
Unión 1	6.60	24.32	01ene2017, 12:30	25.58
Tramo 1	6.60	24.18	01ene2017, 12:40	25.58
SN	2.31	9.70	01ene2017, 12:20	24.94
Intercuenca 1	0.37	2.79	01ene2017, 12:05	24.94
Unión 2	9.28	31.38	01ene2017, 12:35	25.40
Tramo 2	9.28	31.32	01ene2017, 12:45	25.40
Intercuenca 2	0.14	1.14	01ene2017, 12:00	24.94
Unión 3	9.42	31.46	01ene2017, 12:45	25.39

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

Imagen 16 Salida HEC – HMS PMP

Project: Microcuenca Rumiallana Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: Microcuenca Rumiallana
 End of Run: 02ene2017, 12:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 11mar2017, 22:35:32 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

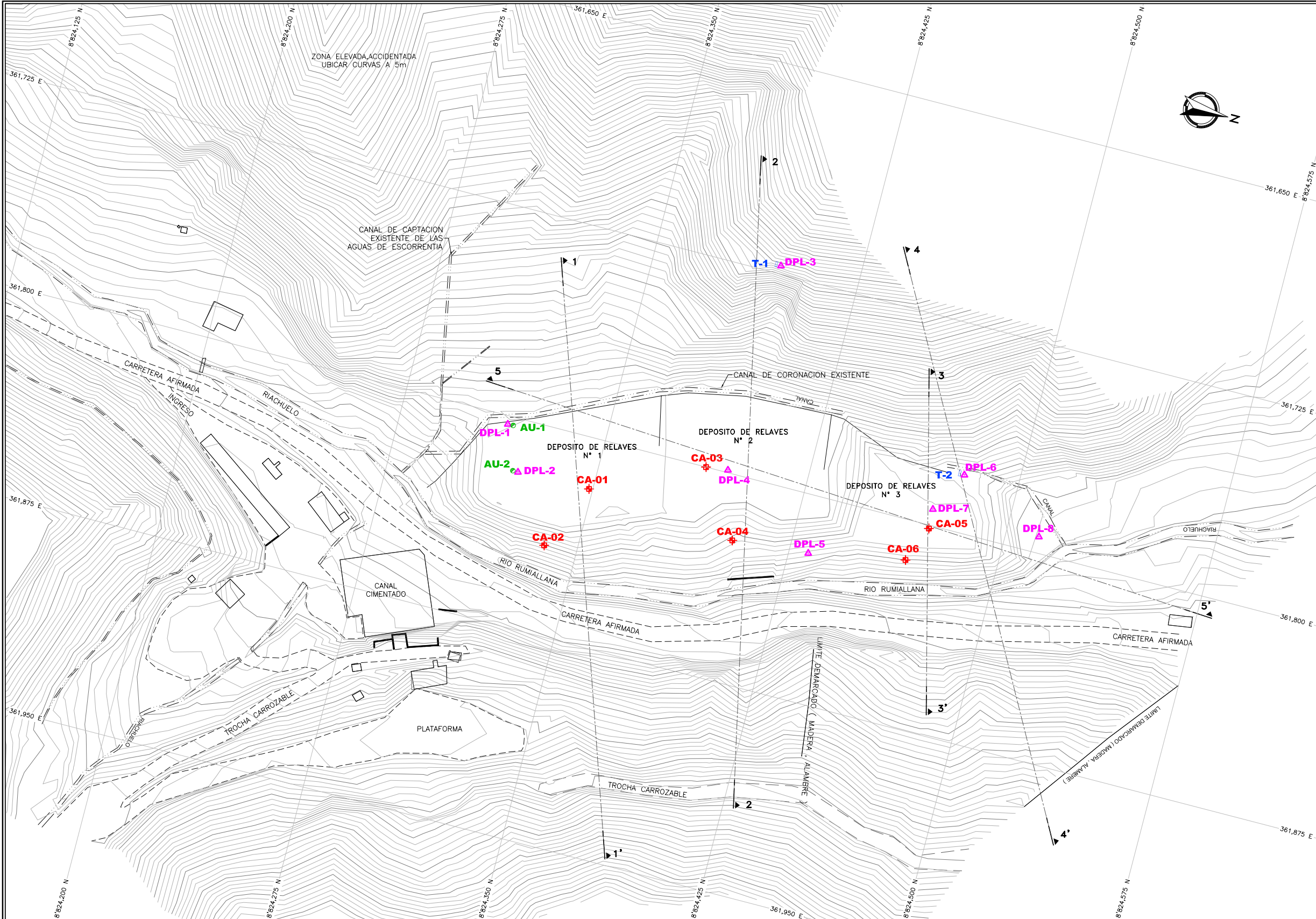
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Pallapampa	3.59	57.78	01ene2017, 12:25	102.62
Rumiallana Alto	3.01	52.15	01ene2017, 12:25	105.40
Unión 1	6.60	109.93	01ene2017, 12:25	103.89
Tramo 1	6.60	109.02	01ene2017, 12:40	103.89
SN	2.31	44.47	01ene2017, 12:20	102.62
Intercuenca 1	0.37	12.64	01ene2017, 12:00	102.62
Unión 2	9.28	141.92	01ene2017, 12:35	103.53
Tramo 2	9.28	140.98	01ene2017, 12:45	103.53
Intercuenca 2	0.14	5.05	01ene2017, 12:00	102.62
Unión 3	9.42	141.47	01ene2017, 12:45	103.51

Fuente: Elaborado en base al tratamiento estadístico de la información, 2018

4.2.5 Diseños hidráulicos

4.2.5.1 Sistema de drenaje superficial

El diseño de obras hidráulicas considera como parte inicial, la descripción situacional de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 en sus 02 (dos) aspectos, la descripción técnica y socioambiental, sumándose la información topográfica (obtenida en la etapa de recolección de la información); por ello es importante expresar esta información gráficamente como se aprecia en el Plano 1 elaborado por Geoservice (2006), donde se muestran los canales de derivación de aguas pluviales, entre otras infraestructuras hidráulicas.



PLANTA
ESC. 1/1,250

RELACION DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
EJECUTADAS EN NOVIEMBRE 2006 – RELACION DE CALICATAS

PUNTO	ESTE	NORTE	UBICACION	PROF. (m)
CA-01	361,816.00	8'824,345.00	DEPOSITO DE RELAVES N°1	2.70 m
CA-02	361,842.50	8'824,338.00	DEPOSITO DE RELAVES N°1	2.70 m
CA-03	361,823.50	8'824,404.00	DEPOSITO DE RELAVES N°2	2.50 m
CA-04	361,800.50	8'824,472.00	DEPOSITO DE RELAVES N°3	2.70 m
CA-06	361,814.50	8'824,467.00	DEPOSITO DE RELAVES N°3	2.50 m

RELACION DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
EJECUTADAS EN OCTUBRE 2006 – RELACION DE TRINCHERAS

PUNTO	ESTE	NORTE	UBICACION	PROF. (m)	N.F.
T-1	361,721.93	8'824,394.18	DEPOSITO DE RELAVES N°2	1.60 m	--
T-2	361,778.93	8'824,478.24	DEPOSITO DE RELAVES N°3	1.70 m	--

RELACION DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
EJECUTADAS EN OCTUBRE 2006

PUNTO	ESTE	NORTE	UBICACION	PROF. (m)
DPL-1	361,803.00	8'824,314.00	DEPOSITO DE RELAVES N°1	2.40 m
DPL-2	361,819.00	8'824,322.00	DEPOSITO DE RELAVES N°1	2.00 m
DPL-3	361,722.00	8'824,396.00	DEPOSITO DE RELAVES N°2	1.50 m
DPL-4	361,799.00	8'824,398.00	DEPOSITO DE RELAVES N°2	2.00 m
DPL-5	361,821.00	8'824,432.00	DEPOSITO DE RELAVES N°2	3.00 m
DPL-6	361,779.00	8'824,480.00	DEPOSITO DE RELAVES N°3	1.20 m
DPL-7	361,794.00	8'824,472.00	DEPOSITO DE RELAVES N°3	3.00 m
DPL-8	361,794.00	8'824,512.00	DEPOSITO DE RELAVES N°3	2.40 m

RELACION DE INVESTIGACIONES GEOTECNICAS
EJECUTADAS EN OCTUBRE 2006
RELACION DE EXTRACCION DE MUESTRAS CON EL AUGER (EMA)

PUNTO	ESTE	NORTE	UBICACION	PROF. (m)	N.F.
AU-1	361,802.99	8'824,316.02	DEPOSITO DE RELAVES N°1	1.20 m	--
AU-2	361,819.00	8'824,320.06	DEPOSITO DE RELAVES N°1	1.50 m	--

FUENTE:

- PLANO TOPOGRAFICO LEVANTADO POR GEOSERVICE INGENIERIA S.R.L.
- SISTEMA DE COORDENADAS: WGS-84

B	EMITIDO PARA REVISION DEL CLIENTE	M.D.L.T.	J.O.P.	A.L.	NOV.2006
A	EMITIDO PARA REVISION INTERNA	M.D.L.T.	E.V.G.	M.D.L.T.	OCT.2006
REV.	DESCRIPCION	DIS.	DIB.	APR.	FECHA

COMPANIA MINERA EL PILAR S.A.

NOMBRE DEL PROYECTO:

PLAN DE CIERRE DE PASIVOS AMBIENTALES
CIA MINERA EL PILAR

TITULO

DISPOSICIÓN GENERAL DE LAS OBRAS DE
PLAN DE CIERRE

Diseño:	M.D.L.T.	Aprobó:	M.D.L.T.	File:	M217-2006-26.DWG	12/07/06	12:20
Dibujó:	E.V.G.	Escala:	1/1,250	N° Plano:	Plano 1		
Revisó:	M.D.L.T.	Fecha:	SET. 2006	Rev.:	M.D.L.T.		



4.2.5.1.1 *Diseño hidráulico*

El diseño hidráulico de los canales de captación perimetral de los depósitos de relaves N° 1, 2 y 3, se ha basado en el Manual de criterios de diseño de obras hidráulicas para la Formulación de Proyectos Hidráulicos determinado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2010).

4.2.5.1.1.1 *Elementos básicos de diseño*

El canal de diseño de tipo abierto, ha sido definido mediante un planteamiento hidráulico, donde se establecieron las estrategias de funcionamiento del sistema (captación – canal abierto – regulación). Se consideraron como factores de mayor importancia al trazo del canal, los radios mínimos, las velocidades máximas y mínimas del caudal y el borde libre, los cuales serán detallados más adelante.

Cabe destacar que, en el desarrollo del diseño de este tipo de obras, el caudal es un parámetro clave para el dimensionamiento, el cual está asociado a la disponibilidad del recurso hídrico (hidrología), al tipo de suelo de cultivo y condiciones climáticas del entorno; así mismo, se requiere reconocer el terreno, para determinar un eje probable de trazo con punto inicial y final.

- a) Trazo del canal: Los datos obtenidos en base a la información topográfica permiten establecer el trazo final del canal, el cual es condicionado a la escala del plano, considerando la precisión deseada para definir el rasante del canal.
- b) Rasante del canal: El trazo del canal permite dibujar longitudinalmente de dicho trazo a escalas más usuales de 1:1000 o 1:12000 para el sentido horizontal y de 1:100 o 1:200 para el sentido vertical, siendo la relación normal entre escala.
- c) Radios Mínimos en canales: Un cambio brusco en la dirección del canal es sustituido por una curva, cuyo radio debe ser el mínimo. El trazar curvas con radios mayores al mínimo no es hidráulicamente más eficiente, resultando más costoso.
- d) Velocidad máxima y mínimas permisibles: Se define a la velocidad máxima como aquella que causaría erosión al canal; y a la velocidad mínima, como aquella que no permite la sedimentación. En relación a la velocidad máxima, Krochin Sviatoslav, señala que un canal profundo conducirá el agua a mayores velocidades sin erosionar,

que otro menos profundo; por lo que MIR (1978), señala que un canal revestido con mampostería, con resistencia promedio de 100 Kg/cm² y una tirante agua de hasta 0.5 m, posee una velocidad máxima de erosión de 10 m/s. En cuanto a la velocidad mínima, Krochin Sviatoslav, menciona que los valores son muy variables, determinados con inexactitud, y para casos donde el agua fluye con limo, los valores carecen de importancia; pero, la baja velocidad favorece el crecimiento de plantas en canales de mampostería; ante ello MIR (1978) establece un valor de 0.7 a 0.8 m/s como una velocidad apropiada que no permite la sedimentación y además impide el crecimiento de plantas en el canal.

- e) Borde Libre: Es el espacio entre la cota de la corona y la superficie del agua. Su cálculo no es determinado por reglas fijas de aceptación universal, debido a que las fluctuaciones de la superficie del agua en un canal, se pueden originar por causas incontrolables. La U.S. BUREAU OF RECLAMATION recomienda su estimación con la siguiente fórmula:

$$\text{Borde Libre} = \sqrt{CY}$$

Nota:

C: 1.5 para caudales menores a 0.5 m³/s

Y: 2.5 para caudales hasta 85 m³/s

4.2.5.1.1.2 Cálculos hidráulicos

Para definir el diseño hidráulico del canal se consideraron diversos factores como: caudal a conducir, factores geométricos e hidráulicos de la sección, materiales de revestimiento, topografía existente, geología y geotecnia de la zona, materiales disponibles en la zona o en el mercado más cercano, costos de materiales, disponibilidad de mano de obra calificada, tecnología actual, optimización económica y socio economía de los beneficiarios, climatología y altitud.

Respecto al espesor que tendría el canal, no existen reglas generales que definan las medidas de revestimiento del concreto; sin embargo, según la experiencia acumulada en construcciones de canales en el país, se puede usar un espesor de 5 a 7.7 cm para canales pequeños y medianos, y 10 a 15 cm para canales medianos y grandes, siempre que éstos se diseñen sin armadura. Para este proyecto que se considera revestido de mampostería.

Como se ha mencionado antes, el caudal es un parámetro clave en el dimensionamiento del canal; es por ello, que a continuación se detallará el método y resultados obtenidos. Y posteriormente, se presentarán las dimensiones finales del canal de captación perimetral de los Depósitos de Relaves No 1, 2 y 3.

a) Caudal de diseño

El caudal de diseño ha sido determinado por el Método Racional, recomendado por Emil Kuching (1889), para predecir el gasto máximo en cuencas rurales pequeñas <200 ha, considerando que el área del proyecto comprende áreas menores a 8 ha.

Este método asume que el máximo porcentaje de escurrimiento de una cuenca pequeña ocurre cuando la intensidad de tal cuenca está contribuyendo al escurrimiento, y que el citado porcentaje de escurrimiento es igual a un porcentaje de la intensidad de lluvia promedio; la ecuación resultante es la siguiente:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3.60}$$

Nota:

Q: Caudal de diseño en m³/s

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de lluvia en mm/h

A: Área de la cuenca en Km²

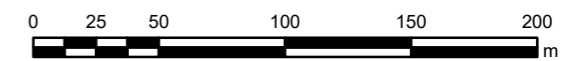
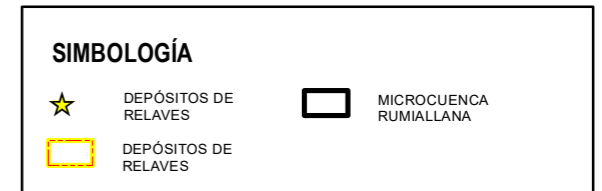
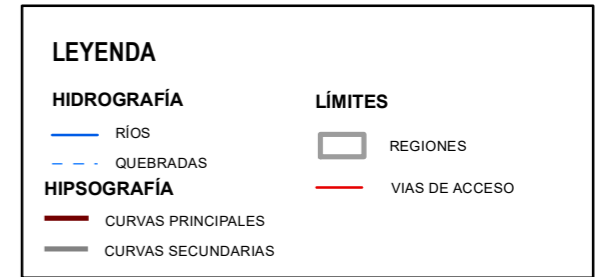
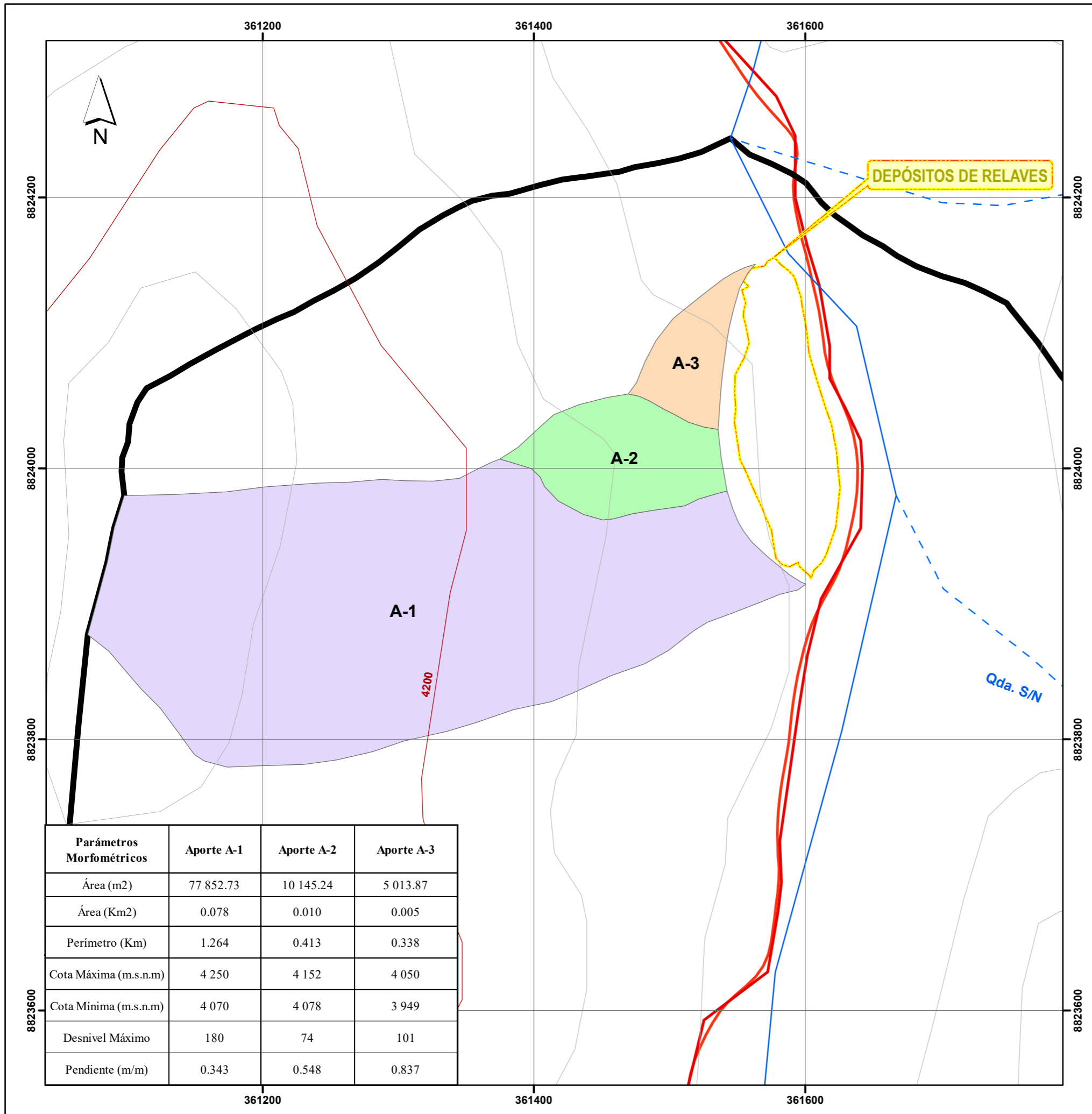
En ese sentido, para el cálculo de los flujos máximos, ocasionados por tormentas que descienden desde las laderas, se aplicó el Método Racional, por la reducida extensión de las áreas de drenaje.

Para fines del cálculo se consideró un valor de intensidad máxima de 156.4 mm/h para una tormenta de 15 minutos de duración en un periodo de retorno (TR) de 500 años (Ver Cuadro 41); un valor de coeficiente de escorrentía de 0.6 por ser un área no desarrollada con pastizales y pendientes mayores a 7% (Ver Cuadro 54); y tres (03) áreas de aporte a la escorrentía, definidas gráficamente en el Mapa 14 y cuantitativamente el Cuadro 55

Cuadro 54 *Coefficientes de escorrentía para diferentes periodos de retorno*

Características de la Superficie	Periodo de Retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas de Cultivo							
Pendiente plana de 0 – 2 %)	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Pendiente promedio de 2 – 7 %	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente Superior a 7 %	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Pendiente plana de 0 – 2 %)	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Pendiente promedio de 2 – 7 %	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente Superior a 7 %	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Pendiente plana de 0 – 2 %)	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Pendiente promedio de 2 – 7 %	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.26
Pendiente Superior a 7 %	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: Hidrología aplicada de Ven Te Chow



Proyección: UTM Zona 18 s
Datum: WGS94

PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE LA UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
ÁREAS DE ESCORRENTIA PARA DELIMITACIÓN DE CANALES

	DISEÑO:	Jasmani Bao L.	VERSIÓN:	V-04	MAPA 14
	SIG:	Jasmani Bao L.	ESCALA:	1:3000	
	APROBADO:	Jasmani Bao L.	FECHA:	Noviembre, 2018	

FUENTE: La data utilizada para esta figura fue extraída del IGN-Instituto Geográfico Nacional 1:100 (<http://www.ign.gob.pe/index.php>) y complementada con la información enviada por el cliente

Cuadro 55 Áreas de aportes a los Depósitos de relaves 1,2 y 3

Parámetros Morfométricos	Aporte A-1	Aporte A-2	Aporte A-3
Área (m ²)	77 852.73	10 145.24	5 013.87
Área (Km ²)	0.078	0.010	0.005
Perímetro (Km)	1.264	0.413	0.338
Cota Máxima (m.s.n.m)	4 250	4 152	4 050
Cota Mínima (m.s.n.m)	4 070	4 078	3 949
Desnivel Máximo	180	74	101
Pendiente (m/m)	0.343	0.548	0.837

Fuente: Elaboración propia en base a los cálculos realizados, 2018.

El valor resultante del caudal de diseño para los canales proyectados se aprecia en el Cuadro 56 presentado a continuación, definiendo la subdivisión de 02 (dos) canales según su ubicación, canal sur y canal norte:

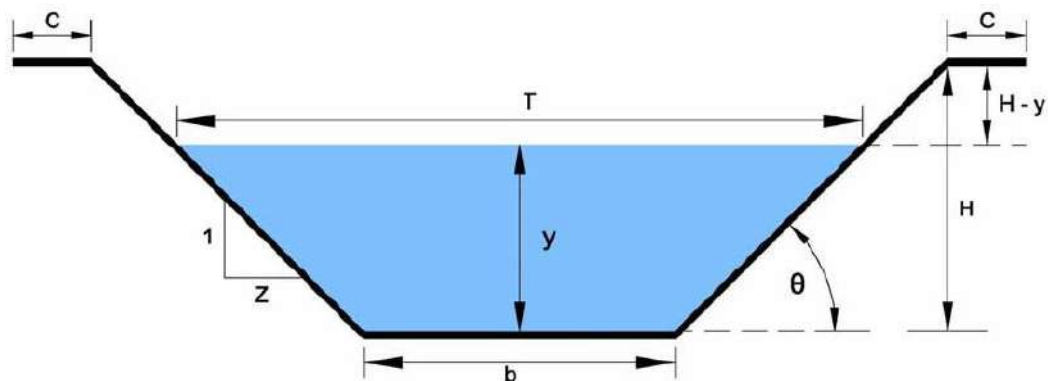
Cuadro 56 Caudales de diseño

Área de Aporte	T_R	C (%)	Área (km²)	I (mm/h)	Q (m³/s)
Canal Sur					
Aporte A-1	500	0.6	0.078	156.4	2.03
Aporte A-2	500	0.6	0.010	156.4	0.26
Total, de Caudal en el Canal Sur					2.29
Canal Norte					
Aporte 3	500	0.6	0.005	156.4	0.13
Total, de Caudal en el Canal Norte					0.13

Fuente: Elaboración propia en base al cálculo hidráulica, 2018.

Los dos (02) canales proyectados presentarán un arreglo general de acuerdo a la Gráfico 29, y su ubicación con respecto al Depósito de Relaves No 1, 2 y 3 será: el primer canal en sentido NE, y el segundo en sentido SO. Ambos entregarán a un terraplén que evitará la erosión en las cercanías del río y en los muros de protección proyectados.

Gráfico 29 Elementos de un canal trapezoidal



Fuente: Hidrología aplicada de Ven Te Chow

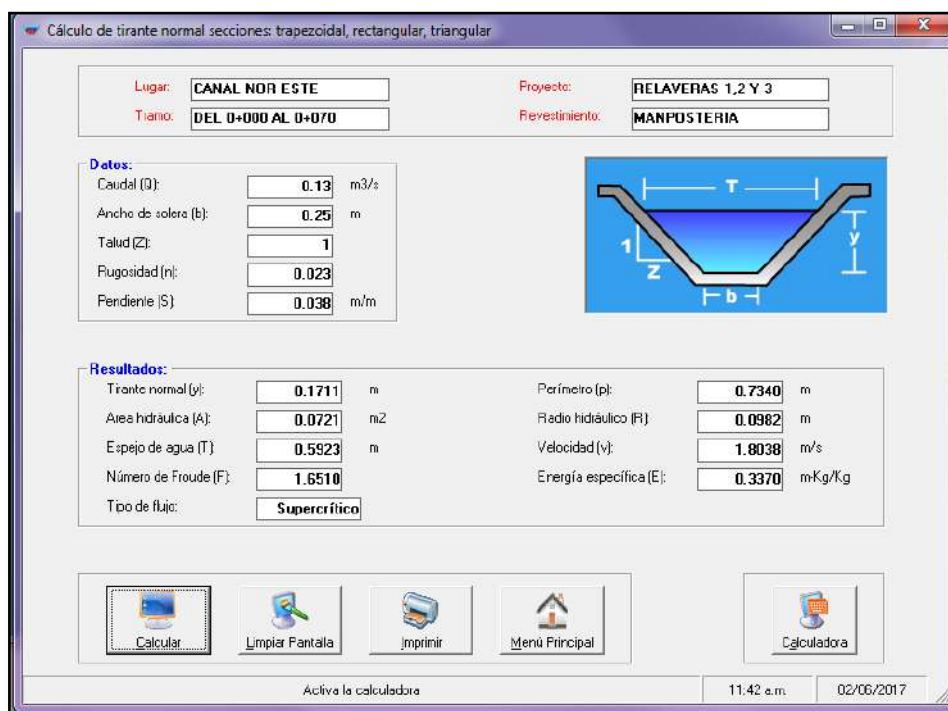
b) Dimensionamiento de los canales

El dimensionamiento de los canales se realizó en función a los cálculos predefinidos en anteriores ítems, y con el apoyo del software Hcanales, a continuación, se presentan los inputs de este software.

- Tipo de revestimiento: Mampostería
- Sección: Trapezoidal
- Velocidad máxima permisible: 10 m/s
- T_r para caudal de diseño: 500 años
- Número de Maning: 0.0023
- Espesor del canal: 0.15 metros

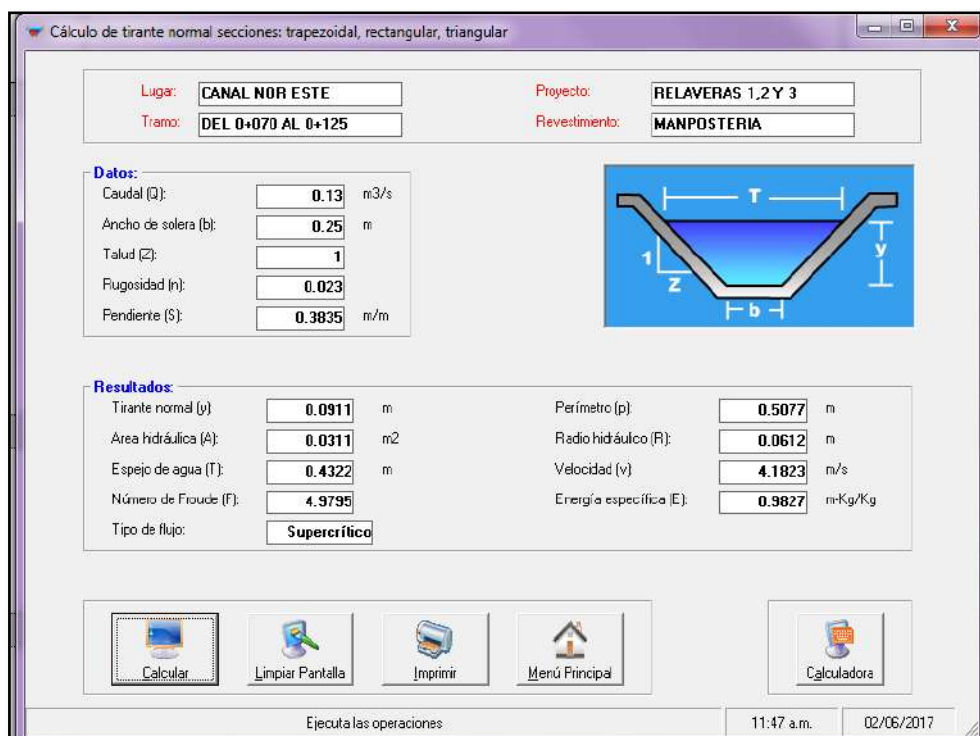
Cabe destacar que el número de Manning fue considerado para canales revestidos con mampostería de piedra cementada, según Ven Te Chow; y la dimensión del elemento c del canal (Ver Gráfico 29) de 0.15 metros, se consideró en todos los canales. A continuación, se presentan los resultados en Hcanales del diseño de las obras hidráulicas. Ver desde Imagen 17 hasta Imagen 23, Cuadro 57 y Cuadro 58.

Imagen 17 Cálculo del tirante Normal – Canal NO tramo 1 de 0+000 a 0+070



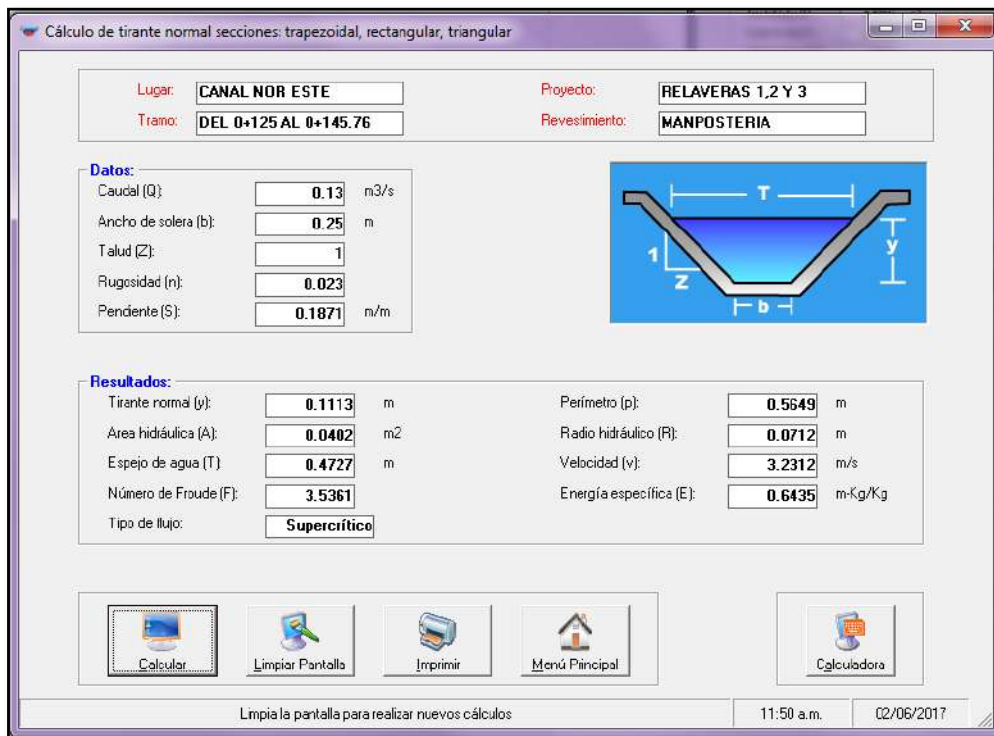
Fuente: Elaboración propia en base al software Hcanales, 2018.

Imagen 18 Cálculo del Tirante Normal - - Canal NO Tramo 2 de 0+070 a 0+125



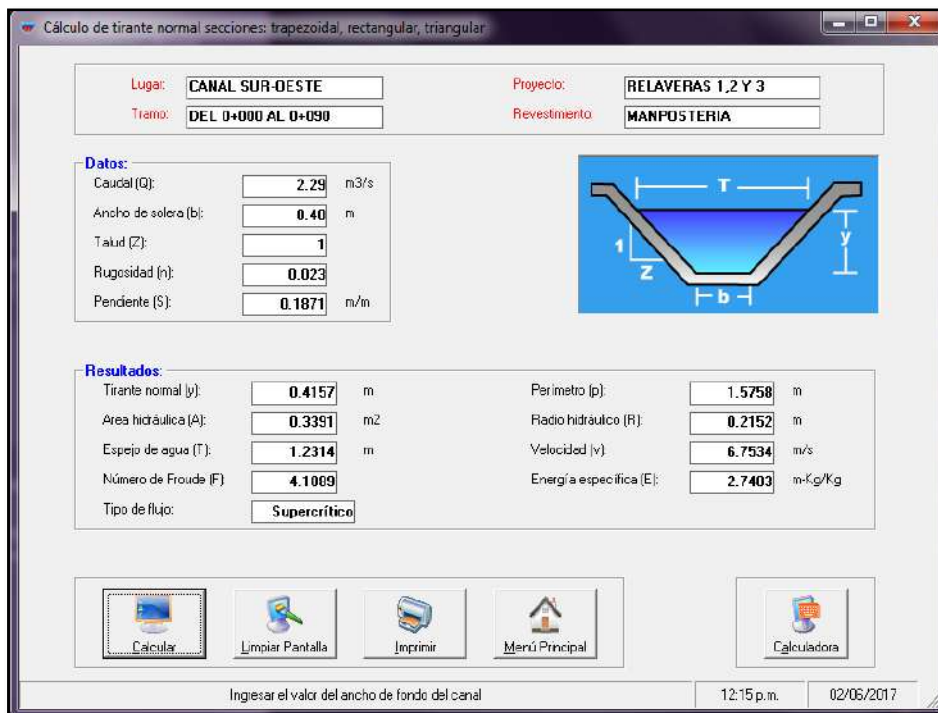
Fuente: Elaboración propia en base al software Hcanales, 2018.

Imagen 19 Cálculo del Tirante Normal – Canal NO Tramo 3 de 0+125 a 0+145.76



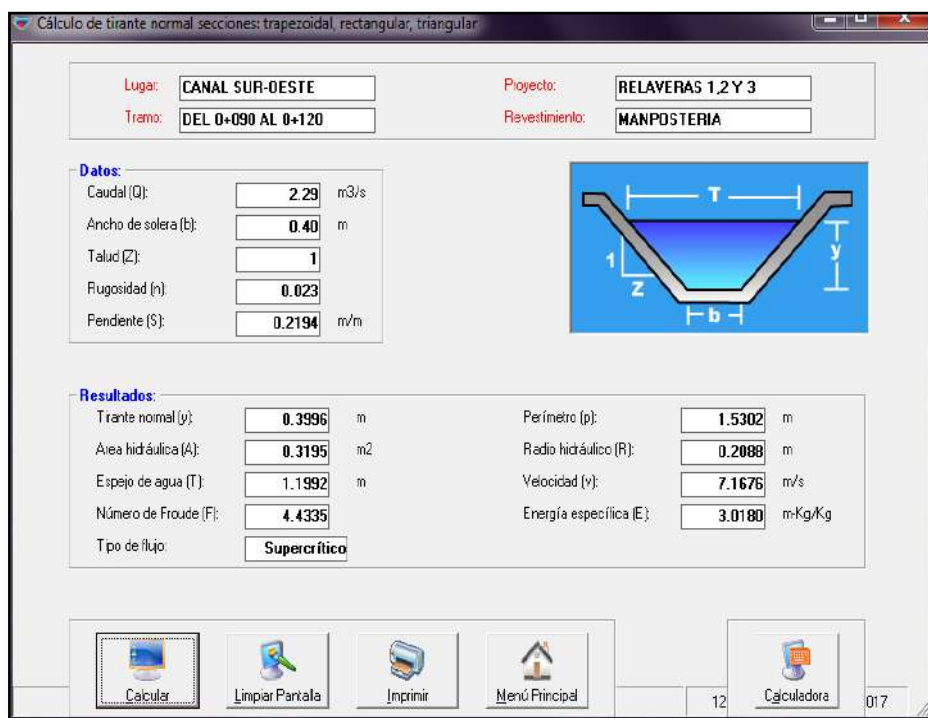
Fuente: Elaboración propia en base al software Hcanales, 2018.

Imagen 20 Cálculo del Tirante Normal – Canal SO Tramo 1 de 0+000 a 0+090



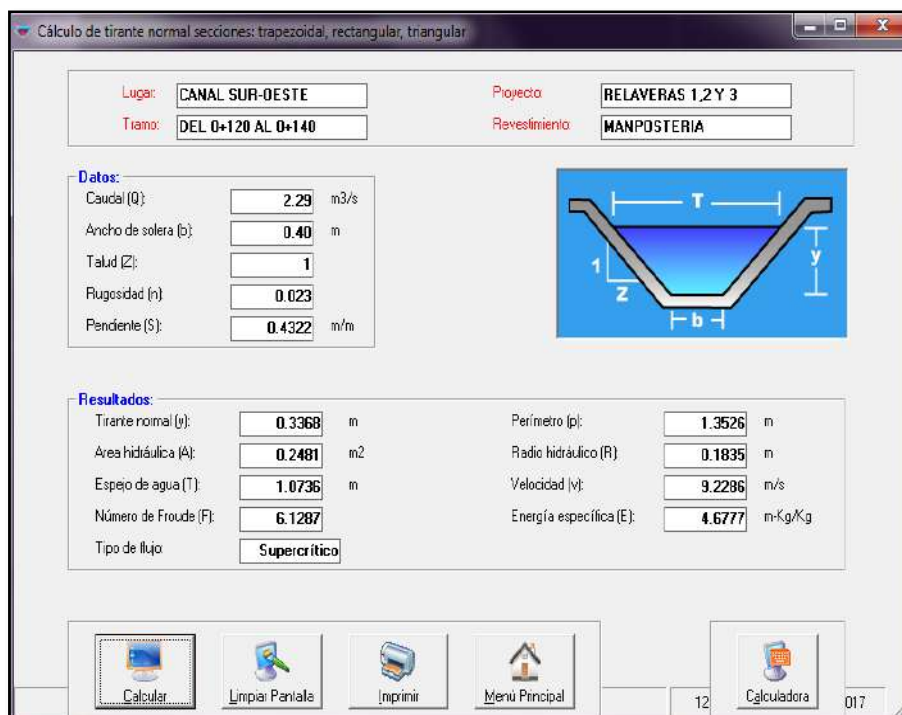
Fuente: Elaboración propia en base al software Hcanales, 2018.

Imagen 21 Cálculo del Tirante Normal – Canal SO Tramo 2 de 0+090 a 0+120



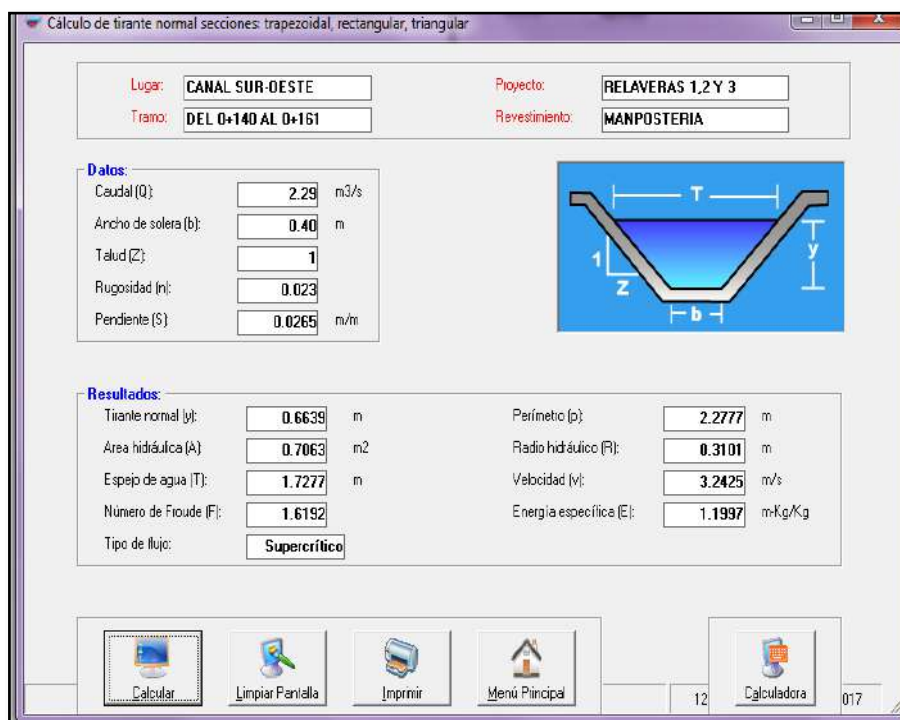
Fuente: Elaboración propia en base al software Hcanales, 2018.

Imagen 22 Cálculo del Tirante Normal – Canal SO Tramo 3 de 0+120 a 0+140



Fuente: Elaboración propia en base al software Hcanales, 2018.

Imagen 23 Cálculo del Tirante Normal – Canal SO Tramo 4 de 0+140 a 0+161



Fuente: Elaboración propia en base al software Hcanales, 2018.

Cuadro 57 Dimensionamiento del Canal NE

De	A	Sección	Tipo ⁽¹⁾	Base B (m)	Taludes izq. y der. (h:v)	Altura H (m)	Revestimiento
0+000	0+070	Trapezoidal	I	0.25	1	0.40	Mampostería
0+070	0+125	Trapezoidal	I	0.25	1	0.25	Mampostería
0+125	0+145	Trapezoidal	I	0.25	1	0.15	Mampostería

Nota: (1) Tipo I para canales con H<0.5; Tipo II para canales con H>0.5 m; y Tipo III para canales con H>1.0 m

Fuente: Elaboración propia en base a los datos presentados

Cuadro 58 Dimensionamiento del Canal SO

De	A	Sección	Tipo	Base B (m)	Taludes izq. y der. (h:v)	Altura H (m)	Revestimiento
0+000	0+090	Trapezoidal	II	0.4	1	0.75	Mampostería
0+090	0+120	Trapezoidal	I	0.4	1	0.40	Mampostería
0+120	0+140	Trapezoidal	II	0.4	1	0.65	Mampostería
0+140	0+161	Trapezoidal	III	0.4	1	1.10	Mampostería

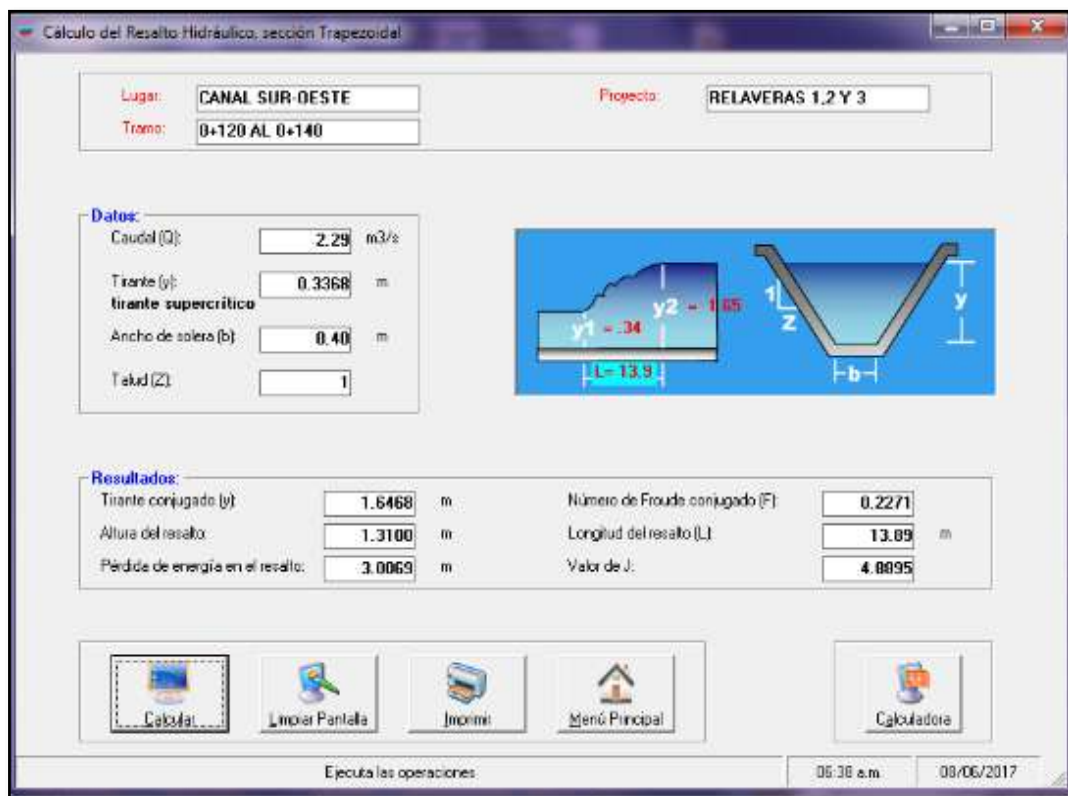
Nota: (1) Tipo I para canales con H<0.5; Tipo II para canales con H>0.5 m; y Tipo III para canales con H>1.0 m

Fuente: Elaboración propia en base a los datos presentados

En los cálculos hidráulicos detallados se puede verificar que las velocidades no superan los 7.5 m/s, lo que indica que no existe la posibilidad de erosión en los canales. Por otro

lado, se tiene números de Froude mayor a 6 en el canal SO tramo 3 de la progresiva 0+120 a la 0+140 se tiene un tirante conjugado de 1.6468 m y una longitud de 13.9 m; se proyecta un tramo final de 14 m con una altura de 1.85 m y empatara con el tramo que inicia en la progresiva 0+140, el cuál es justificado con un resalto hidráulico, con la finalidad de compensarlo con un tirante conjugado al final del tramo (Ver Imagen 24).

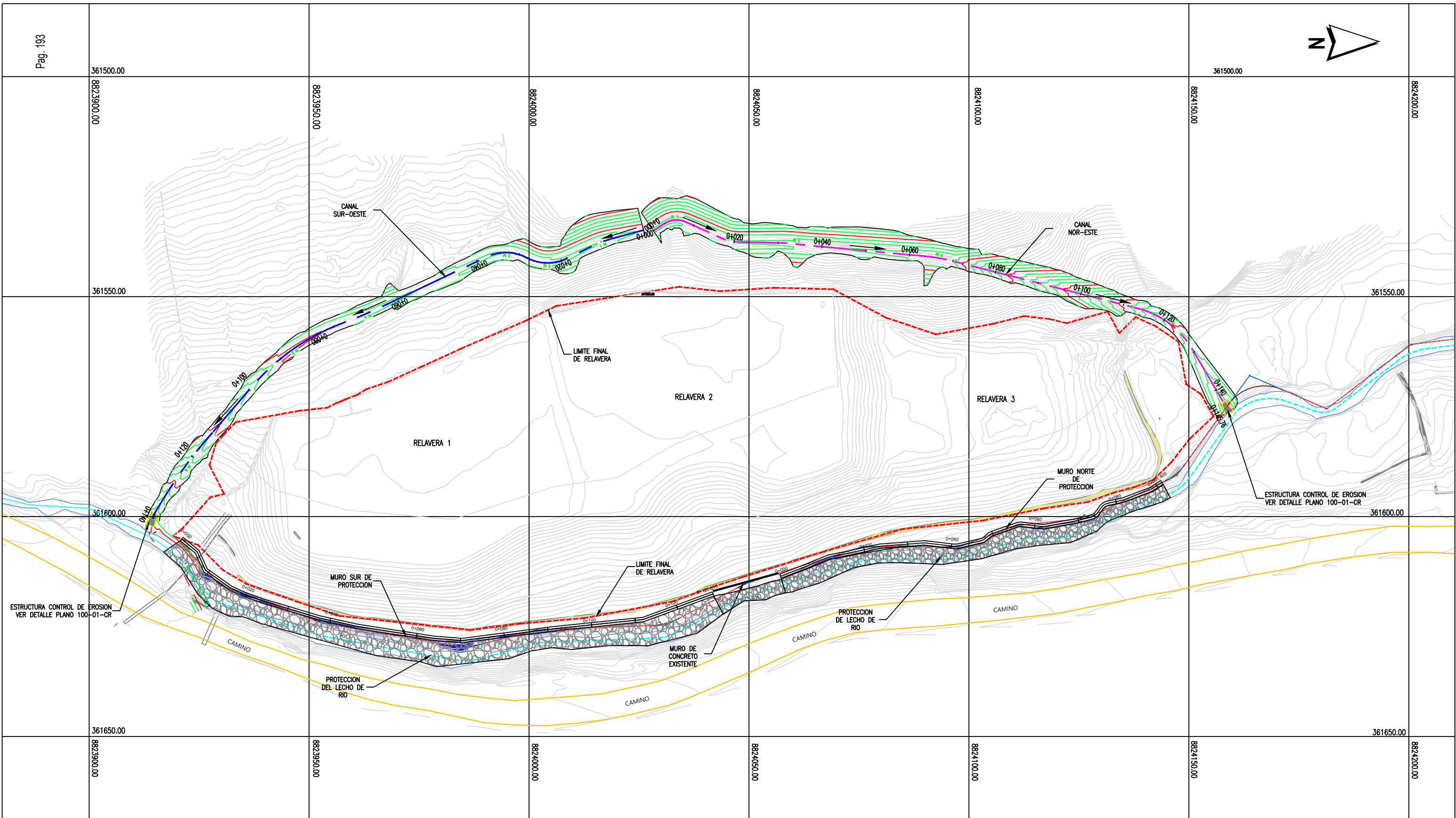
Imagen 24 Cálculo de resalto hidráulico para un canal de sección trapezoidal



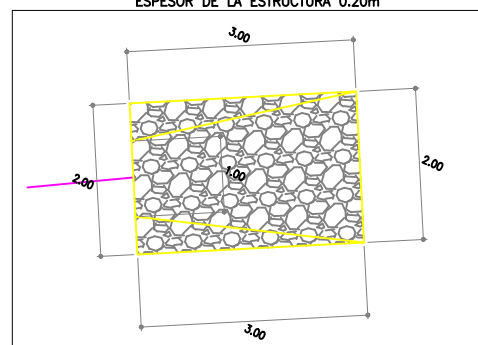
Fuente: Elaboración propia en base al software Hcanales, 2018.

Al final de los tramos NE y SO se considera en el proyecto una estructura de control de la erosión, con la finalidad de evitar la socavación del terreno cercano a la entrega de los canales, evitando así la inestabilidad de las estructuras proyectadas en la zona.

El material de la estructura de control de erosión es de mampostería y tiene un largo de 3m y un ancho de 2m, con taludes de 2V:1H, iniciándose con una sección en la zona de entrega o empate con el canal de 1m de ancho y 0.5m de altura, ampliándose hasta los 2m de ancho en la zona de salida terminado en forma horizontal sin talud y con un espesor de 0.20m, apoyado sobre terreno competente (Ver desde Plano 2 hasta Plano 4).



DETALLE DE ESTRUCTURA PARA CONTROL DE EROSION DE MANPOSTERIA
ESPESOR DE LA ESTRUCTURA 0.20m



ESCALA 1:100

LEYENDA

- CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE
- CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE CANAL
- EJE DE RIO
- CAMINO EXISTENTE
- LIMITE FINAL DE RELAVAS 1, 2 Y 3
- EJE CANAL PERIMETRAL NOR-ESTE
- EJE CANAL PERIMETRAL SUR-OESTE
- EJE DE MURO DE PROTECCION SENTIDO DEL FLUJO

PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
ARREGLO GENERAL DRENAJE SUPERFICIAL

PREPARADO POR:	CODIGO:	ESCALA:	1:480	PLANO:
	DISEÑO POR:	JB	APROBADO POR:	SV
	SIG:	JB	VERSION:	V1
	REVISADO POR:	JB	FECHA:	NOVIEMBRE, 2018

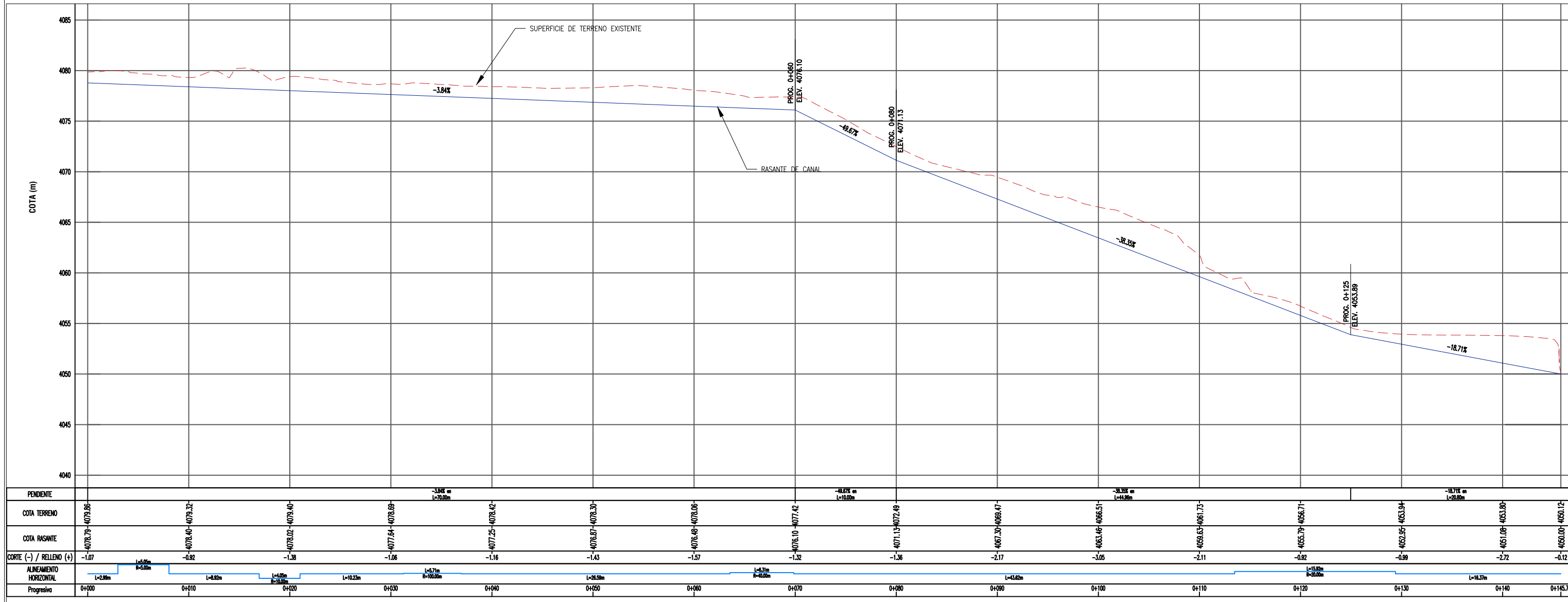
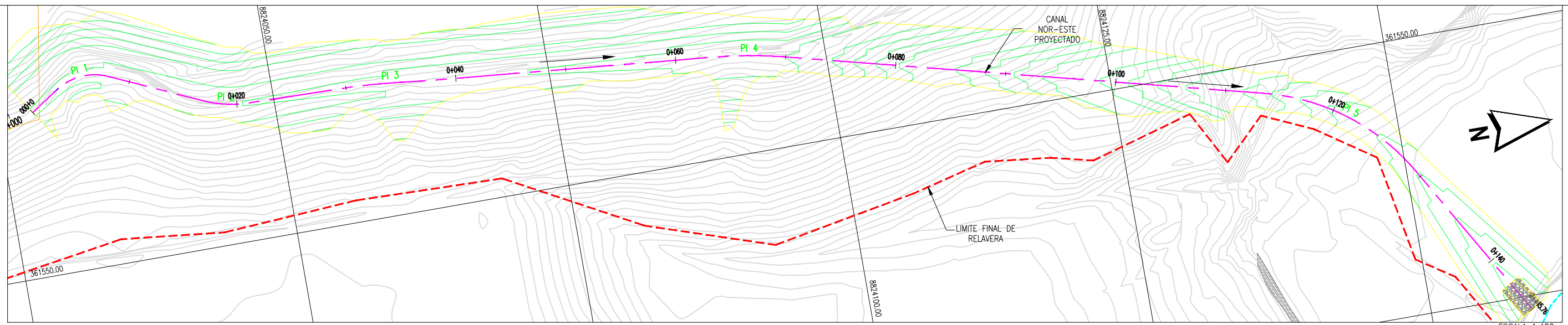
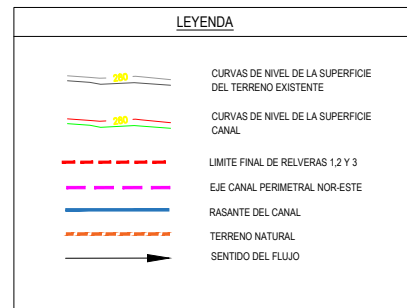
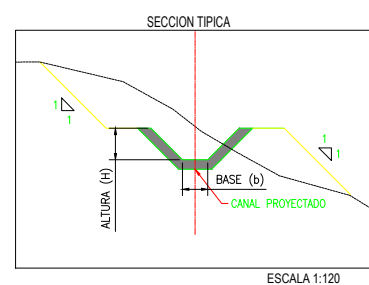


TABLA N°1

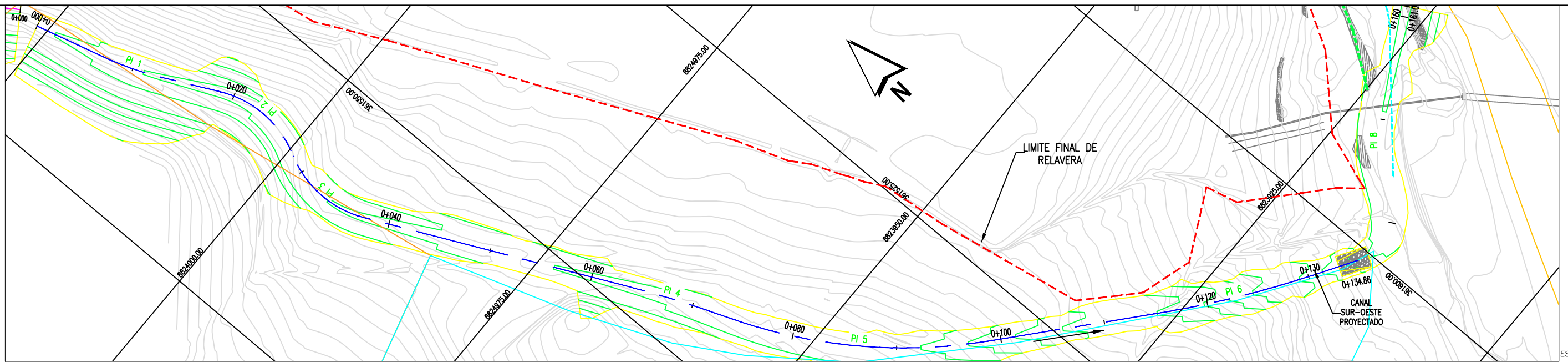
CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA									
NI	RADIO	ANGULO	LONGITUD	TANGENTE	PC	PI	PT	ESTE	NORTE
PI 1	5.00	57°54'58"	5.05	2.77	0+002.99	0+005.76	0+008.04	361531.87	8824033.07
PI 2	10.00	23°11'12"	4.05	2.05	0+016.97	0+019.02	0+021.01	361537.54	8824045.59
PI 3	100.00	3°16'28"	5.71	2.86	0+031.24	0+034.10	0+036.95	361538.00	8824060.71
PI 4	40.00	9°02'41"	6.31	3.16	0+063.55	0+066.71	0+069.86	361541.12	8824093.18
PI 5	20.00	45°35'43"	15.92	8.41	0+113.48	0+121.88	0+129.39	361554.79	8824146.64



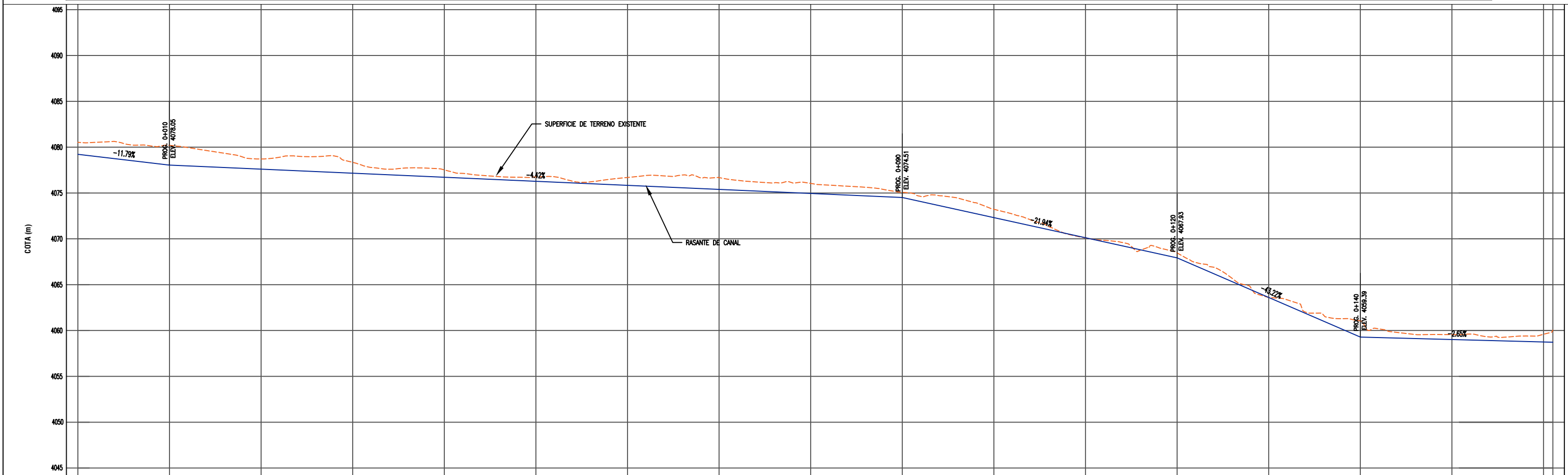
PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
PLANTA Y PERFIL DEL CANAL NOR-ESTE

PREPARADO POR:	CODIGO:	ESCALA:	1:480	PLANO:
	DISEÑO POR:	JB	APROBADO POR:	SV
	SIG:	JB	VERSION:	V1
	REVISADO POR:	JB	FECHA:	NOVIEMBRE, 2018



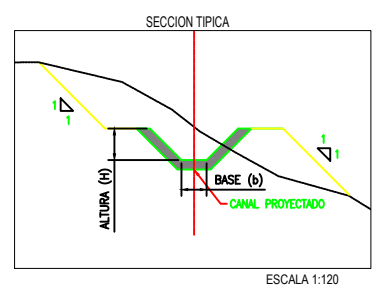
ESCALA 1:420



PENDIENTE	-11.79% L=49.7m	-4.42% L=49.7m	-21.94% L=30.0m	-13.27% L=30.0m	-2.65% L=11.1m															
COTA TERRENO	4080.53	4080.19	4078.71	4078.35	4077.52	4076.72	4076.52	4076.28	4076.70	4076.86	4076.05	4075.00	4073.22	4070.12	4068.46	4065.81	4065.81	4065.73	4065.73	
COTA RASANTE	4079.22	4079.05	4078.71	4078.16	4077.52	4076.28	4076.52	4076.28	4076.70	4076.86	4076.05	4075.00	4073.22	4070.12	4068.46	4065.81	4065.81	4065.73	4065.73	4065.73
CORTE (-) / RELLENO (+)	-1.31	-2.15	-1.11	-0.19	-0.80	-0.48	0.24	0.24	0.16	0.16	-0.75	-1.00	-1.91	-0.91	-0.53	-0.01	-0.01	-0.54	-0.54	-0.54
ALINEAMIENTO HORIZONTAL	L=4.9m	L=4.9m	L=4.9m	L=4.3m	L=4.3m	L=26.3m	L=26.3m	L=26.3m	L=26.3m	L=26.3m	L=26.3m	L=26.3m	L=26.3m	L=16.14m	L=16.14m	L=16.14m	L=16.14m	L=16.14m	L=16.14m	L=16.14m
Progresiva	0+000	0+010	0+020	0+030	0+040	0+050	0+060	0+070	0+080	0+090	0+100	0+110	0+120	0+130	0+140	0+150	0+160	0+160	0+160	0+160

TABLA N°1

CUADRO DE ELEMENTOS DE CURVA									
N	RADIO	ANGULO	LONGITUD	TANGENTE	PC	PI	PT	ESTE	NORTE
PI1	30.00	11°07'57"	5.83	2.92	0+006.91	0+009.84	0+012.74	361537.44	8824016.54
PI2	10.00	53°28'37"	9.33	5.04	0+018.66	0+023.70	0+028.00	361543.55	8824004.08
PI3	10.00	52°43'30"	9.20	4.96	0+028.31	0+033.27	0+037.51	361538.82	8823994.92
PI4	100.00	4°29'13"	7.83	3.92	0+063.87	0+067.79	0+071.70	361553.93	8823963.09
PI5	50.00	28°21'27"	24.75	12.63	0+074.01	0+086.65	0+098.76	361560.65	8823945.47
PI6	100.00	8°59'52"	15.70	7.87	0+114.90	0+122.77	0+130.61	361588.42	8823921.56
PI7	5.00	85°11'42"	7.43	4.60	0+134.92	0+139.51	0+142.35	361602.68	8823912.73
PI8	10.00	25°24'34"	4.43	2.25	0+145.78	0+148.04	0+150.22	361608.81	8823920.99



ESCALA 1:120

LEYENDA	
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO EXISTENTE
	CURVAS DE NIVEL DE LA SUPERFICIE CANAL
	LIMITE FINAL DE RELIEVERAS 1, 2 Y 3
	EJE CANAL PERIMETRAL NOR-OESTE
	RASANTE DEL CANAL
	TERRENO NATURAL
	SENTIDO DEL FLUJO

PROYECTO:
EVALUACIÓN, CÁLCULO Y DISEÑO DE OBRAS HIDRÁULICAS Y SU INFLUENCIA EN LA ESTABILIDAD HIDROLÓGICA DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES 1, 2 Y 3 DE UNIDAD MINERA EL PILAR EN EL DISTRITO DE YANACANCHA - CERRO DE PASCO EN EL AÑO 2018

TÍTULO:
PLANTA Y PERFIL DEL CANAL SUR-ESTE

PREPARADO POR:	CODIGO:	ESCALA:	1:480	PLANO:
	DISEÑO POR:	APROBADO POR:	SV	4
	SIG:	VERSION:	V1	
	REVISADO POR:	FECHA:	NOVIEMBRE, 2018	
FUENTE:				

4.2.5.2 Parámetros de diseño de la base del Río Rumiallana

El diseño del muro de mampostería con mortero, considera la configuración final del Depósito de Relaves No 1, 2 y 3, y el tirante del río para un TR de 1 000 años. La estabilidad local y global de este muro, aplica a los escenarios más críticos, para recepción de carga en forma parcial y local, sin aportes de carga sobre las relaveras. La ubicación de estos muros se apoyará sobre el terreno donde actualmente se posicionan los sacos de arena, donde el tipo de terreno será SM o GC presente a lo largo de los muros norte y sur definidos.

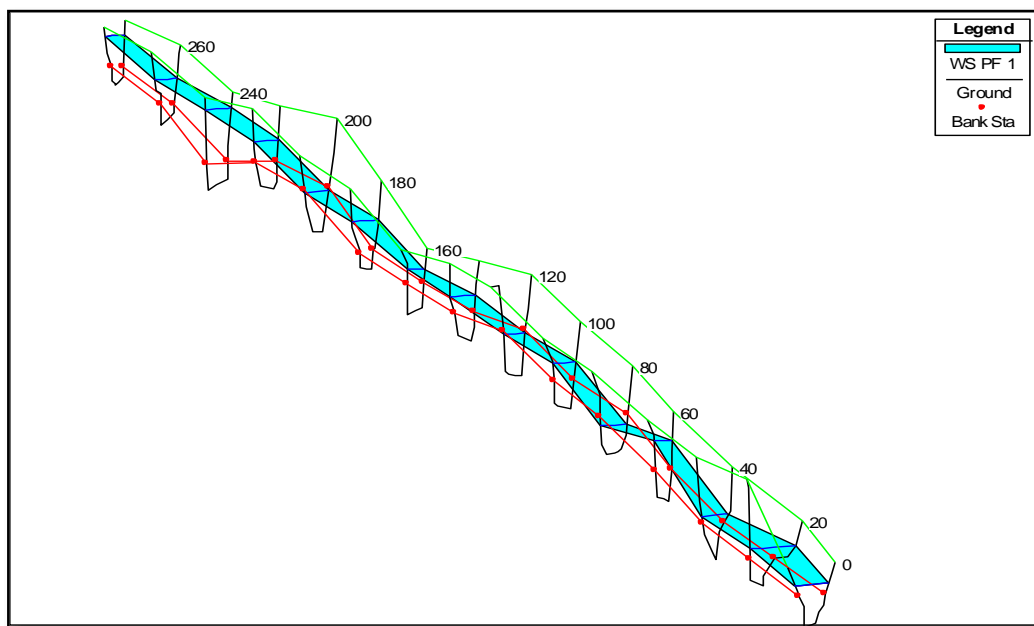
Para efectos del cálculo se considera el suelo más conservador, siendo éste el SM, con propiedades geotécnicas medias.

4.2.5.2.1 Cálculo del tirante del río para T_r de 1 000 años

Para estimar los tirantes del río para un TR=1 000 años, para efectos de modelar el río, se ha utilizado el programa, HEC-RAS que es una herramienta que ha venido evolucionando, y que a la fecha, en su versión 5.0 (versión beta) cuenta con una extensión que permite simular el flujo de agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente 2D; basa su aplicación en las ecuaciones de Onda Difusiva y Sant Venant las cuales resuelve mediante el algoritmo de Volúmenes Finitos Implícitos. Esta nueva versión, incorpora la ventana de interface RAS Mapper en la cual el usuario integra el modelo digital del terreno, como paso inicial para la modelización del flujo.

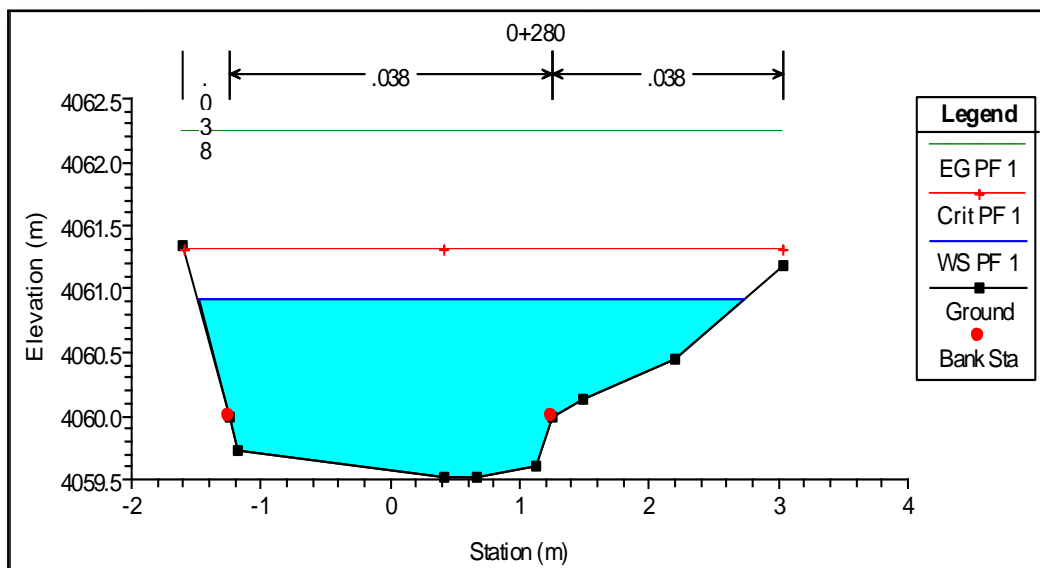
Para fines del cálculo, se ha dividido el río en secciones que van desde la progresiva 0+000 hasta la 0+280, donde la inicial está en la zona baja y la final en la zona alta del río. Para el valor de n de Manning se considera 0.038 como valor promedio y el caudal para un TR=1,000 años es de 19.8 m³/s y con una pendiente de 3.87% promedio a lo largo del río. Los resultados obtenidos se presentan de la Imagen 25 hasta Imagen 29 y en el Cuadro 59.

Imagen 25 Modelamiento desde la Progresiva 0+000 hasta la 0+280 – TR= 1000 años.



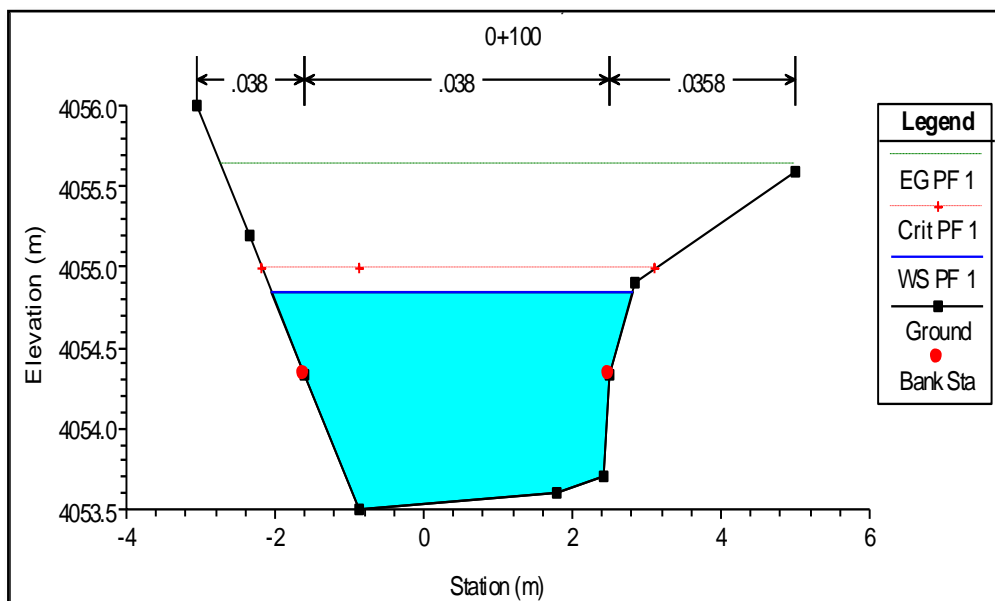
Fuente: Elaboración propia en base al software HEC-RAS, 2018.

Imagen 26 Modelamiento desde la Progresiva 0+280 – TR= 1000 años.



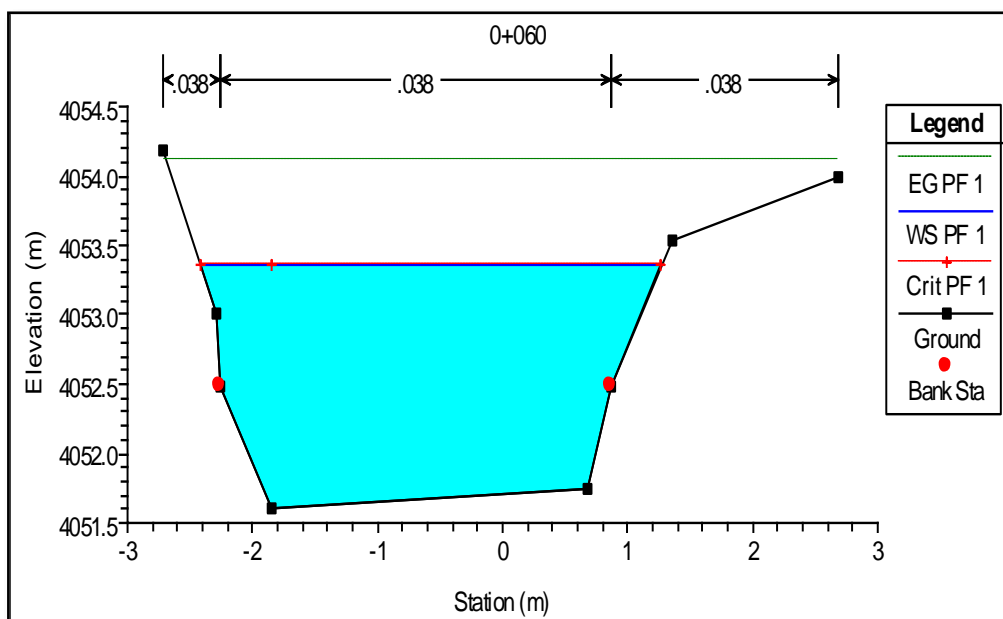
Fuente: Elaboración propia en base al software HEC-RAS, 2018.

Imagen 27 Modelamiento desde la Progresiva 0+100 – TR= 1000 años.



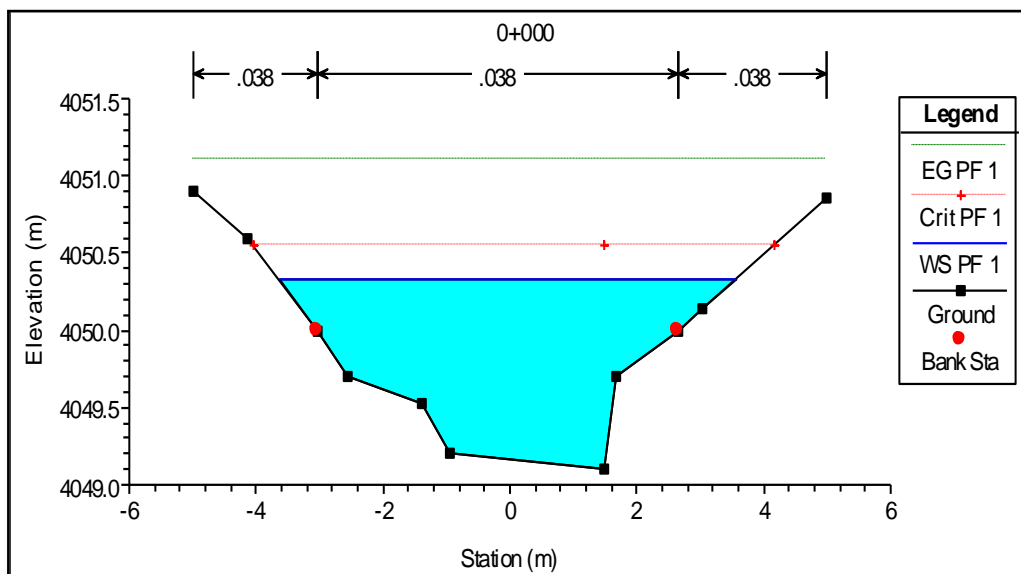
Fuente: Elaboración propia en base al software HEC-RAS, 2018.

Imagen 28 Modelamiento desde la Progresiva 0+060 – TR= 1000 años.



Fuente: Elaboración propia en base al software HEC-RAS, 2018.

Imagen 29 Modelamiento desde la Progresiva 0+000 – TR= 1000 años.



Fuente: Elaboración propia en base al software HEC-RAS, 2018.

Cuadro 59 Resultados de los Cálculos en HEC – RAS

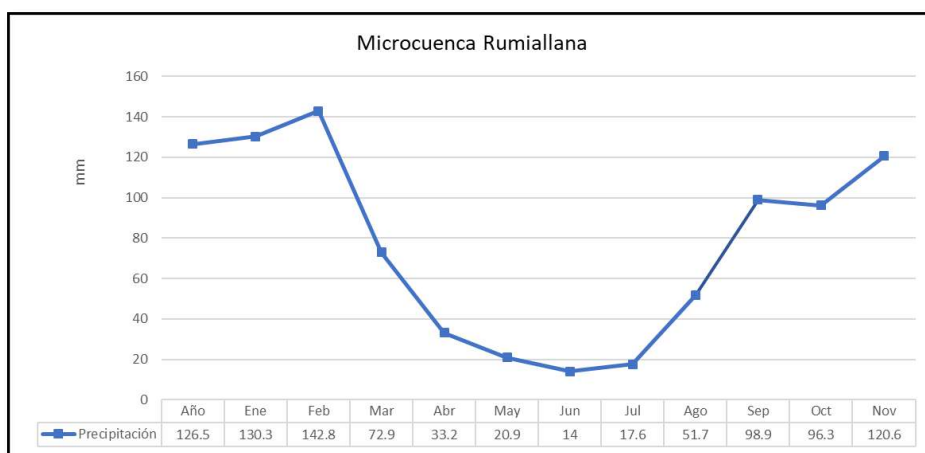
N°	Progresiva	Tirante Y (m)	Progresiva	Tirante Y (m)
01	0+000	1.22	0+160	1.29
02	0+020	1.09	0+180	1.41
03	0+040	1.27	0+200	1.16
04	0+060	1.75	0+220	1.41
05	0+080	0.83	0+240	2.34
06	0+100	1.34	0+260	1.34
07	0+120	1.22	0+280	1.41
08	0+140	1.33	--	--

Fuente: Elaboración propia en base al software HEC-RAS, 2018.

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las características pluviométricas calculadas para el área de estudio en base a la regionalización de las tres (03) estaciones Cerro de Pasco, Yanahuanca y San Rafael; muestran una gran precisión al integrar valores con pruebas de bondad y consistencia, cuyos resultados guardan relación a la variación estacional anual (Época de sequía y época de avenida) característica de la zona de vida predominando en dicha área.

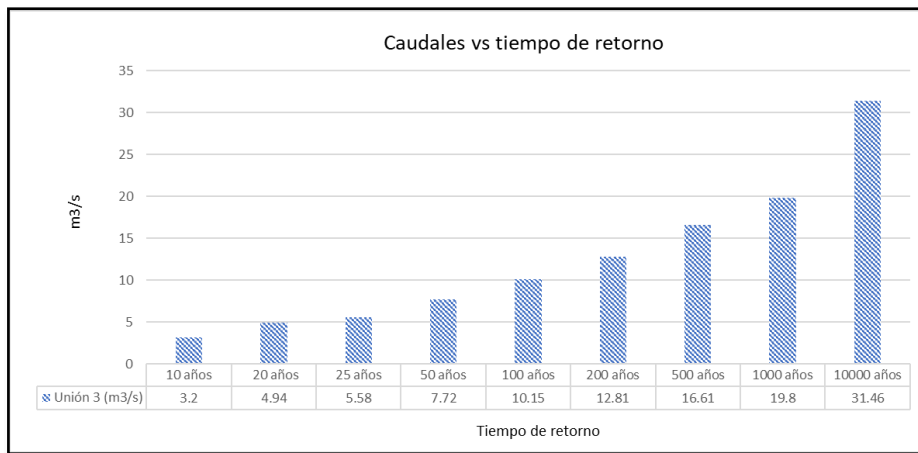
Gráfico 30 *Resultados de precipitación Microcuenca Rumiallana*



Fuente: Elaboración propia en base a los cálculos estadísticos, 2018.

Los caudales generados por la relación precipitación – escorrentía demuestran que, a mayor tiempo de retorno, mayor incremento en el caudal generado, por ello para ejecutar un adecuado diseño de cierre es preferible considerar los valores con mayor periodo de retorno.

Gráfico 31 *Caudales vs Tiempo de retorno*



Fuente: Elaboración propia en base a los análisis realizados, 2018.

Las obras hidráulicas se diseñaron con información generada de la máxima intensidad de lluvia y de la escorrentía local generada por las quebradas sobre las que se encuentran dichos componentes donde se puede observar que el área favorece el diseño de obras que capten en su totalidad el volumen generado por la máxima precipitación. Asimismo, el cálculo del tirante del Rio Rumiallana para una máxima avenida de 1000 años contribuye al diseño y dimensionamiento de un muro de protección que cumpla funciones de estabilidad física e hidrológica de erosión.

La contribución de los softwares como ArcGIS, Hydraccess, Hcanales, HEC-HMS, HEC-RAS, entre otros, facilita la operabilidad de las variables reduciendo el tiempo y el porcentaje de error en los cálculos definitivos, además más de permitir una simulación de los resultados para la toma de decisiones.

Finalmente, estos resultados contribuyen al posible desarrollo integral de dicha cuenca, al conocer los escenarios pluviométricos, así como de las características físicas de cobertura vegetal y zona de vida; que permiten determinar la disponibilidad de agua a futuro como parte de la gestión integral de recursos hídricos para el desarrollo de actividades como agricultura, ganadería, entre otros.

4.4 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Las condiciones actuales evaluadas en el ítem 4.1.1 describen una base del dique con protección de erosión hídrica generada por el cauce del Rio Rumiallana conformada por sacos de material desconocido (probablemente de material de relave) totalmente deteriorada y cumpliendo muy levemente sus funciones, anudado a ello cuentan con canales de derivación en la parte superior sin revestimiento y parcialmente cubierto por sedimentos por la falta de mantenimiento, todas estas características contribuirían a que en caso de un evento pluviométrico alto, estas medidas no cumplirían sus funciones generando riesgos como el posible deslizamiento de relave y derrumbe sobre el cauce principal, por ello se considera que las condiciones actuales no serían las aptas para una adecuada estabilidad hidrológica.

La identificación y evaluación de los factores hidrológicos que afecten a la estabilidad de los depósitos de relaves 1,2 y 3 especialmente la precipitación y caudales máximos a diferentes periodos de retorno, si generarían efectos significativos, debido a que las obras hidráulicas de plantean en base a los valores máximos de eventos hidrometeorológicos ajenos a los registros históricos.

El rediseño en base los nuevos cálculos de los factores de diseño de las obras hidráulicas si generarían efectos positivos debido a que incorporan nuevos criterios ante una variación climática que altera las condiciones pluviométricas generando saltos hidrológicos, y reduciendo la efectividad de las medidas de manejo que se diseñaron anteriormente para estos componentes.

Finalmente, la evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas si favorecerían significativamente sobre la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 pues estos consideran eventos hidrometeorológicos con altos periodos de retornos, cuya finalidad es la de no alterar la integridad y no generar posibles impactos ambientales que podrían alterar la calidad del agua y su aprovechamiento.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación se concluye lo siguiente:

- Según como se planteó, y como parte de la contrastación de la hipótesis se determinó que la efectividad de las medidas de manejo que presentan estos componentes es muy baja; pues en el caso de la defensa ribereña, los sacos de protección están muy desgastados, tendiendo a ceder en caso de un evento máximo; asimismo, el volumen de captación diseñado en sus canales de coronación derivarían solo el 60% del total escurrido pues la diferencia se encuentra cubierto por material sedimentado en la mayoría de los tramos.
- Tal como se presentó en el desarrollo del trabajo, la precipitación total anual de la microcuenca Rumiallana es de 925.8 mm; la precipitación máxima probable para la estación Cerro de Pasco es de 187.3 mm; y el caudal máximo para un periodo de retorno de 500, 1 000 y 10 000 años es del orden de 16.61 m³/s, 19.8 m³/s y 31.46 m³/s, respectivamente.
- El diseño de las obras hidráulicas consideró tanto el drenaje superficial como la protección en la base del dique; obteniendo una caudal de diseño máximo de 2.29 m³/s en el canal sur y un tirante máximo de 2.34 m, respectivamente.
- La evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas determinó que el sistema de drenaje superficial realizaría la captación en su totalidad del volumen generado por las quebradas de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 eliminado este factor como parte del desgaste superficial; asimismo los tirantes calculados facilitarían el diseño de la altura de la defensa ribereña permitiendo contener todo el caudal máximo generado por un evento pluviométrico elevado.

RECOMENDACIONES

Se identificaron elementos relacionados al tema sobre el que desarrolla el proyecto de investigación, sin embargo, no se encuentran dentro del alcance del mismo, por ello se presentan como recomendaciones adicionales a casos similares sobre cierre de pasivos, los cuales se presentan a continuación:

- Realizar el diseño de una cobertura tipo cierre final que no permita la infiltración del agua de precipitación hacia la base del dique; conteniendo material impermeable tal como geomembrana o un grueso de arcilla; así como de una cobertura vegetal que incremente su efectividad de captación de agua de precipitación.
- Realizar el diseño de un programa de monitoreo de la calidad del agua del sistema de drenaje superficial a fin de evaluar si estos necesitan de algún tipo de tratamiento o pueden ser descargados al cauce principal del río Rumiallana.

BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio Mijares Francisco Javier “Fundamentos de Hidrología de Superficie”. Editorial Limusa México 1987.
- Aliaga Araujo, S “Hidrología Estadística” U.N.M.S.M. Lima- 1985, 320 págs.
- Hidráulica de canales Abiertos de Máximo Villon Bejar, Lima Perú 2007.
- Hidráulica de Canales Abiertos de Ven te Chow, PhD, Edición Mac Graw Hill, Colombia-2004.
- Manual de Criterios De Diseños De Obras Hidráulicas Para La Formulación De Proyectos Hidráulicos Multisectoriales y De Afianzamiento Hídrico, Autoridad Nacional del Agua, Lima Perú, diciembre del 2010.
- Manual del software hidrológico, HEC HMS 4.2, agosto 2016, <http://www.hec.usace.army.mil>.
- Monsalve Sáenz Germán “Hidrología en la Ingeniería”. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería Bogotá 1999.
- Spencer E., 1967. “A Method of Analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces”. Geotechnique, 17: 11-26.
- Mapa nacional de cobertura vegetal, memoria descriptiva, Ministerio del Ambiente, 2015.
- Hidrología aplicada, Ven Te Chow, McGraw-Hill Interamericana, 1994.
- Principles of Geographical Information Systems for Land resources assessment, Burrough P., Oxford, 1998.
- Computer-assisted geographical 3D image techniques en J Raper, Three dimensional applications in Geographic Information Systems; Krak M.J., 1989.

ANEXOS

Anexo 1

Aprobación de Plan de Tesis

INFORME DE ASESOR

TESIS TRABAJO SUFICIENCIA PROFESIONAL PLAN X

OBSERVACIONES RECOMENDACIONES CONFORMIDAD

AL : Ing. José Luis Masías Vidal
Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental-UAP

DEL : Ing Saul Leyva Chinchay

ASUNTO : Informe de plan de tesis

FECHA : 21 de octubre

Es grato dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y a la vez referirme sobre el asesoramiento y la revisión de la Tesis, asignado al suscrito:

Bachiller: Bao Lipa Jasmani Hassan Rajoo

Intitulado: “Evaluación y diseño de obras hidráulicas y su influencia en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relave 1, 2 y 3 de la unidad minera en el distrito de Yanacocha-Cerro de Pasco 2018”

El bachiller no tiene observaciones que subsanar; por lo que se da la Conformidad de la Elaboración de la Tesis.

Atentamente,

Ing Lucas Saul Leyva Chinchay
Docente TP

Anexo 2


Matriz de Consistencia


Anexo 2 - Matriz de Consistencia


Nº	PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLE	DEFINICIONES	METODOLOGÍA
	<u>Problema Principal:</u>	<u>Objetivo General:</u>	<u>A nivel internacional:</u>	<u>Hipótesis General:</u>	<u>Variable Independiente:</u>	<u>Definición Conceptual:</u>	
01	¿De qué manera la evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas influye sobre la estabilidad hidrológica de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera el Pilar en el distrito de Yanacancha – Cerro de Pasco en el año 2018?	Determinar la influencia de la evaluación, cálculo, y diseño de obras hidráulicas en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar en el distrito de Yanacancha – Cerro de Pasco en el año 2018.	Cesar Adolfo Alvarado Ancieta, Revista Ingeniería hidráulica en México, México, 2018. AGRADACIÓN Y DEGRADACIÓN DEL RIO PIURA – REALINEAMIENTO DEL CAUCE PRINCIPAL INFERIOR, FENÓMENO EL NIÑO	La evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas favorecería significativamente en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar en el distrito de Yanacancha – Cerro de Pasco en el año 2018	<p>Evaluación, cálculo y diseño de obras hidráulicas</p> <p><u>Indicadores:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Precipitación (mm) - Caudales de escorrentía - Pendiente del terreno - Tirantes de canal <p><u>Dimensiones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Factores Hidrológicos - Factores de Diseño 	<p><u>Variable Independiente:</u> Medición de los parámetros hidrometeorológicos, tales como, temperatura, precipitación, humedad, velocidad – dirección de viento y evapotranspiración, mediante la aplicación de procesos estadísticos, cuyos resultados permiten conocer las características de la unidad hidrográfica sobre la que se ubica el proyecto y establecer medidas de manejo adecuadas</p> <p><u>Variable Dependiente:</u> Se refiere al control de escurrimientos de aguas superficiales, para controlar riesgos de erosión, mediante el diseño de canales de coronación para el manejo de agua, así como la limpieza y mantenimiento de éstos. Con la finalidad de interceptar los escurrimientos superficiales y derivarlos a cauces naturales, antes de que estos pasen a través de las estructuras realizadas por la unidad minera pudiéndose generar drenajes ácidos y con estos arrastrar metales presentes en la mineralogía de la zona, contaminando aguas abajo.</p>	<p>Tipo: Tipo Aplicada</p> <p>Nivel: Nivel Descriptivo</p> <p>Diseño: Descriptivo correlacional simple</p> <p>Población y Muestra:</p> <p><u>Población:</u> Cierre de pasivos ambientales mineros</p> <p><u>Muestra:</u> Estabilidad Hidrológica</p>
	<u>Problemas Específicos:</u>	<u>Objetivos Específicos:</u>	<u>A nivel nacional:</u>	<u>Hipótesis Específicas:</u>	<u>Variable Independiente:</u>	<u>Definición Operacional:</u>	
02	<p>- ¿Cuáles son las condiciones actuales de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera el Pilar?</p> <p>- ¿Cuáles serían los factores de diseño de las obras hidráulicas de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar?</p> <p>- ¿Cuáles son los factores hidrológicos de la unidad hidrográfica sobre la que se ubican los Depósito de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar?</p>	<p>- Examinar las condiciones actuales de los Depósito de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.</p> <p>- Calcular los factores de diseño de las obras hidráulicas de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.</p> <p>- Determinar los factores hidrológicos de la unidad hidrográfica sobre la que se ubican los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.</p>	<p>Ernesto Adolfo Valladares Martel, Tesis para optar el grado de título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, 2017. RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO SANTA EN CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO</p> <p>Erick Vladimir Lobo Reyes, Tesis para optar el grado de título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, 2017. ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD A EII DESBORDES DE LA CUENCA BAJA DEL RIO COATA - PUNO</p>	<p>- Examinar las condiciones actuales de los Depósito de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.</p> <p>- Determinar los factores hidrológicos de la unidad hidrográfica sobre la que se ubican los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.</p> <p>- Calcular los factores de diseño de las obras hidráulicas de los Depósitos de Relaves 1, 2 y 3 de la Unidad Minera El Pilar.</p>	<p>Estabilidad Hidrológica</p> <p><u>Indicadores:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura de cierre (mm) - Volumen de aguas derivadas (m3) <p><u>Dimensiones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Medidas de manejo de erosión - Medidas de manejo de escurrimiento 	<p><u>Variable Independiente:</u> • Se obtendrán resultados hidrometeorológicos del SENAMHI de 03 (tres) estaciones adyacentes al proyecto, que permitirán una extrapolación de valores para la unidad hidrográfica sobre la que se encuentra el mismo, posteriormente dichos valores serán ingresados a softwares especializados con la finalidad de obtener la precipitación media de la cuenca y de esta manera calcular los factores de diseño para las obras hidráulicas que mejor se adapten al proyecto tal como se mencionó en el ítem 2.3.1</p> <p><u>Variable Dependiente:</u> • A partir del procesamiento y de los resultados obtenidos como parte de la ejecución de los procedimientos de la definición conceptual de la variable independiente, se realizará la evaluación y selección del método que mejor se adaptó a los depósitos de relaves 1, 2 y 3, estos son influenciados directamente en base al volumen de derivación de las aguas de no contacto.</p>	<p>Técnicas e instrumentos:</p> <p><u>Técnica:</u> Análisis de contenido</p> <p><u>Instrumento:</u> Ficha de registro de datos</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Codificación - Almacenamiento de datos


Anexo 3


Ficha de Registro de Datos

	FICHA DE REGISTRO DE DATOS		Código:	A02-FCH-01
			Versión:	V01
			Fecha:	20/11/2018
<p>En la presente ficha de registro de datos se detallará la institución y la información requerida para el desarrollo del proyecto de investigación, completando los ítem requeridos.</p>				
I) DATOS DEL PROYECTO				
1.1.) Nombre del proyecto:	Evaluación, calculo y diseño de obras hidraulicas y su influencia en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera el Pilar en el distrito de Yanacancha - Cerro de Pasco en el año 2018			
1.2.) Código del proyecto:	T-VF-JB-001			
1.3.) Fecha de registro:	20/11/2018			
II) DATOS DEL INSTITUTO				
2.1.) Nombre:	RHIND GROUP S.A.C.			
2.2.) Área:	Consultoria Ambiental - Registro			
2.3.) Correo referencial:	informe@rhind.pe	2.4.) Tipo de Fuente*:	P	
*Nota: P= información primaria, S= información secundaria, y T= información terciaria				
2.4.) Requerimiento	Información sobre Unidad Minera el Pilar, estudios previos, reportes de campo y registro fotográfico			
III) DATOS DE LA INFORMACIÓN				
3.1.) Datos Obtenidos:	Documentos de informes topográficos y registro fotográfico			
3.2.) Listado de Documentos obtenidos:				
N°	Tipo de documento	Formato de entrega	Cantidad	
01	Estudio Topográfico	Digital	01 (un) DVD	
02	Curvas de nivel a detalle	Digital	01 (un) DVD	
03	Memo Técnico de campo	Digital	01 (un) DVD	
04	Registro Fotográfico	Digital	01 (un) DVD	
05	-	-	-	
06	-	-	-	
----- V°B° Elaboración		----- V°B° Recepción		

	FICHA DE REGISTRO DE DATOS	Código:	A02-FCH-02
		Versión:	V01
		Fecha:	20/11/2018
<p>En la presente ficha de registro de datos se detallará la institución y la información requerida para el desarrollo del proyecto de investigación, completando los ítem requeridos.</p>			
I) DATOS DEL PROYECTO			
1.1.) Nombre del proyecto:	Evaluación, calculo y diseño de obras hidraulicas y su influencia en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera el Pilar en el distrito de Yanacancha - Cerro de Pasco en el año 2018		
1.2.) Código del proyecto:	T-VF-JB-001		
1.3.) Fecha de registro:	20/11/2018		
II) DATOS DEL INSTITUTO			
2.1.) Nombre:	Compañía Minera Vichaycocha S.A.C.		
2.2.) Área:	Medio Ambiente - Autorizaciones		
2.3.) Correo referencial:	-	2.4.) Tipo de Fuente*:	P
*Nota: P= información primaria, S= información secundaria, y T= información terciaria			
2.4.) Requerimiento	Estudios Ambientales realizados a la unidad minera El Pilar		
III) DATOS DE LA INFORMACIÓN			
3.1.) Datos Obtenidos:	Informe de Plan de Cierre - versión editable		
3.2.) Listado de Documentos obtenidos:			
N°	Tipo de documento	Formato de entrega	Cantidad
01	Plan de Cierre elaborado	Digital	01 (un) DVD
02	Información geográfica	Digital	01 (un) DVD
03	-	-	-
04	-	-	-
05	-	-	-
06	-	-	-
----- V°B° Elaboración		----- V°B° Recepción	

	FICHA DE REGISTRO DE DATOS	Código:	A02-FCH-03
		Versión:	V01
		Fecha:	20/11/2018
<p>En la presente ficha de registro de datos se detallará la institución y la información requerida para el desarrollo del proyecto de investigación, completando los ítem requeridos.</p>			
I) DATOS DEL PROYECTO			
1.1.) Nombre del proyecto:	Evaluación, calculo y diseño de obras hidraulicas y su influencia en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera el Pilar en el distrito de Yanacancha - Cerro de Pasco en el año 2018		
1.2.) Código del proyecto:	T-VF-JB-001		
1.3.) Fecha de registro:	20/11/2018		
II) DATOS DEL INSTITUTO			
2.1.) Nombre:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú		
2.2.) Área:	Atención al Cliente		
2.3.) Correo referencial:	atencionalciudadano@senamhi.gob	2.4.) Tipo de Fuente*:	P
*Nota: P= información primaria, S= información secundaria, y T= información terciaria			
2.4.) Requerimiento	Datos Metereológicos de las estaciones Cerro de Pasco, Yanahuanca y San Rafael		
III) DATOS DE LA INFORMACIÓN			
3.1.) Datos Obtenidos:	Datos de precipitación, humedad, velocidad de viento, dirección de viento y evapotranspiración 1989-2018		
3.2.) Listado de Documentos obtenidos:			
N°	Tipo de documento	Formato de entrega	Cantidad
01	Datos de precipitación	Digital	01 (un) DVD
02	Datos de Velocidad de viento	Digital	01 (un) DVD
03	Datos de Dirección de Viento	Digital	01 (un) DVD
04	Datos de Humedad	Digital	01 (un) DVD
05	Datos de Evapotranspiración	Digital	01 (un) DVD
06	-	-	-
V°B° Elaboración		V°B° Recepción	

	FICHA DE REGISTRO DE DATOS	Código:	A02-FCH-04
		Versión:	V01
		Fecha:	20/11/2018
<p>En la presente ficha de registro de datos se detallará la institución y la información requerida para el desarrollo del proyecto de investigación, completando los ítem requeridos.</p>			
I) DATOS DEL PROYECTO			
1.1.) Nombre del proyecto:	Evaluación, calculo y diseño de obras hidraulicas y su influencia en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera el Pilar en el distrito de Yanacancha - Cerro de Pasco en el año 2018		
1.2.) Código del proyecto:	T-VF-JB-001		
1.3.) Fecha de registro:	20/11/2018		
II) DATOS DEL INSTITUTO			
2.1.) Nombre:	Ministerio de Energia y Minas		
2.2.) Área:	Dirección General de Asuntos Ambientales		
2.3.) Correo referencial:	webmaster@minem.gob.pe	2.4.) Tipo de Fuente*:	P
*Nota: P= información primaria, S= información secundaria, y T= información terciaria			
2.4.) Requerimiento	Estudios Ambientales de las zonas aledañas		
III) DATOS DE LA INFORMACIÓN			
3.1.) Datos Obtenidos:	Modificación de disposición de relaves aprobados -depósito de relaves vaso Atacocha - Compañía Minera Atacocha S.A.A.		
3.2.) Listado de Documentos obtenidos:			
N°	Tipo de documento	Formato de entrega	Cantidad
01	Capitulos	Digital	01 (un) DVD
02	Anexos	Digital	01 (un) DVD
03	Planos	Digital	01 (un) DVD
04	-	-	-
05	-	-	-
06	-	-	-
-----		-----	
V°B° Elaboración		V°B° Recepción	

	FICHA DE REGISTRO DE DATOS	Código:	A02-FCH-05
		Versión:	V01
		Fecha:	20/11/2018
<p>En la presente ficha de registro de datos se detallará la institución y la información requerida para el desarrollo del proyecto de investigación, completando los ítem requeridos.</p>			
I) DATOS DEL PROYECTO			
1.1.) Nombre del proyecto:	Evaluación, calculo y diseño de obras hidraulicas y su influencia en la estabilidad hidrológica de los depósitos de relaves 1, 2 y 3 de la unidad minera el Pilar en el distrito de Yanacancha - Cerro de Pasco en el año 2018		
1.2.) Código del proyecto:	T-VF-JB-001		
1.3.) Fecha de registro:	20/11/2018		
II) DATOS DEL INSTITUTO			
2.1.) Nombre:	Universidad Alas Peruanas		
2.2.) Área:	Pre-grado / Titulación		
2.3.) Correo referencial:	g_gomez@uap.edu.pe	2.4.) Tipo de Fuente*:	P
*Nota: P= información primaria, S= información secundaria, y T= información terciaria			
2.4.) Requerimiento	Estructura del proyecto de investigación (Tesis)		
III) DATOS DE LA INFORMACIÓN			
3.1.) Datos Obtenidos:	Estructura para la elaboración de los proyectos de investigación		
3.2.) Listado de Documentos obtenidos:			
N°	Tipo de documento	Formato de entrega	Cantidad
01	Estructura en editable	Correo electronico	1
02	-	-	-
03	-	-	-
04	-	-	-
05	-	-	-
06	-	-	-
----- V°B° Elaboración		----- V°B° Recepción	

Anexo 4

Data de SENAMHI

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO **LAT** : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : TEMPERATURA TOTAL MENSUAL (mm) **LONG** : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO
ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	195.5	162.6	222.0	102.4	31.9	91.4	24.9	36.4	100.4	111.0	96.3	75.8
1990	259.7	157.1	129.0	69.1	52.5	74.3	7.3	12.6	96.7	102.7	182.7	179.1
1991	89.5	44.2	219.7	66.7	44.7	47.5	12.1	0.7	57.6	163.0	128.2	58.4
1992	100.0	78.1	106.0	76.0	8.5	29.9	3.2	48.5	62.6	93.2	24.6	S/D
1993	S/D	140.5	170.7	139.9	64.9	1.9	12.0	41.9	53.6	219.1	254.1	207.4
1994	234.8	194.6	149.0	109.1	69.2	47.5	51.8	32.0	54.4	121.0	103.1	133.2
1995	109.0	109.1	196.7	72.2	40.2	6.2	7.4	0.6	48.4	88.4	129.1	105.9
1998	91.5	214.2	112.0	72.2	15.7	11.4	0.0	1.5	25.4	130.5	103.7	69.0
1999	135.6	176.8	146.3	68.9	32.5	21.6	5.9	3.3	87.4	70.7	116.6	124.0
2000	189.1	153.1	132.5	42.8	43.6	5.5	11.4	29.0	25.1	118.2	48.2	144.0
2001	178.9	142.9	160.0	52.7	62.0	5.7	32.4	13.3	34.5	97.8	88.9	163.6
2002	37.0	172.5	150.1	72.8	44.3	10.9	41.7	11.6	52.0	136.2	102.3	131.8
2003	124.2	125.6	174.7	114.0	39.2	26.2	5.0	20.2	50.7	24.8	98.4	141.9
2004	69.6	163.9	69.1	62.0	36.7	30.6	24.0	29.6	112.6	88.7	130.8	151.5

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO **LAT** : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : TEMPERATURA TOTAL MENSUAL (mm) **LONG** : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO
ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2005	93.6	138.4	159.2	53.3	12.2	6.8	7.8	20.3	32.2	79.7	85.9	85.3
2006	97.2	110.4	150.4	97.0	13.3	37.9	5.6	15.1	62.7	169.0	134.2	126.4
2007	92.8	76.4	183.9	80.5	63.9	0.0	17.1	5.4	30.4	88.0	101.1	97.4
2008	135.8	94.1	50.2	63.7	11.6	26.8	6.2	13.2	58.4	103.3	68.8	83.0
2009	119.4	116.4	188.2	54.2	34.7	30.3	23.0	58.8	21.4	68.8	135.4	213.0
2010	178.0	123.3	126.5	59.9	17.0	2.0	9.6	0.0	23.7	101.2	73.1	120.0
2011	165.8	164.0	149.3	65.7	25.6	0.0	15.6	12.9	60.3	S/D	76.5	S/D
2012	152.6	166.6	88.4	104.7	44.2	16.9	5.7	7.3	53.6	106.8	116.7	203.8
2013	190.4	134.7	177.0	85.3	46.7	26.6	21.4	35.6	52.5	168.3	77.8	119.2
2014	200.0	165.2	156.0	71.1	45.2	22.0	19.7	8.3	73.7	63.4	92.9	124.9
2015	139.0	65.0	130.5	98.0	43.1	15.7	19.5	8.9	56.6	76.3	124.4	120.9
2016	87.7	164.6	107	76.2	23.7	20	9.7	33.5	32.7	S/D	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato

ESTACIÓN : YANACANCHA

LAT : 10° 29' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : TEMPERATURA TOTAL MENSUAL (mm)

LONG : 76° 30' "W" **PROV.** : DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ALT : 3190 msnm **DIST.** : YANAHUANCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	9.0	32.1	47.8	0.0	2.0	6.8	0.4	64.5	39.0	160.1	30.7	32.4
1990	0.0	S/D	142.7	75.5	51.3	144.2	10.1	11.4	81.9	106.4	154.7	137.0
1991	59.7	S/D	241.9	72.0	67.4	17.5	0.0	0.9	69.5	118.7	122.0	48.8
1992	46.4	24.5	91.5	11.6	0.0	45.4	15.1	83.7	13.0	144.1	106.4	40.0
1993	178.4	S/D	S/D	19.7	7.7	0.0	2.7	1.2	10.5	14.8	12.6	4.6
1994	5.7	13.3	5.8	9.7	1.2	0.0	0.0	0.0	3.6	3.6	2.6	5.3
1995	13.9	11.0	10.1	7.7	5.9	0.0	0.0	0.0	0.8	3.3	9.5	4.7
1996	11.0	7.2	55.9	91.6	24.8	0.0	0.0	6.1	49.2	42.6	50.1	30.1
1997	63.2	177.8	45.3	58.6	27.6	0.0	2.5	8.8	21.4	33.1	68.7	140.9
1998	138.2	168.7	139.2	70.5	11.9	15.4	0.0	0.3	14.4	81.5	70.9	48.6
1999	107.8	192.0	128.3	79.2	21.4	12.8	8.4	11.5	38.3	33.6	73.5	98.6
2000	137.5	84.6	167.8	43.4	15.5	9.2	11.6	0.0	11.4	42.9	60.6	78.2
2001	127.7	65.3	169.9	79.8	27.4	20.6	30.1	22.1	15.1	66.0	97.9	145.4
2002	43.3	79.7	106.3	65.2	26.3	2.6	70.9	18.3	69.2	108.0	93.7	114.4

ESTACIÓN : YANACANCHA

LAT : 10° 29' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : TEMPERATURA TOTAL MENSUAL (mm)

LONG : 76° 30' "W" **PROV.** : DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ALT : 3190 msnm **DIST.** : YANAHUANCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2003	116.0	111.4	144.2	102.8	74.6	12.4	0.0	17.9	24.9	58.2	128.9	153.0
2004	29.9	84.9	86.5	29.4	39.0	35.9	20.8	16.1	48.0	121.6	94.7	150.7
2005	50.0	123.9	123.9	43.3	32.7	0.0	21.8	12.1	34.0	89.7	92.0	93.9
2006	114.3	101.2	148.6	60.3	12.2	22.3	0.5	12.3	51.2	98.0	98.9	138.0
2007	102.1	53.4	196.5	74.9	40.8	0.7	54.9	11.9	9.4	123.6	93.7	82.2
2008	104.8	122.0	81.1	34.9	21.4	13.7	0.0	11.4	39.4	78.4	S/D	S/D
2009	150.3	165.2	201.6	122.0	60.0	S/D	31.6	27.7	16.8	36.0	128.7	110.3
2010	108.2	101.4	123.6	50.1	5.4	5.8	0.0	0.0	12.1	74.1	110.2	148.7
2011	243.2	101.6	206.5	100.8	4.1	0.0	16.9	4.0	15.6	S/D	87.5	S/D
2012	92.2	178.4	91.3	137.8	8.5	30.4	16.3	0.0	51.1	59.1	130.7	220.4
2013	160.6	125.1	170.2	35.2	25.2	15.4	9.3	13.9	19.1	90.9	80.7	102.1
2014	195.4	158.5	146.4	78.6	56.0	16.7	19.7	8.0	33.8	49.7	109.5	180.4

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato.

ESTACIÓN : SAN RAFAEL **LAT** : 10° 19' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : TEMPERATURA TOTAL MENSUAL (mm) **LONG** : 76° 10' "W" **PROV.** : AMBO
ALT : 3060 msnm **DIST.** : SAN RAFAEL

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1993	57.7	66.3	102.7	17.1	4.0	1.0	11.9	8.9	S/D	S/D	S/D	182.7
1994	105.4	198.1	71.2	43.5	6.2	0.8	0.0	2.1	24.2	64.2	57.6	100.4
1995	105.7	143.5	144.8	51.5	31.5	20.0	1.5	5.0	45.5	90.5	46.8	136.4
1996	86.0	117.5	131.2	82.2	16.0	8.0	0.9	8.9	52.3	23.4	65.4	58.3
1997	99.5	71.3	33.8	36.6	9.9	0.0	0.0	19.1	28.1	56.7	64.9	115.4
1998	143.4	164.2	79.7	29.5	6.6	12.5	0.0	7.6	10.7	72.1	90.4	129.2
1999	129.4	160.1	115.1	42.8	11.7	10.9	4.4	13.2	64.4	24.0	75.0	63.1
2000	119.9	100.9	158.6	47.5	9.7	20.5	5.4	35.0	22.1	46.2	33.4	113.1
2001	125.4	100.9	134.0	72.1	10.5	11.1	26.5	13.0	28.0	68.9	104.6	151.7
2002	35.1	88.0	157.8	38.6	32.2	3.2	30.3	1.2	17.5	106.8	63.0	135.4
2003	67.1	47.3	116.5	101.4	8.6	7.2	0.0	33.2	28.6	19.4	83.3	126.8
2004	40.2	84.3	60.7	53.5	45.7	16.7	5.0	9.5	45.0	66.0	86.3	S/D
2005	71.5	100.4	125.5	S/D	1.9	0.0	4.4	16.4	30.1	55.2	67.8	72.7
2006	112.0	68.7	104.6	54.2	0.9	9.7	5.8	9.8	22.1	64.3	97.9	96.9

ESTACIÓN : SAN RAFAEL

LAT : 10° 19' "S" DPTO. : PASCO

PARÁMETRO : TEMPERATURA TOTAL MENSUAL (mm)

LONG : 76° 10' "W" PROV. : AMBO

ALT : 3060 msnm DIST. : SAN RAFAEL

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2007	93.6	18.9	157.3	47.4	18.5	0.7	41.0	3.7	21.7	67.4	70.3	114.6
2008	100.2	133.2	58.8	35.4	21.2	14.5	1.9	3.9	89.4	84.8	41.4	100.2
2009	84.9	75.2	108.6	44.0	54.1	8.6	21.8	13.8	25.2	42.9	97.5	114.7
2010	134.9	133.6	111.1	78.3	24.9	5.2	10.6	5.4	9.9	43.9	43.0	134.2
2011	125.7	116.7	99.3	S/D	33.7	1.0	1.6	5.2	32.4	66.2	49.4	199.7
2012	85.1	123.2	63.0	111.6	12.1	30.2	3.3	11.2	8.3	77.1	83.8	223.0
2013	94.0	135.9	123.1	71.4	11.9	16.9	S/D	S/D	24.5	104.3	96.5	175.6
2014	110.1	155.5	134.2	51.6	37.3	3.0	0.0	11.5	81.0	19.5	51.4	72.4
2015	97.4	50.7	77.2	57.0	S/D	0.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato.

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO **LAT** : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm) **LONG** : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO
ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1989	37.0	20.8	34.5	20.1	6.0	28.0	5.9	11.0	13.6	18.0	13.5	28.2
1990	35.7	16.9	14.5	11.6	11.0	10.2	3.0	6.0	15.6	16.0	26.5	40.0
1991	18.2	16.9	21.5	10.0	12.0	16.0	6.7	0.7	15.7	22.0	27.0	10.5
1992	11.6	9.6	15.0	19.4	2.8	7.0	1.4	12.3	23.0	12.0	5.3	S/D
1993	S/D	17.1	18.6	18.5	16.0	1.0	8.5	16.6	13.0	36.0	26.3	21.5
1994	28.6	19.0	21.0	35.7	13.0	12.3	15.0	15.1	12.3	18.5	20.4	16.5
1995	11.4	25.1	22.8	15.3	12.2	3.1	2.9	0.3	9.4	13.0	18.4	16.1
1998	12.1	30.5	13.7	18.5	5.2	5.5	0.0	1.5	5.7	19.7	15.8	9.6
1999	38.0	31.7	14.7	25.8	7.3	4.8	4.3	3.3	10.7	16.1	16.6	16.5
2000	18.0	17.3	18.3	6.5	9.4	2.8	4.5	8.2	7.1	14.3	12.7	22.6
2001	29.4	24.3	24.0	23.7	10.9	2.0	11.5	6.0	7.9	19.1	16.6	28.0
2002	8.0	19.4	26.8	15.5	13.5	3.0	10.4	3.5	13.7	24.1	12.6	22.3
2003	14.5	19.4	20.7	18.1	8.3	7.0	4.6	10.0	20.7	6.0	20.0	13.1
2004	12.7	31.2	11.4	16.9	6.0	4.0	8.6	7.9	27.5	22.5	26.8	33.2

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO **LAT** : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm) **LONG** : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO
ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

2005	15.4	20.0	46.7	17.4	2.9	2.8	4.1	4.5	6.0	12.8	29.1	9.0
2006	9.8	17.5	16.2	19.1	3.9	17.0	2.7	4.0	21.8	21.3	27.3	24.6
2007	15.5	16.0	18.4	14.2	16.0	0.0	8.0	4.4	10.5	16.0	20.6	26.7
2008	16.6	18.5	8.0	12.5	5.4	7.3	3.2	10.4	10.0	10.4	29.4	25.0
2009	26.0	19.0	39.2	11.4	12.0	12.0	8.2	12.4	5.1	20.0	31.4	29.5
2010	25.7	24.3	35.9	14.5	17.0	2.0	4.4	0.0	7.5	24.0	13.8	30.8
2011	20.5	16.3	20.8	24.4	12.0	0.0	6.3	9.0	14.0	16.0	22.7	24.0
2012	20.0	20.7	15.0	12.0	7.8	6.5	3.5	5.2	16.8	25.4	18.0	24.6
2013	25.8	15.0	20.3	14.0	15.0	5.8	8.0	11.0	17.6	20.5	11.6	16.0
2014	26.2	19.8	20.0	24.7	7.3	10.0	7.0	2.6	20.6	15.0	17.5	25.6
2015	15.0	10.0	18.0	15.2	10.3	9.0	9.0	7.4	18.4	17.3	25.1	15.4
2016	18.0	16.5	20.6	12.4	8.2	7.1	6.7	13.0	9.0	S/D	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato.

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO

LAT : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

LONG : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO

ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	4.8	4.4	4.7	4.5	4.6	5.2	4.0	4.4	5.4	5.3	6.0	5.4
2001	5.1	5.6	5.6	5.1	5.3	3.6	4.1	3.3	4.8	6.1	6.2	6.2
2002	6.5	5.9	5.8	5.8	5.3	4.1	4.2	4.2	5.1	5.4	5.7	6.0
2003	6.5	6.1	5.5	5.9	5.5	4.9	4.1	4.2	5.0	5.9	5.9	5.8
2004	6.2	6.2	6.2	5.8	5.6	3.8	4.1	3.6	4.2	5.6	6.1	6.2
2005	6.4	6.5	6.2	6.2	5.9	5.0	4.4	4.5	5.6	6.0	6.1	5.9
2006	6.1	6.3	6.0	5.8	5.2	4.7	3.8	5.0	4.9	5.9	6.0	6.1
2007	6.0	5.6	5.1	5.2	5.0	4.2	3.8	4.6	4.3	5.0	5.3	5.4
2008	5.1	5.0	4.8	4.9	4.6	4.3	4.0	4.8	4.9	5.4	6.0	5.6
2009	5.3	5.2	5.1	5.2	4.9	4.6	4.0	4.7	5.7	5.7	6.4	5.7
2010	5.7	6.5	6.6	6.3	6.3	5.1	5.2	4.8	5.3	5.7	5.7	S/D
2011	4.8	4.5	5.0	5.0	5.2	5.0	4.3	5.3	5.0	5.6	6.4	5.0
2012	5.5	5.1	5.1	5.0	5.1	4.0	4.0	4.3	4.3	5.4	5.7	5.4

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO

LAT : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

LONG : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO

ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2013	5.8	6.1	5.6	5.7	5.7	4.4	3.6	4.3	5.2	5.3	6.2	5.9
2014	5.4	5.2	5.4	5.2	5.5	4.9	4.2	4.2	4.9	S/D	S/D	S/D
2015	5.1	5.8	5.5	5.2	5.3	4.8	4.8	5.1	5.9	6.0	6.2	5.7
2016	6.6	6.4	6.5	6.5	6.3	4.8	4.7	5.3	5.3	S/D	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato.

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO

LAT : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL
(°C)

LONG : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO

ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	1.3	1.4	1.4	0.5	-0.3	-0.6	-2.2	-1.8	-1.2	-0.3	-1.1	-0.1
2001	1.2	1.5	1.6	-0.1	0.1	-2.3	-1.5	-3.3	-0.6	0.8	1.6	1.2
2002	1.5	2.3	1.9	1.3	0.0	-1.8	-0.7	-1.6	-0.4	0.6	1.5	1.6
2003	2.3	1.9	1.7	1.4	0.6	-1.2	-2.0	-2.1	-1.1	-0.2	0.0	1.8
2004	0.6	1.9	1.9	0.3	-0.1	-1.9	-1.3	-2.0	-1.0	0.9	1.1	1.8
2005	1.5	2.1	2.4	1.1	-0.3	-2.2	-3.1	-3.0	-0.5	0.5	-0.2	1.5
2006	1.5	1.8	2.0	0.9	-1.4	-0.9	-3.4	-0.8	-1.4	0.8	1.3	1.7
2007	2.6	2.0	1.9	1.4	-0.1	-2.6	-2.4	-2.0	-0.6	-0.5	0.3	0.5
2008	1.8	1.4	1.0	0.6	-1.1	-1.6	-3.0	-1.7	-0.9	0.7	0.8	0.8
2009	1.6	1.8	1.6	1.2	0.0	-1.0	-1.7	-1.1	0.3	0.1	1.5	2.1
2010	2.3	2.7	2.7	1.6	0.7	-1.3	-2.3	-3.1	-0.9	-0.1	0.9	S/D
2011	1.5	1.2	1.7	0.7	-0.3	-1.4	-2.3	-1.5	0.1	0.7	0.7	0.9
2012	1.2	1.4	1.4	1.2	-0.4	-1.7	-2.9	-2.8	-2.1	0.5	1.3	1.8
2013	1.8	2.3	2.2	0.8	0.6	0.0	-2.0	-1.6	-0.9	0.6	0.7	1.6

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO

LAT : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL
(°C)

LONG : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO

ALT : 4260 msnm **DIST.** :
CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	1.3	1.6	1.3	1.1	0.8	-1.3	-1.9	-2.1	0.0	S/D	S/D	S/D
2015	1.6	2.1	1.6	1.7	0.8	-1.0	-2.2	-2.3	0.5	0.6	1.1	1.9
2016	1.8	3.2	2.5	1.0	0.5	-2.0	-3.3	-1.0	-0.9	S/D	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato.

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO **LAT** : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C) **LONG** : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO
ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	11.0	10.2	10.7	12.1	10.8	13.0	10.9
2001	8.9	9.7	9.6	10.4	10.5	9.6	9.6	9.8	10.1	11.3	10.6	11.1
2002	11.4	9.5	9.8	10.2	10.5	10.0	9.1	10.1	10.6	10.2	9.9	10.4
2003	10.7	10.4	9.3	10.3	10.3	10.9	10.1	10.4	11.1	12.0	11.8	9.7
2004	11.8	10.4	10.6	11.4	11.3	9.4	9.4	9.2	8.8	10.2	11.0	10.5
2005	11.3	11.0	10.6	11.3	12.1	12.1	12.3	11.9	11.6	11.6	12.4	10.4
2006	10.8	10.8	10.1	10.6	11.7	10.2	10.9	10.8	11.3	11.0	10.5	10.6
2007	10.7	10.9	9.5	10.3	11.3	11.3	10.7	11.8	10.2	10.8	11.0	11.0
2008	9.4	9.6	9.6	10.4	10.9	10.7	11.0	12.1	11.4	10.7	11.5	11.3
2009	10.3	9.6	9.3	9.9	10.5	10.9	10.2	11.3	11.8	11.5	11.7	10.1
2010	10.3	11.1	11.4	11.7	12.5	11.8	13.2	12.7	12.1	11.9	11.1	S/D
2011	9.3	9.1	9.7	10.0	11.4	11.6	10.8	12.3	10.7	11.2	12.1	9.7
2012	10.7	10.1	9.8	10.2	11.0	10.3	11.3	11.4	10.5	11.7	11.2	10.0
2013	11.0	10.7	10.2	11.4	11.7	9.7	9.2	10.6	11.6	10.5	11.6	10.8

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO

LAT : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA MENSUAL (°C)

LONG : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO

ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	10.4	10.0	10.3	10.3	11.0	11.7	11.7	10.7	10.5	S/D	S/D	S/D
2015	10.5	10.6	10.4	9.9	10.8	11.2	12.0	12.3	12.3	11.7	11.8	10.9
2016	12.8	11.4	12.0	12.1	12.9	11.7	12.3	12.1	11.6	S/D	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato.

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO **LAT** : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%) **LONG** : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO
ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	88.0	88.0	87.0	84.0	84.0	83.0	84.0	83.0	84.0	83.0	85.0	83.0
2002	83.0	88.0	88.0	86.0	86.0	86.0	87.0	86.0	86.0	87.0	87.0	86.0
2003	86.0	87.0	88.0	88.0	87.0	85.0	86.0	86.0	85.0	83.0	83.0	87.0
2004	83.0	86.0	86.0	86.0	84.0	83.0	83.0	81.0	83.0	84.0	84.0	83.0
2005	82.0	84.0	86.0	85.0	83.0	82.0	80.0	80.0	82.0	84.0	83.0	85.0
2006	85.0	86.0	87.0	86.0	84.0	85.0	85.0	85.0	84.0	85.0	85.0	85.0
2007	76.8	75.1	79.4	77.0	72.9	71.3	72.3	70.6	75.6	75.4	74.6	74.0
2008	78.9	77.7	77.2	75.1	72.4	72.0	72.1	68.1	70.9	74.5	72.9	73.2
2009	82.7	83.8	84.0	83.5	82.9	82.1	81.9	82.2	80.8	81.5	81.2	83.7
2010	83.3	80.8	80.7	80.3	78.4	79.6	78.6	79.0	79.6	78.9	80.5	S/D
2011	84.4	83.9	82.6	81.9	79.8	79.8	82.5	83.0	84.0	83.4	82.8	85.4
2012	84.3	85.4	85.1	85.6	83.4	84.2	83.1	82.5	84.7	84.5	84.3	85.5
2013	83.2	85.7	86.0	85.7	84.6	87.0	87.3	86.2	85.3	84.0	84.2	85.1
2014	85.9	86.1	84.2	86.1	84.7	84.4	85.0	85.4	85.5	S/D	S/D	S/D

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO

LAT : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : HUMEDAD RELATIVA MEDIA MENSUAL (%)

LONG : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO

ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2015	87.0	86.4	86.7	87.5	86.1	86.0	85.2	84.9	85.0	85.5	85.4	86.4
2016	84.9	85.7	85.8	85.2	84.9	85.6	84.4	85.1	85.3	S/D	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato.

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO

LAT : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO

PARÁMETRO : EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL (mm)

LONG : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO

ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2011	70.4	S/D	83.4	73.1	93.4	96.2	93.6	111.2	81.6	81.7	90.9	73.8
2012	81.3	S/D	74.7	84.4	76.0	72.0	84.0	86.0	72.0	83.0	88.0	66.0
2013	78.0	67.0	89.8	88.0	93.0	60.0	65.0	80.0	91.0	86.0	88.0	81.0
2014	69.4	50.0	71.0	78.0	83.0	96.0	84.0	87.0	79.0	84.0	92.0	79.0
2015	70.0	72.0	76.0	79.3	86.0	87.0	104.0	109.0	98.0	112.2	101.6	89.8
2016	101.8	100.3	112.0	98.3	118.8	93.9	107.2	134.0	89.8	S/D	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato.

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO **LAT** : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : DIRECCIÓN PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO MES (m/s) **LONG** : 76° 15' "W" **PROV.** : PASCO
ALT : 4260 msnm **DIST.** : CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2001	NE-2.1	NE-2.3	NE-2.1	NE-2.1	NE-2.3	NE-2.6	NE-2.4	NE-2.7	NE-2.4	NE-2.9	NE-2.0	NE-2.0
2002	NE-2.6	NE-2.7	NE-2.2	NE-2.4	NE-2.2	NE-2.8	NE-3.3	NE-3.2	NE-3.0	NE-2.2	NE-2.6	NE-1.5
2003	NE-2.2	NE-2.4	NE-1.8	NE-2.3	NE-2.3	NE-2.5	NE-2.7	NE-2.7	NE-2.3	NE-2.5	NE-2.4	NE-2.1
2004	NE-1.9	NE-2.1	NE-2.3	NE-1.5	NE-2.0	NE-3.1	NE-2.0	NE-3.4	NE-1.5	NE-2.5	NE-2.3	NE-2.2
2005	NE-2.1	NE-2.4	NE-2.1	NE-2.9	NE-2.7	NE-2.6	NE-3.6	NE-2.9	NE-3.6	NE-2.4	NE-2.5	NE-2.5
2006	NE-3.0	NE-2.1	NE-1.9	NE-1.8	NE-2.1	NE-2.2	NE-2.8	NE-2.8	NE-2.4	NE-2.1	NE-1.9	NE-1.8
2007	NE-1.7	NE-2.3	NE-1.7	NE-1.9	NE-1.7	NE-2.1	NE-2.8	NE-2.3	NE-2.2	NE-1.4	NE-1.5	NE-1.7
2008	NE-1.8	NE-1.8	NE-1.9	NE-2.0	NE-1.8	NE-1.9	NE-2.2	NE-2.2	NE-1.9	NE-1.9	S/D	S/D
2009	NE-1.7	NE-1.7	NE-1.7	NE-2.0	NE-2.0	NE-2.3	NE-2.6	NE-2.1	NE-2.4	NE-2.1	NE-1.8	NE-1.5
2010	NE-2.1	NE-2.4	NE-2.2	NE-2.2	NE-2.3	NE-2.2	NE-2.6	NE-3.1	NE-2.7	NE-2.3	NE-2.4	NE-2.0
2011	NE-2.2	NE-2.0	NE-1.9	NE-1.8	NE-1.8	NE-2.2	NE-2.3	NE-2.6	NE-2.4	NE-2.0	NE-2.1	NE-1.7
2012	NE-1.6	NE-1.8	NE-2.1	NE-1.5	NE-1.8	NE-2.1	NE-2.1	NE-2.2	NE-2.1	NE-2.1	NE-1.8	NE-1.8

ESTACIÓN : CERRO DE PASCO **LAT** : 10° 41' "S" **DPTO.** : PASCO
PARÁMETRO : DIRECCIÓN PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MEDIA DEL **LONG** : 76° 15' **PROV.** : PASCO
 VIENTO MES (m/s) "W" **DIST.** :
ALT : 4260 msnm **DIST.** CHAUPIMARCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2013	NE-1.9	NE-1.7	NE-1.8	NE-1.9	NE-1.9	NE-2.1	NE-2.0	NE-2.0	NE-2.1	NE-1.8	NE-2.2	NE-2.0
2014	NE-1.9	NE-1.5	NE-2.0	NE-1.9	NE-1.9	NE-1.8	NE-2.2	NE-2.2	NE-2.1	S/D	S/D	S/D
2015	NE-2.0	NE-2.0	NE-1.8	NE-2.0	NE-1.9	NE-2.0	NE-2.1	NE-2.3	NE-2.2	NE-2.2	NE-1.9	NE-2.0

Fuente: SENAMHI. S/D: Sin dato