



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Instituto Nacional de Investigación
en Glaciares y Ecosistemas de Montaña



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

MINISTERIO DEL AMBIENTE

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES Y

ECOSISTEMAS DE MONTAÑA – INAIGEM

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN GLACIARES

SUBDIRECCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A GLACIARES

**INVESTIGACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE
PELIGROS, REDUCCIÓN DEL RIESGO Y LA ADAPTACIÓN AL
CAMBIO CLIMÁTICO EN AMBIENTES DE SUBCUENCAS
GLACIARES DEL PERÚ.**

**SUBCUENCA DEL RÍO COLCAS-SANTA CRUZ, HUAYLAS,
ANCASH.**



Huaraz, Abril 2018

**CONTENIDO**

RESUMEN EJECUTIVO	8
1. GENERALIDADES.....	8
1.1. Introducción	8
1.2. Antecedentes	8
1.3. Ubicación.....	9
1.3.1. Geográfica	9
1.3.2. Política	10
1.3.3. Hidrográfica.....	11
1.4. Accesibilidad.....	12
1.5. Objetivos	13
1.5.1. Generales	13
1.5.2. Específicos	13
1.6. Justificación	13
1.7. Metodología	13
1.7.1. Fase I - Pre Campo.....	14
1.7.1.1. Definición del Objetivo y Alcance del Estudio.....	14
1.7.1.2. Recopilación y Análisis de la Información Existente	15
1.7.1.3. Elaboración del Plan de Trabajo.....	15
1.7.2. Fase II - Campo	15
1.7.2.1. Recolección de información In situ	15
1.7.3. Fase III – Gabinete.....	16
1.7.3.1. Sistematización, Análisis y Evaluación	16
1.7.4. Fase IV – Informe Final	18
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	19
2.1. Introducción	19
2.2. Geología Regional.....	19
2.2.1. Unidades Geológicas	23
2.2.1.1. Formación Chicama (Js-ch).....	23
2.2.1.2. Formación Yungay (Nmp-yu).....	26
2.2.1.3. Batolito de la Cordillera Blanca	30
2.2.1.1. Grupo Calipuy (PN_vca).....	36
2.2.1.4. Depósitos Cuaternarios	36
2.2.1.4.1. Depósitos Glaciáricos (Q-gl).....	36
2.2.1.4.2. Depósitos Lacustrinos (Q-la).....	39
2.2.1.4.3. Depósitos Fluvioglaciares (Q-fg)	40

*“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”*

2.2.1.4.4.	Depósitos Fluviales (Q-fl).....	41
2.2.1.4.5.	Depósitos Coluviales (Q-co).....	43
2.2.1.4.6.	Depósitos Aluvionales (Q-alv).....	45
2.3.	Geología Histórica	46
2.3.1.	Evolución Paleogeográfica	46
2.3.1.1.	Jurásico Superior (Fase Nevadiana).....	46
2.3.1.2.	Mioceno–Plioceno (Fase Quechua).....	46
2.3.1.3.	Holoceno (Cuaternario Reciente).....	46
2.3.1.4.	Glaciaciones.....	47
	Primera Etapa:	48
	Segunda Etapa (Jurásico inferior):	48
	Tercera Etapa (Jurásico Medio):	49
	Cuarta Etapa (Jurásico Superior-Fase Nevadiana):.....	50
	Quinta Etapa:	51
	Sexta Etapa	51
	Séptima Etapa:.....	52
	Octava Etapa:.....	52
2.4.	Geodinámica Interna.....	53
2.4.1.	Tectónica	53
2.4.1.1.	Geología Estructural	53
2.4.1.2.	Zonificación Estructural.....	54
2.4.1.3.	Neotectónica	54
2.4.1.3.1.	Sismología.....	55
2.5.	Hidrología	57
3.	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	58
3.1.	Introducción	58
3.2.	Geomorfología Regional.....	58
3.2.1.	Relieve Montañoso	58
3.2.2.	Relieve Colinoso	59
3.3.	Geomorfogénesis de la subcuenca	59
3.4.	Unidades geomorfológicas.....	60
3.5.	Zonificación de Pendientes	68
3.6.	Zonificación Altitudinal (Planimétrico).....	72
3.7.	Geodinámica Externa	75
3.7.1.	Principales Procesos Geodinámicos.....	75
3.7.1.1.	Derrumbes	75
3.7.1.2.	Caída de rocas y detritos.....	75
3.7.1.3.	Flujo de lodos y detritos.....	76

*“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”*

3.7.1.4.	Avalanchas de hielo	77
3.7.1.5.	Erosión en Cárcavas	78
4.	ASPECTOS GEOTECNICOS	79
4.1.	Introducción.....	75
4.2.	Características Geotécnicas Generales.....	75
4.2.1.	Caracterización Geotécnica.....	75
4.2.1.1.	Basamento Rocoso.....	75
4.2.1.2.	Suelos.....	77
4.3.	Unidades Geotécnicas.....	77
5.	ASPECTOS AMBIENTALES	83
5.1.	Clima.....	83
5.1.1.	Precipitación.....	83
5.1.2.	Humedad	83
5.1.3.	Temperatura.....	83
5.1.4.	Viento	83
5.2.	Hidrografía.....	83
5.2.1.	Parámetros de la Red Hidrográfica	83
5.2.1.1.	Área de la cuenca.....	79
5.2.1.2.	Longitud del Cauce Principal.....	80
5.2.1.3.	Perímetro de la Cuenca.....	81
5.2.1.4.	Forma de la Subcuenca.....	81
5.2.1.5.	Longitud de la Subcuenca.....	84
5.2.1.6.	Sistema de drenaje.....	84
5.3.	Ecosistemas de Montaña	89
5.3.1.	Caracterización de los ecosistemas.....	89
5.3.1.1.	Monte Ribereño	90
5.3.1.2.	Bosques Andinos de Polylepis, Gynoxis y Buddleja.....	91
5.3.1.3.	Matorrales	92
5.3.1.4.	Praderas o Pastizales	92
5.3.1.5.	Comunidades Acuáticas y Semiacuáticas	93
5.3.1.6.	Bofedales.....	940
6.	ASPECTOS GLACIOLÓGICOS	95
6.1.	Introducción	95
6.2.	Glaciares	95
6.2.1.	Definición	95
6.2.2.	Partes de un Glaciar	95
6.2.3.	Tipos de Glaciares.....	96
6.2.4.	Glaciares Peligrosos:.....	98

*“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”*

6.3.	Glaciares Colgados	99
6.4.	Lagunas.....	101
	Artizón Alto y Artizón Bajo	102
7.	OBRAS DE SEGURIDAD	106
7.1.	Laguna Arhuaycocha	106
7.1.1.	Obras de Seguridad	106
7.1.1.1.	Estado Actual.....	106
7.2.	Laguna Jatuncocha	109
7.2.1.	Obras de Seguridad	109
7.2.1.1.	Estado Actual.....	109
8.	ANÁLISIS DEL NIVEL DE PELIGRO.....	116
8.1	Análisis Geoespacial Multicriterio para la Determinación de Niveles de Peligro de la Sub Cuenca del Rio Colcas, Quebrada Santa Cruz.....	116
9.	RESULTADOS	117
9.1.	Zonificación y Niveles de Peligro.....	117
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	115
10.1.	Conclusiones.....	119
10.2.	Recomendaciones	120
11.	Bibliografía.....	118
12.	GLOSARIO DE TÉRMINOS	125
13.	SIGLAS.....	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Acceso a la Subcuenca Colcas, Quebrada Santa Cruz.	12
Tabla N° 2: Valoración de Niveles de Peligro.....	16
Tabla N° 3: Grado de Erosionabilidad	16
Tabla N° 4: Nivel de Competencia de Suelos y Rocas	177
Tabla N° 5: Niveles de Susceptibilidad.....	17
Tabla N° 6: Geoformas.....	188
Tabla N° 7: Valoración de Peligros por Área.....	18
Tabla N° 8: Valoración de Peligros Final	18
Tabla N° 9: Unidades Geológicas Identificadas en el Estudio de la Subcuenca del Río Colcas – Quebrada Santa Cruz y su Relación con la Superficie que Ocupa.....	200
Tabla N° 10: Tabla Resumen de Ubicación y Litología de la Muestra Representativa de la Formación Chicama	24
Tabla N° 11:: Tabla Resumen de Ubicación y Litología de la Muestra Representativa de la Formación Yungay	277
Tabla N° 12: Zonificación de Pendientes.....	68
Tabla N° 13:: Tabla de Clasificación Geomorfológica basada en la zonificación de pendientes.	698
Tabla N° 14: Resumen de las Principales Familias de Discontinuidades por cada Estación de Mapeo Geomecánico de la Subcuenca del río Colcas-Santa Cruz (37 EMG).	809
Tabla N° 15: Descripción de Unidades Geotécnicas	80
Tabla N° 16: Rangos aproximados del Factor de Forma.	876
Tabla N° 17: Principales Ecosistemas Existente en la Subcuenca del Río Santa Cruz.....	909
Tabla N° 1: Tipologías más Recurrentes para la Clasificación de Glaciares.....	96

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Tabla N° 2: Ubicación de zonas de glaciares colgados en el glaciar Tullparaju.....	99
Tabla N° 3: Volumen Aproximado de Posible Avalancha del Glaciar.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Ubicación Geográfica de la Zona en Estudio.....	9
Figura N° 2: Ubicación Política de la zona en estudio	10
Figura N° 3: Ubicación Hidrográfica de la zona en estudio.	11
Figura N° 4: Ubicación Hidrográfica de la Sub cuenca del Rio Colcas.....	12
Figura N° 5: Metodología para la Evaluación de Peligros Subcuenca del Rio Colcas, Quebrada Santa Cruz	144
Figura N° 6: Columna Geológica Generalizada en el Estudio	211
Figura N° 7: Mapa de Unidades Geológicas del Área de Estudio	222
Figura N° 8 a: Primera Etapa	47
Figura N° 9a : Segunda Etapa	47
Figura N° 10a : Tercera Etapa.....	48
Figura N° 11a: Cuarta Etapa.....	49
Figura N° 12a: Quinta Etapa.....	510
Figura N° 13a: Sexta Etapa.....	510
Figura N° 14a: Séptima Etapa	52
Figura N° 15a: Octava Etapa	532
Figura N° 16: Perfil Topográfico y Sismológico de la Zona de Estudio.....	56
Figura N° 17: Mapa de las Unidades Geomorfológicas del Area de Estudio	569
Figura N° 18: Mapa de Pendiente del Area de Estudio.....	741
Figura N° 19: Mapa Base (Planimetría) – Subcuenca del Rio Colcas, Quebrada Santa Cruz.	743
Figura N° 20: Diagrama de Rosetas general, subcuenca Colcas-Santa Cruz.	809
Figura N° 21: Mapa de Unidades Geotécnicas – Subcuenca del Rio Colcas, Quebrada Santa Cruz.....	81
Figura N° 22: Componentes de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz.....	843
Figura N° 23:: (a.) Comparación de la forma de subcuencas según valores del Coeficiente de Compacidad. (b.) Subcuenca del río Colcas con un $K_c=1.4560$, caracterizándola como poco alargada.	865
Figura N° 24: Influencia de la Configuración de la red Hidrológica en las Descargas.	86
Figura N° 25. Ramificación del Cauce Principal de la Subcuenca del Río Colcas, Quebrada Santa Cruz, Según el Modelo de Strahler	887
Figura N° 26: Partes de un glaciar y zonas circundantes.....	965
Figura N° 27: Perfil típico de un glaciar Peligroso.	98
Figura N° 28: Simulación de la Trayectoria y Desplazamiento – Laguna Pucajirca.....	100
Figura N° 29: Disposición Actual de las Obras de Seguridad – Laguna Jatuncocha	114
Figura N° 30: Modelo de Análisis Multicriterio para la Determinación de Niveles de Peligro de la Sub Cuenca del Rio Colcas, quebrada Santa Cruz.....	1165
Figura N° 31: Mapa de Susceptibilidades a Movimiento de Masas – Subcuenca del Rio Colcas, Quebrada Santa Cruz.....	117

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Afloramiento rocoso de la Formación Chicama	233
Fotografía N° 2: Vista Macroscópica del Hornfels de Biotita	244
Fotografía N° 3: Vista Microscópica del Hornfels de Biotita	255
Fotografía N° 4: Vista Macroscópica de la Lutita Arenosa Calcárea Ferruginosa	255
Fotografía N° 5: Vista Microscópica de la Lutita Arenosa Calcárea Ferruginosa	266
Fotografía N° 6: Afloramiento rocoso de la Formación Yungay	277
Fotografía N° 7: Vista Macroscópica de la Toba Dacítica de Cristales	28
Fotografía N° 8: Vista Microscópica de la Toba Dacítica de Cristales	28
Fotografía N° 9: Afloramiento Rocosos del Batolito	29
Fotografía N° 10: Vista Macroscópica del Meta Monzodiorita	310
Fotografía N° 11: Vista Microscópica del Meta Monzodiorita	31
Fotografía N° 12: Vista Macroscópica del Meta-Monzogranito.....	321
Fotografía N° 13: Vista Microscópica del Meta-Monzogranito.....	321
Fotografía N° 14: Vista Macroscópica de la Protomilonita	32



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 15: Vista Microscópica de la Protomilonita	332
Fotografía N° 16: Vista Macroscópica de la Protomilonita de Cz-Feldespató	33
Fotografía N° 17: Vista Microscópica de la Protomilonita de Cz-Feldespató	34
Fotografía N° 18: Vista Macroscópica de la Milonita	34
Fotografía N° 19: Vista Microscópica de la Milonita	354
Fotografía N° 20: Vista Macroscópica de la Lava andesítica	365
Fotografía N° 21: Vista de un Depósito Glaciárico (Q-gl)	376
Fotografía N° 22: Matriz de un Depósito Glaciárico Representativo	387
Fotografía N° 23: Vista de un Depósito Cuaternario Lacustrino	38
Fotografía N° 24: Matriz de un Depósito Cuaternario Representativo	39
Fotografía N° 25: Vista de un Depósito Cuaternario Fluvioglacial	410
Fotografía N° 26: Matriz de un Depósito Fluvioglacial Representativo	410
Fotografía N° 27: Vista de un Depósito Cuaternario Fluvial	421
Fotografía N° 28: Matriz de un Depósito Fluvial Representativo	421
Fotografía N° 29: Vista de un Depósito Cuaternario Coluvial	42
Fotografía N° 30: Matriz de un Depósito Coluvial Representativo	443
Fotografía N° 31: Vista de un Depósito Cuaternario Aluvional	454
Fotografía N° 32: Matriz de un Depósito Aluvional Representativo	454
Fotografía N° 33: Vista de la Falla de la Cordillera Blanca	554
Fotografía N° 34: Ladera de montaña moderadamente empinada, quebrada Santa Cruz	60
Fotografía N° 35: Ladera de montaña fuertemente empinada, quebrada Santa Cruz	60
Fotografía N° 36: Colinas altas moderadamente disectadas,	621
Fotografía N° 37: Colinas altas, fuertemente disectadas, quebrada Santa Cruz	632
Fotografía N° 38: Terraza fluvial, valle de Santa Cruz	632
Fotografía N° 39: Planicie Aluvional, parte posterior de la laguna Jatuncocha	63
Fotografía N° 40: Nevados Artesonraju	654
Fotografía N° 41: Nevado Pucajirca Oeste, al pie de este nevado ubicada la laguna Arhuaycocha	654
Fotografía N° 42: Vista de la zona de emplazamiento de la laguna Taullicocha	665
Fotografía N° 43: Vista de la zona de emplazamiento de la laguna Arhuaycocha	665
Fotografía N° 44: Laguna Artizón Bajo	676
Fotografía N° 45: Laguna Artizón Alto	676
Fotografía N° 46: Laguna Jatuncocha	687
Fotografía N° 47: Derrumbes locales de material cuaternario	754
Fotografía N° 48: Depósito de Caída de rocas y detritos	765
Fotografía N° 49: Erosión por flujo de lodo y detritos	766
Fotografía N° 50: Se observa una avalancha de masa glaciar, suscitada en el glaciar Pucajirca (Oeste)	776
Fotografía N° 51: Se observan bloques de hielo sobre el espejo de agua de la laguna Arhuaycocha, producto de una avalancha	787
Fotografía N° 52: Erosión Hídrica en Cárcavas	787
Fotografía N° 53: Vista Representativa de un Monte Ribereño	90
Fotografía N° 54: Vista Representativa de un Bosque Andino de Polylepis	88
Fotografía N° 55: Vista Representativa de un Pastizal	893
Fotografía N° 56: Vista Representativa de un Ambiente Acuático	893
Fotografía N° 57: Vista Representativa de un Bofedal	940
Fotografía N° 58: Zona de ingreso al canal de Desague de la Laguna Artuaycocha	101
Fotografía N° 1: Zona frontal de la laguna Artizón Alto	102
Fotografía N° 2: Laguna Artizón Bajo	102
Fotografía N° 61: Vista de conos deyección provenientes del depósito glaciar derecho de la laguna Artizón Bajo	103
Fotografía N° 3: Cauce Natural del agua proveniente de ambas lagunas, en el cual se visualiza gran cantidad de depósitos glaciares	103
Fotografía N° 63: Vista Panorámica de la laguna Taullicocha	1104
Fotografía N° 4: Vista Panorámica del Depósito Glaciar Frontal de la Laguna Arhuaycocha	105
Fotografía N° 5: Vista del Depósito Glaciar Frontal y de las Áreas Húmedas Lacustres Aguas Abajo Laguna Arhuaycocha	106
Fotografía N° 6: Vista de los Depósitos Glaciares Laterales y Frontal - Laguna Arhuaycocha	106
Fotografía N.° 67: Vista de la zona anterior de la laguna Arhuaycocha	1117
Fotografía N.° 68: Estado Actual de las Obras de Seguridad de la Laguna Arhuaycocha	1117
Fotografía N° 7, N° 8 y N° 9: Estado Actual del Canal de Desagüe de la Laguna Arhuaycocha	108
Fotografías N.° 72 y 73: Se visualiza la composición del material del talud derecho del dique de la laguna Jatuncocha	109
Fotografía N° 10, 11, 76, 77 y 78: Se visualiza la composición de los depósitos glaciares, zona izquierda posterior al dique de la laguna Jatuncocha	109

*“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”*

Fotografía	Nº	12:	Talud	izquierdo-dique	de	la	laguna	
Jatuncocha.....								110
Fotografía N.º 13, y 14: Estado de la Zona de Anterior a la Presa de Tierra (Aletas y Canal de Ingreso).....								110
Fotografía N.º 15: Se visualiza la cara posterior del dique, cubierta de vegetación, entre arbustos y plantas menores.....								111
Fotografía N.º 16: Se visualiza el revestimiento del dique de tierra, está compuesto únicamente por piedra laja acomodada, carente de mortero.....								112
Fotografías N.º 17, 18, 19 y 20: Se visualiza la zona de salida del canal de desagüe de la presa Jatuncocha, visualizándose los bloques de mampostería desprendidos del canal, a consecuencia del alud de la laguna Artizón.....								113

ANEXOS:**ANEXO A: Mapas y Planos (1:25,000)***Mapa Base**Mapa de Unidades Geológicas**Mapa de Unidades Geomorfológicas**Mapa de Unidades Geotécnicas**Mapa de Zonificación de Peligros***ANEXO B: Registro Fotográfico***Registro Fotográfico de Unidades Geológicas;**Registro Fotográfico de Unidades Geomorfológicas;**Registro Fotográfico de Procesos Geodinámicos;**Registro Fotográfico de Glaciares, Lagunas y Geoformas principales;**Registro Fotográfico de Muestras Representativas;**Registro Fotográfico de las Obras de Seguridad;***ANEXO C: Registro de Data Geotécnica y Estructural***Registro de Estaciones de Mapeo Geotécnico;**Registro Fotográfico de Estaciones de Mapeo Geotécnico**Registro de Figuras de Resultados (Rosetas) con el uso del Dips v5.0***ANEXO D: Resultados de Laboratorio***Resultados de Ensayos del Laboratorio Petrográfico*



RESUMEN EJECUTIVO

1. GENERALIDADES

1.1. Introducción

La alta recurrencia de eventos desastrosos en la Cordillera Blanca que, sumados al cambio climático global y la existencia de gran cantidad de ciudades en su área de influencias, hacen necesario la realización de estudios que permitan conocer las características de los peligros geológicos y sus consecuencias, con el fin de prevenir, minimizar o solucionar los daños que pudieran ocasionar los mismos. En ese contexto, es importante realizar una evaluación de los peligros geológicos.

El INAIGEM tiene como finalidad de este estudio la elaboración del mapa de zonificación de riesgos dentro del área de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, esta información beneficiaría a la gestión de riesgos en los centros poblados dentro del área de la subcuenca y a toda la zona de influencia de la misma.

1.2. Antecedentes

La subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, posee geoformas variadas, situación que permite que sucesos como, avalanchas, aluviones, desprendimientos de roca, deslizamientos, entre otros, sean un peligro latente; más aun considerando que, se viene experimentado una intensa actividad dinámica de los glaciares y el desarrollo acelerado de las lagunas, como consecuencia del cambio climático.

Al respecto, cabe destacar que, los nevados Pucahirca y Ranrahirca, dan origen a la laguna Arhuaycocha; el nevado Taulliraju, a la laguna Taullicocha; y el nevado Artezónraju, a las lagunas Artizón alto y Bajo; dichas lagunas, no cuentan con obras de seguridad, siendo la única que posee un canal de desagüe la laguna Arhuaycocha, sin embargo, sus características garantizan la estabilidad de su embalse.

Entre 1999 y 2000, en la laguna Arhuaycocha, se ejecutaron trabajos de seguridad, con la apertura de un tajo en el flanco izquierdo, lo cual permitió bajar su nivel en 8 m, con un decremento de volumen de 1'412,450.60 M3 (de 9'675,484.00 m3 a 8'263,333.40 m3); construyéndose en dicho tajo, 121.00 m de canal de mampostería de piedra. (ANA.UGRH, 2011)

De otra parte, en 1997, en la laguna Artizón, se produjo el deslizamiento de parte de la morrena del flanco derecho, ocasionando el represamiento y posterior desborde de la misma. El flujo aluviónico, fue depositado en el cauce de la quebrada Santa Cruz, llegando hasta la laguna Jatuncocha, la misma que, por su gran tamaño, acogió con suficiencia el volumen del flujo adicional. Dicho evento tuvo como consecuencia, únicamente, daños en un tramo del camino de herradura y la destrucción de un puente artesanal de madera. (ANA.UGRH, 2011)

El 9 de febrero de 2012, en la laguna Artizón Bajo, se produjo el rompimiento del dique morrénico, ocasionando el desborde de la laguna; producto de ello, el flujo aluviónico arrasó parte de los valles Santa Cruz y Colcas. Según información de evaluación de daños, realizado por la empresa que opera la Central Hidroeléctrica de Santa Cruz, dicha central fue dañada, consecuentemente el

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

servicio eléctrico del área de influencia colapsó; de otra parte, fueron afectados 3 viviendas, 300 metros de carretera y un 01 puente. Es de precisar que, a su paso, el flujo aluviónico ocasionó daños en el dique de seguridad, visualizándose el rompimiento de parte de la pared del canal de salida.

En 1962, en la laguna Taullicocha, como medida de seguridad, ante la existencia de zonas colgadas en la lengua glaciar, cuyo desprendimiento venía generando la elevación del nivel de la laguna, se realizaron trabajos de seguridad, ejecutando un tajo abierto, lo cual permitió disminuir el nivel del espejo de agua en 2.0 metros (de la cota 4430.0 ms.n.m a 4428.0 m.s.n.m). (ANA.UGRH, 2011)

1.3. Ubicación

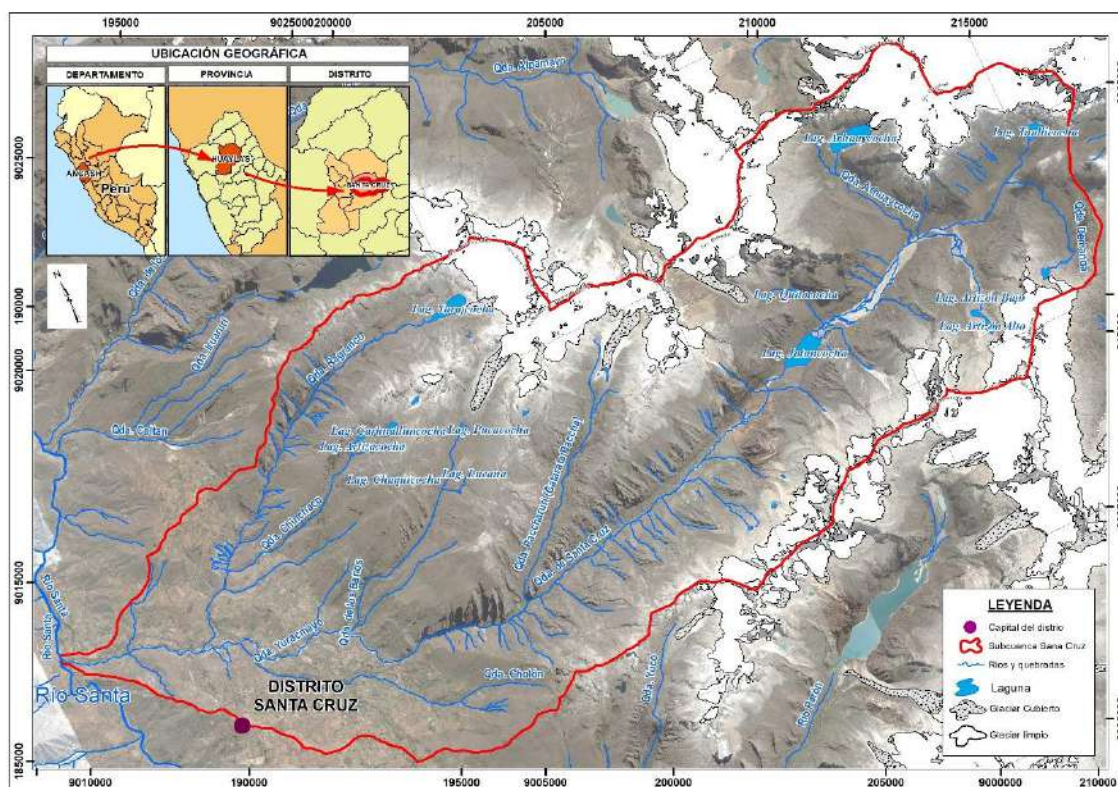
1.3.1. Geográfica

La sub cuenca Santa Cruz se localiza geográficamente entre las coordenadas UTM (Datum WGS'84, Zona L-18 Sur):

Punto 1: Coordenada Este 186764 m; Coordenada Norte: 9012705 m

Punto 2: Coordenada Este 216856 m; Coordenada Norte: 9015169 m

Figura N° 1: Ubicación Geográfica de la Zona en Estudio



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

1.3.2. Política

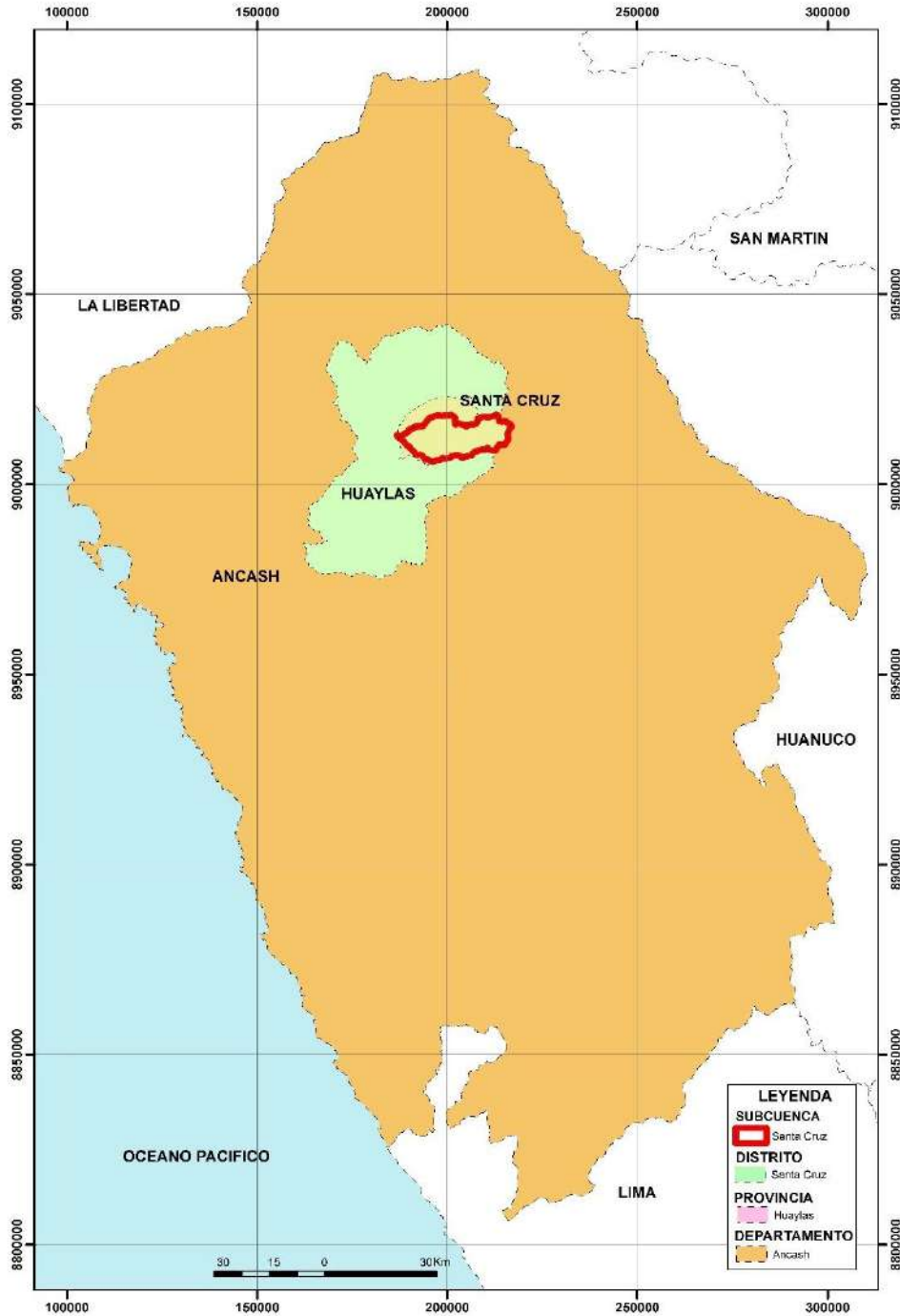
El área de estudio políticamente se ubica en:

Distrito : Santa Cruz

Provincia : Huaylas

Departamento: Ancash

Figura N° 2: Ubicación Política de la zona en estudio



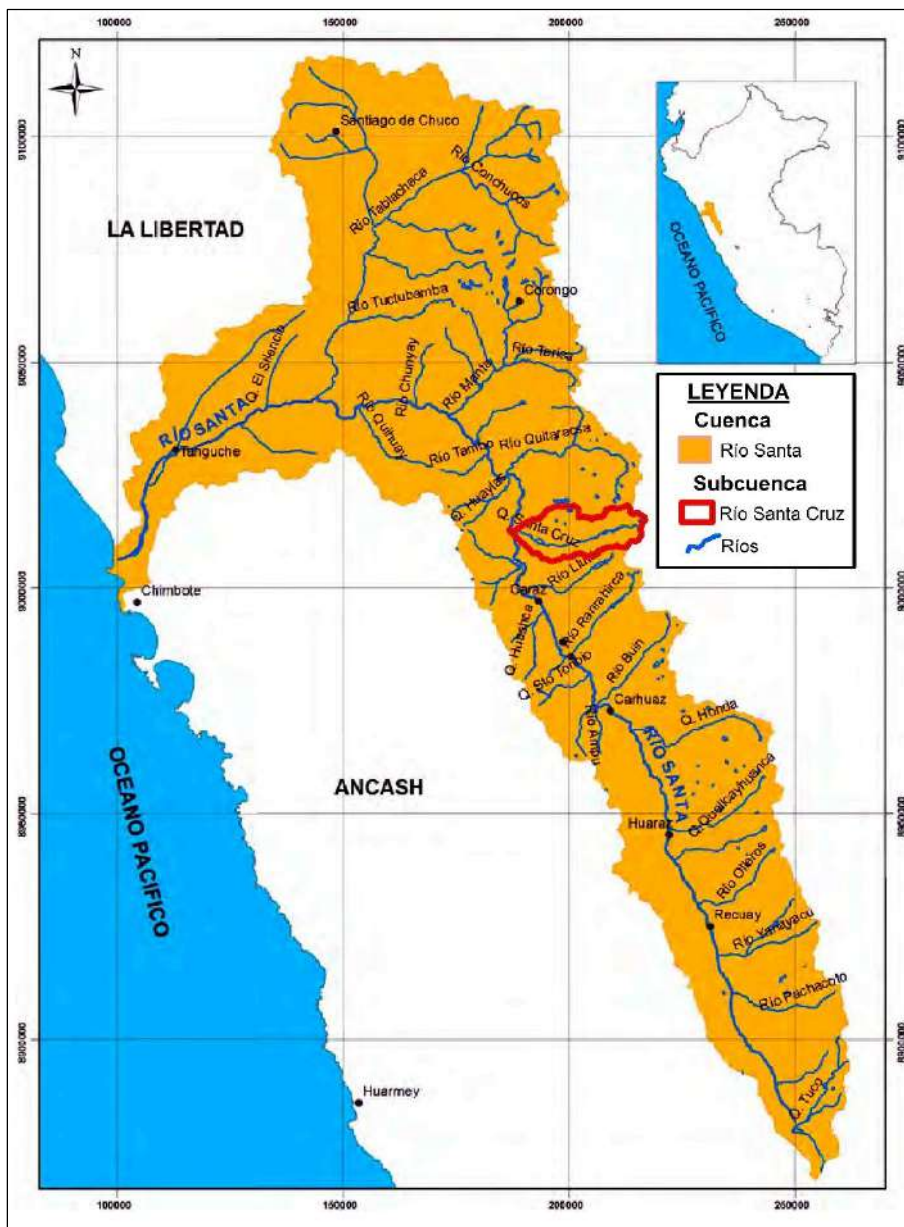
Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

1.3.3. Hidrográfica

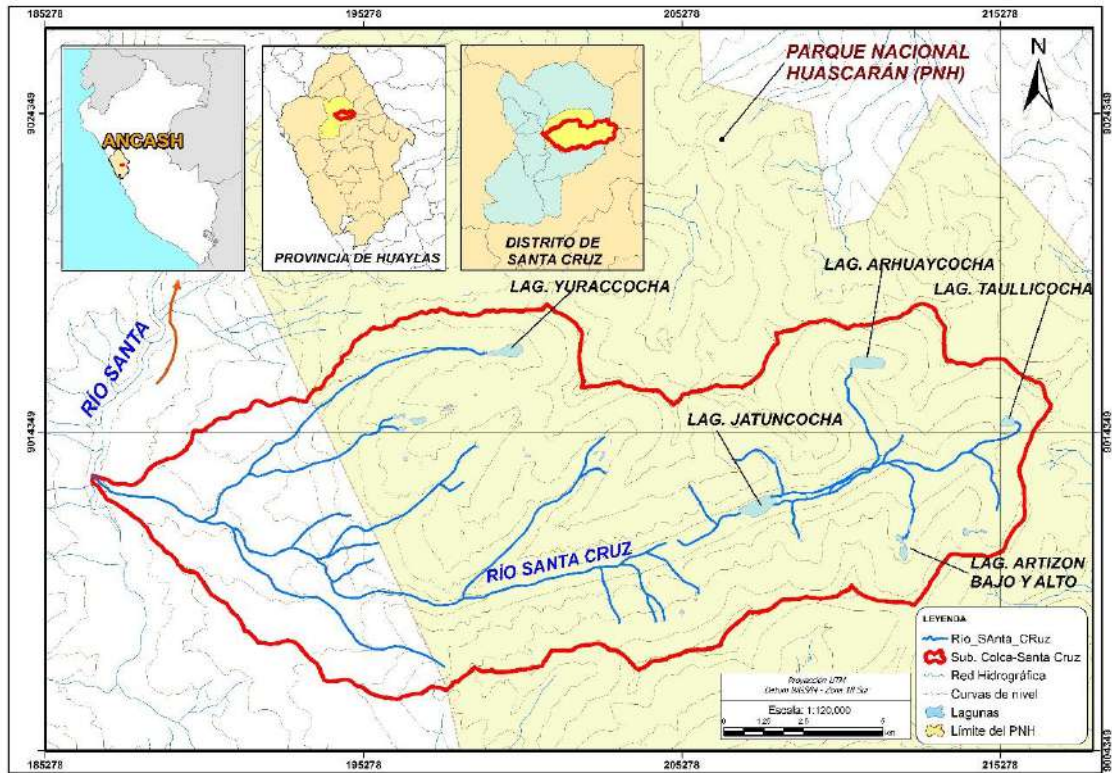
Hidrográficamente, la subcuenca de Santa Cruz, se localiza en la cuenca del río Santa, vertiente hidrográfica del Pacífico, que drena sus aguas por la margen derecha del río Santa. Se encuentra ubicada al Norte de la ciudad de Caraz. Tiene un área de 23503.260 Ha y 79.720 km de perímetro.

Figura N° 3: Ubicación Hidrográfica de la zona en estudio.



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Figura N° 4: Ubicación Hidrográfica de la Sub cuenca del Río Colcas.


Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

1.4. Accesibilidad

El acceso a la quebrada Santa Cruz se realiza partiendo desde la ciudad de Huaraz por carretera asfaltada hasta llegar a la ciudad de Caraz (67.00 Km), continuando por carretera afirmada hasta el poblado de Cashapampa (27.00Km); ya en la quebrada, se continua por un camino de herradura que atraviesa longitudinalmente la quebrada, pasando por la laguna Jatuncocha y llegando hasta la zona de Taullipampa (Zona de Campamento) en un tiempo aproximado de 8 horas; a partir de dicho punto se cuenta con caminos de herradura hacia las lagunas Arhuaycocha y Taullicocha; no obstante, no existe camino definido hacia las lagunas Artizón Alto y Bajo, situación que hace que su ascenso sea dificultoso. (Ver Tabla N°1).

Tabla N° 4: Acceso a la Subcuenca Colcas, Quebrada Santa Cruz.

Descripción de la Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo (horas)	Medio de Transporte
Huaraz - Caraz	Carretera Asfaltada	67.0	1:30	Vehículo
Caraz - Cashapampa	Carretera Afirmada	27.0	1:10	Vehículo
Cashapampa- Campamento Taullicocha	Camino de Herradura	22.0	8:00	A pie
TOTAL		116	10:40	

Fuente: INAIGEM, Setiembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

1.5. Objetivos

1.5.1. Generales

Identificar el nivel de peligro en la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, en base la estimación de volúmenes de masas glaciares colgantes, estudio geológico, geomorfológico, geodinámico, geotécnico y estado de las obras de seguridad que se emplazan en ella.

1.5.2. Específicos

- Elaborar los mapas Geológico, Geomorfológico, Geodinámico y Geotécnico a escala 1: 25 000.
- Sistematizar la información, zonificando el peligro en base a la valoración de parámetros específicos, cuya superposición quedará plasmada en el mapa final de peligro de la subcuenca.

1.6. Justificación

El mapeo, caracterización e identificación del nivel de peligrosidad en la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, es parte fundamental de la evaluación del riesgo en ella, lo cual es justificado por la necesidad de generar información consistente y apropiada que permita conocer las características físicas y el posible comportamiento del material que conforman las laderas de la subcuenca; a fin de proponer medidas de prevención y ser comunicadas a los entes competentes para su ejecución.

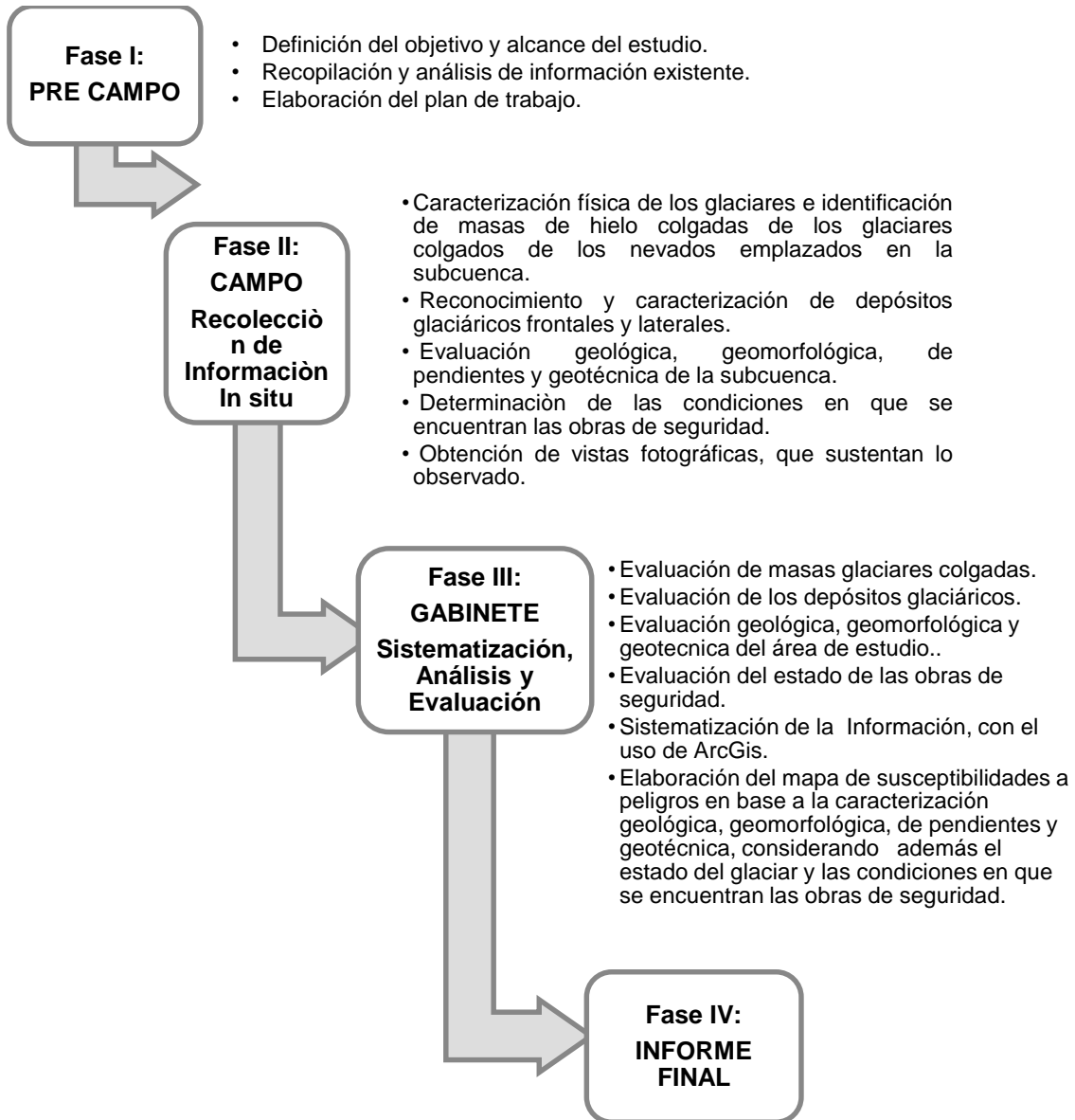
Cabe destacar que, la estimación de volúmenes de masas glaciares colgantes, estudio geológico, geomorfológico, geodinámico, geotécnico e hidrológico, se realiza con fines de modelamiento; consecuentemente la información generada como resultado de dichos estudios, permitirá determinar posteriormente, el nivel de riesgo y una adecuada gestión local, beneficiando a los centros poblados que se emplazan en el área de influencia de la subcuenca, provincia de Huaylas.

1.7. Metodología

La metodología empleada en la evaluación de peligros de la subcuenca, se basa en la recopilación de información previa, obtención de información basada en la inspección in situ, y la sistematización y procesamiento de dicha información, obteniéndose como resultado el mapa de susceptibilidad a peligros en base a la caracterización geológica, geomorfológica, de pendientes y geotécnica, considerando además el estado del glaciar y las condiciones en que se encuentran las obras de seguridad. Según detalle siguiente:

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Figura N° 5: Metodología para la Evaluación de Peligros Subcuenca del Río Colcas, Quebrada Santa Cruz



Fuente: INAIGEM 2017

A continuación, se detalla las fases del desarrollo de los trabajos:

1.7.1. Fase I - Pre Campo

1.7.1.1. Definición del Objetivo y Alcance del Estudio

En esta etapa se establece y define los objetivos y alcances del estudio de acuerdo al nivel de ejecución; entre los objetivos del presente estudio se encuentra la determinación de las condiciones de peligrosidad de las lagunas que se emplazan en la subcuenca, desde el punto de vista glaciológico, geológico-geotécnico y volúmenes de agua.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

1.7.1.2. Recopilación y Análisis de la Información Existente

Esta etapa consiste en la recopilación y análisis de la información existente, correspondiente a la subcuenca en estudio, así como lagunas y glaciares que se emplazan en ella, a fin de realizar un análisis y tener conocimiento previo de las condiciones glaciológicas, geológicas, geomorfológicas, geotécnicas e hidrológicas del entorno de las lagunas, y del estado de las obras de seguridad que se emplazan en ellas.

La información útil a recopilar comprende:

- ✓ Información cartográfica (mapas topográficos digitales del IGN a escala 1:100000, 1: 50 000 y 1: 25 000 e imágenes satelitales
- ✓ Mapa base utilizando cartas topográficas del IGN.
- ✓ Fotografías aéreas, imágenes de satélite impresas y digitales de alta resolución.
- ✓ Mapas geológicos, existentes para la elaboración de mapas litológicos y definición de movimientos en masas existentes en el área de estudio.
- ✓ Informes de inspecciones anteriores, entre otros.

En ese contexto, los conocimientos que se obtengan con la información preliminar, sirven de base para una adecuada planificación del trabajo, para el logro de los objetivos.

1.7.1.3. Elaboración del Plan de Trabajo

El equipo técnico formula el plan de trabajo, considerando las características de la zona de estudio, y los requerimientos necesarios para el cumplimiento de los objetivos.

El plan de trabajo debe ser aprobado por el área responsable.

1.7.2. Fase II - Campo

1.7.2.1. Recolección de información In situ

Esta etapa consiste en la recopilación de información, que permite efectuar la caracterización física de los glaciares e identificar masas de hielo inestables con probabilidad de generar avalanchas; se efectúa el reconocimiento de los depósitos glaciáricos.

Es fundamental la evaluación geológica, geomorfológica, de pendientes y geotécnica de la subcuenca, así como la identificación de masas de hielo colgadas, la estimación de su volumen y la evaluación del estado de las obras de seguridad.

El trabajo de campo es complementado con vistas fotográficas, que sustentan lo observado.

*“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”***1.7.3. Fase III – Gabinete****1.7.3.1. Sistematización, Análisis y Evaluación**

En esta etapa se sistematiza o procesa toda la información obtenida en campo, información que corresponde a la caracterización de la subcuenca, considerando además el estado del glaciar y las condiciones en que se encuentran las obras de seguridad. Producto de la sistematización de la información, se desarrollan los mapas temáticos de geología, geomorfología, pendientes y geotecnia, cuya superposición nos permite determinar los niveles de peligro a lo largo de toda la subcuenca, para lo cual se toma en cuenta la Tabla de Valoración de Peligros, según detalle.

Tabla N° 5: Valoración de Niveles de Peligro

VALORACIÓN DEL PELIGRO	GEOLOGÍA (Erosionabilidad)	GEOTECNIA (Nivel de Competencia)	PENDIENTE	GEOMORFOLOGÍA (Erosionabilidad)
0	Muy Baja	Muy alta	Muy Baja	Muy Baja
1	Baja	Alta	Baja	Baja
3	Media	Media	Media	Media
6	Alta	Baja	Alta	Alta
10	Muy Alta	Muy baja	Muy Alta	Muy Alta

Fuente: INAIGEM – Diciembre 2017

Es de precisar que, la valoración de cada uno de los parámetros (geología, geotecnia, pendiente y geomorfología), se realiza teniendo en cuenta los aspectos que se detallan a continuación:

Geología

Habiéndose identificado las unidades geológicas, se procede a establecer el grado de erosionabilidad del material, de acuerdo a la Tabla N° 3: Grado de Erosionabilidad

Tabla N° 6: Grado de Erosionabilidad

Tipo de Material	Simbología	Grado de Erosionabilidad
Roca compacta	Nm_bcb	Muy baja
Roca Fracturada/Roca Meteorizada/Alterada	Ns-pa	Baja
Roca Meteorizada/Alterada - Cuaternario glaciárico / Cuaternario Fluvio glaciárico, Lacustrino	PN-vca; Q-gl1; Q-gl2	Media
Cuaternario Aluvional, Aluvial y Fluvio glaciárico	Js-ch, Q-al, Q-alv; Q-fg, Q-gl3	Alta
Cuaternario Coluvial, Fluvial, Lacustrino	Q-co, Q-fl, Q-la	Muy alta

Fuente: INAIGEM – Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Geotecnia

Se analizan el nivel de competencia del material (suelo y roca), teniendo en cuenta la resistencia del material, basada en información obtenida en campo.

Tabla N° 7: Nivel de Competencia de Suelos y Rocas

MATERIAL AFLORANTE		
Color	DESCRIPCIÓN	NIVEL DE COMPETENCIA
R-I	Roca de muy alta resistencia	Muy alta
R-II	Roca de alta resistencia	
R-III	Roca de resistencia media	Alta
R-IV	Roca de baja resistencia	
R-V	Roca de muy baja resistencia	Media
S-I	Suelo de muy alta resistencia	
S-II	Suelo de alta resistencia	Baja
S-III	Suelo de resistencia media	
S-IV	Suelo de baja resistencia	Muy baja
S-V	Suelo de muy baja resistencia	

Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017

Pendiente

La determinación del nivel de pendiente está basada en el % de pendiente de la ladera; según detalle de Tabla N° 5, Niveles de Pendiente.

Tabla N° 8: Niveles de Susceptibilidad

Pendiente %	Descripción	NIVEL DE SUSCEPTIBILIDAD
< 4	Plano a ligeramente inclinada	Muy Baja
<4 - 25]	Moderadamente inclinada / Fuertemente inclinada /Moderadamente empinada	Baja
<25 - 50]	Empinada	Media
<50 - 75]	Fuerte empinada	Alta
> 75	Extremadamente empinada	Muy Alta

Fuente: INAIGEM – Diciembre 2017

Geomorfología

El aspecto geomorfológico es evaluado en base a las geoformas presentes en una determinada área. Según Tabla N° 6: Geoformas.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Tabla N° 9: Geoformas

VALORACIÓN	Simbología	GEOFORMAS (Geomorfología)	
		Relieve Montañoso	Relieve Colinoso
Muy baja	Rm-lbr, Rc-lbr	Con laderas bajas en roca / En fondo de valle glaciar	Con laderas bajas en roca.
Baja	Rc-lmr, Rm-lmr	Con laderas medias en roca	Con laderas medias en roca / En fondo de valle glaciar
Media	Rc-lar, Rm-fvg, Rm-lar, Rm-lbs	Con laderas altas en roca / Con laderas bajas en suelo / En fondo de valle glaciar	Con laderas altas en roca.
Alta	Rc-las, Rc-lbs, Rc-lms, Rm-lms	Con laderas medias en suelo	Con laderas altas en suelo, con ladera media en suelo, con ladera baja en suelo.
Muy alta	Rm-las	Con laderas altas en suelo	-

Fuente: INAIGEM – Diciembre 2017

De acuerdo a los parámetros descritos en un área determinada, se asigna una valoración por cada aspecto evaluado, los cuales, al ser acumulados, nos dan una valoración final (Valor Suma); según detalle de la Tabla N° 7: Resumen de Valoración de Peligros.

Tabla N° 10: Valoración de Peligros por Área

Aspecto	Geología	Geotecnia	Pendiente	Geomorfología	Valor Suma
Valoración asignada a una determinada área.					

Fuente: INAIGEM – Diciembre 2017

Finalmente, con el Valor_Suma, y usando la Tabla N° 8, se determinan los niveles de peligro de las diferentes áreas de la subcuenca, los cuales son plasmados en el mapa final de peligros del área estudiada.

Tabla N° 11: Valoración de Peligros Final

VALORACIÓN FINAL	NIVEL DE PELIGRO
0	Muy bajo
1 - 4	Bajo
5 - 12	Moderado
13 - 24	Alto
25 - 40	Muy alto

Fuente: INAIGEM – Diciembre 2017

1.7.4. Fase IV – Informe Final

Durante esta fase, se elabora el informe final que comprende la descripción geológica, geomorfológica, de pendientes y geotécnica, considerando además el estado del glaciar y las condiciones en que se encuentran las obras de seguridad que se emplazan en el entorno; información que es plasmada, además, en el mapa de susceptibilidad a peligros de la subcuenca.

Para un mejor entendimiento, en esta etapa se elaboran, además, cuadros, figuras, descripción de fotografías ilustrativas, mapas temáticos, entre otros.



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1. Introducción

La zona de estudio presenta en su estratigrafía una secuencia sedimentaria que data de la edad del Jurásico, compuesta por una intercalación de lutitas y areniscas que corresponden a la Formación Chicama, afectada por procesos de vulcanismo intrusivo, que corresponde al Batolito de la Cordillera Blanca y el emplazamiento de rocas volcánicas de la Formación Yungay con edad Mioceno-Plioceno, sobre este basamento rocoso encontramos los depósitos cuaternarios.

2.2. Geología Regional

La Subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz presenta rocas de origen sedimentario del Jurásico superior, que afloran en las partes, baja, media y alta, del área de estudio; esta unidad geológica se compone de intercalación de areniscas y lutitas; asimismo se tienen afloramientos de unidades ígneas intrusivas, en la parte media y alta de la subcuenca. La litología se compone de granodioritas y tonalitas, con edad del Neógeno medio. En la parte baja y media del área en estudio afloran rocas volcánicas de la formación Yungay, constituidas principalmente de tobas blancas cristalinas y secuencias de piroclastos, que pertenecen a la actividad volcánica del Terciario, con edades de Mioceno Plioceno.

Como resultado de la evaluación geológica regional se ha identificado nueve unidades geológicas en superficie como se resumen en la Tabla N° 9. Así mismo, estas unidades han sido identificadas en el estudio de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz y se muestran en la Figura N° 7, Mapa de Unidades Geológicas a escala 1:25 000.

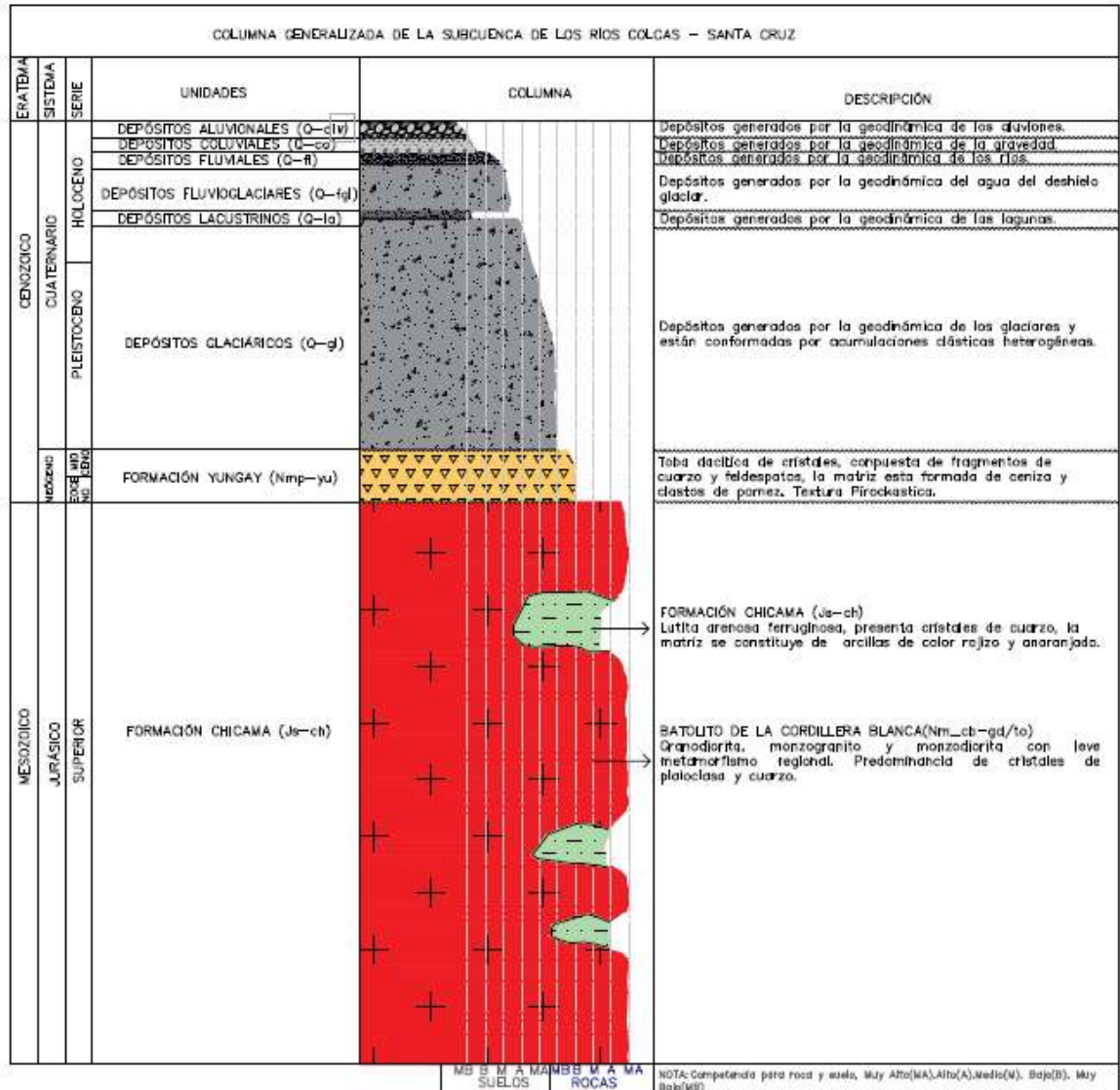
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Tabla N° 12: Unidades Geológicas Identificadas en el Estudio de la Subcuenca del Río Colcas – Quebrada Santa Cruz y su Relación con la Superficie que Ocupa.

Ítem	Unidades Geológicas	Símbolo	Características Principales	Superficie	
				Ha	%
1	Depósitos Aluvionales	Q-alv	Constituyen los depósitos generados por acción de los aluviones ocurridos en diferentes épocas; conformada por una mezcla heterogénea de bolones, gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas, así como limos y arcillas.	182,21 Ha	0,78%
2	Depósitos Coluviales	Q-co	Constituyen los depósitos generados por la acción de la gravedad y conformados por material generalmente grueso, de naturaleza homogénea y heterométricos, mezclados con materiales finos como arena, limo y arcilla en menor proporción.	23,66 Ha	0,10%
3	Depósitos Fluviales	Q-fl	Constituyen los depósitos generados por la acción de los ríos, conformados por cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y arenolimosos.	121,42 Ha	0,52%
4	Depósitos Fluvioglaciares	Q-fg	Constituyen los depósitos generados por el movimiento en masa fluidificado por el agua, ya que el contenido de agua en la masa es tan alto que llega a comportarse como un fluido.	1 118,59 Ha	4,80%
5	Depósitos Lacustrinos	Q-la	Constituyen los depósitos acumulados en un ambiente lagunar. Estos depósitos se encuentran, dispuestos en bancos sub horizontales constituidos por material fino areno arcilloso.	170,81 Ha	0,73%
6	Depósitos Glaciáricos	Q-gl	Constituyen los depósitos generados por la acción geodinámica del glaciar y conformados por acumulaciones clásticas muy heterogéneas.	5 112,88 Ha	21,93%
7	Batolito de la Cordillera Blanca	N-cb/gd,to	Granodiorita/Tonalita metamorizadas, con minerales esenciales de ferromagnesianos, plagioclasas y cuarzo y con una orientación de foliación definida.	14 973,26 Ha	64,22%
8	Grupo Calipuy	PN_vca	Tobas de cristales y cristalolíticas intercaladas con coladas volcánicas de composición andesítica y algunos piroclastos.	514,55	2,21%
9	Grupo Yungay	Nmp-yu	Toba dacítica de cristales, compuesta de fragmentos de cuarzo y feldespatos, la matriz está formada de ceniza y clastos de pómez. Textura piroclástica.	445,04 Ha	1,91%
10	Formación Chicama	Js-ch	Se tiene estratos de areniscas intercaladas con estratos de lutitas oscuras.	654,90 Ha	2,81%

Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

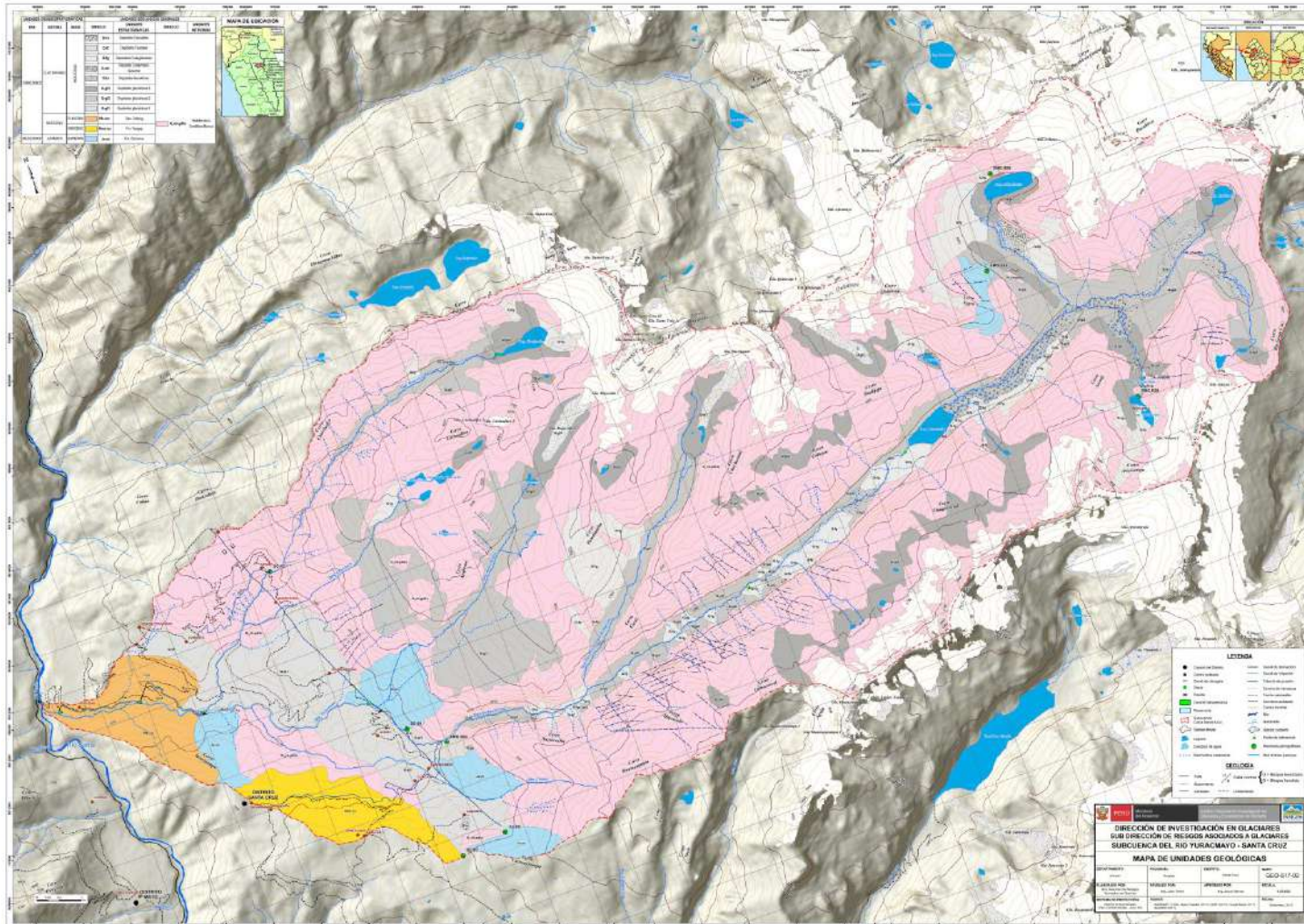
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
Figura N° 6: Columna Geológica Generalizada en el Estudio



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Figura N° 7: Mapa de Unidades Geológicas del Área de Estudio



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

2.2.1. Unidades Geológicas

Jurásico Superior

2.2.1.1. Formación Chicama (Js-ch)

(INGEMMET, 1995), indica que es una intercalación de estratos de lutitas gris oscuro y areniscas finas blanquecinas de un grosor considerable que afloran en gran parte de la Cordillera Blanca, sobre todo en su flanco oriental. Esta unidad geológica es la base de la estratigrafía de la sub cuenca, no obstante, se infiere la presencia del Grupo Pucará como la formación geológica más antigua. Los afloramientos rocosos han sido afectados estructuralmente por el tectonismo del Batolito de la Cordillera Blanca.

Durante el reconocimiento de campo, esta unidad geológica aflora en la parte baja de la subcuenca, al sureste del poblado de Colcas y en el margen izquierdo del río Santa Cruz (bocatoma de la Central Hidroeléctrica Santa Cruz), donde afloran estratos gruesos de arenisca cuarzosa intercalada con estratos delgados de lutitas negras. En la parte media de la subcuenca al este del poblado de Cashapampa, se tiene lutitas de color gris oscuro con intercalación de capas delgadas de arenisca; también aflora en la parte alta, en el flanco derecho de la quebrada Arhuay donde se encontró estratos de arenisca gris con leve metamorfismo de contacto por el intrusivo del Batolito de la Cordillera Blanca (Ver fotografía N° 1).

Fotografía N° 21: Afloramiento rocoso de la Formación Chicama



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Esta unidad geológica se caracteriza por la presencia de un **Hornfels de Biotita**, cuyo protolito podría ser una grauvaca feldespática (muestra EMG-S08) y de una **Lutita Arenosa Calcárea Ferruginosa** (muestra SC-09), que se intercalan con delgados niveles de calizas grises corroborado por los resultados de los ensayos petrográfico a nivel macroscópico y microscópico (Ver Anexo D, Resultados del Laboratorio Petrográfico).

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Tabla N° 13: Tabla Resumen de Ubicación y Litología de la Muestra Representativa de la Formación Chicama

ITEM	CÓDIGO	COORDENADAS		TIPO DE ROCA
		ESTE	NORTE	
FORMACIÓN CHICAMA (Js-ch)				
1	EMG-S08	209,987.0	9,014,857.0	HORNFELS DE BIOTITA (PROTOLITO: POSIBLE GRAUVACA FELDESPÁTICA)
2	SC-09	194,283.0	9,009,664.0	LUTITA ARENOSA CALCÁREA FERRUGINOSA

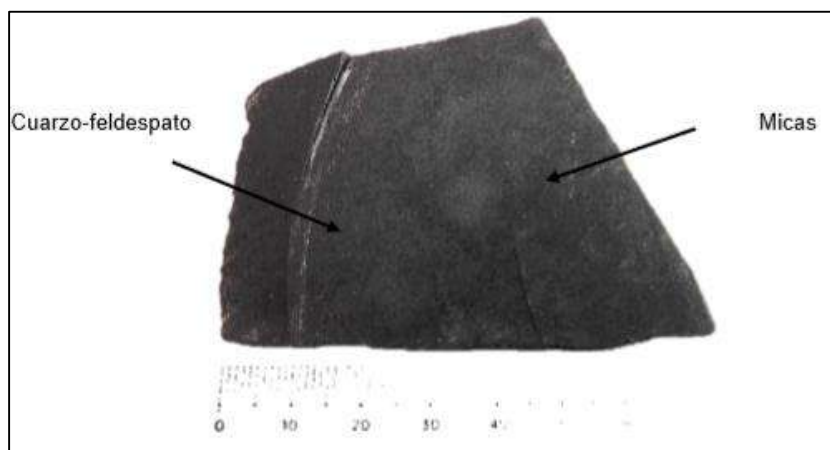
A continuación, se realizará un breve resumen de los resultados de las muestras que corresponden a esta unidad geológica formación Chicama, tenemos:

Muestra EMG-S08

Hornfels de Biotita, cuyo protolito posible sería una Grauvaca Feldespática.

Macrocópicamente, se tiene una roca metamórfica de grano fino, de color gris oscuro. Está conformada principalmente por cuarzo y feldespato, presentando micas oscuras en forma de bandas. Presenta una densidad media y no tiene magnetismo.

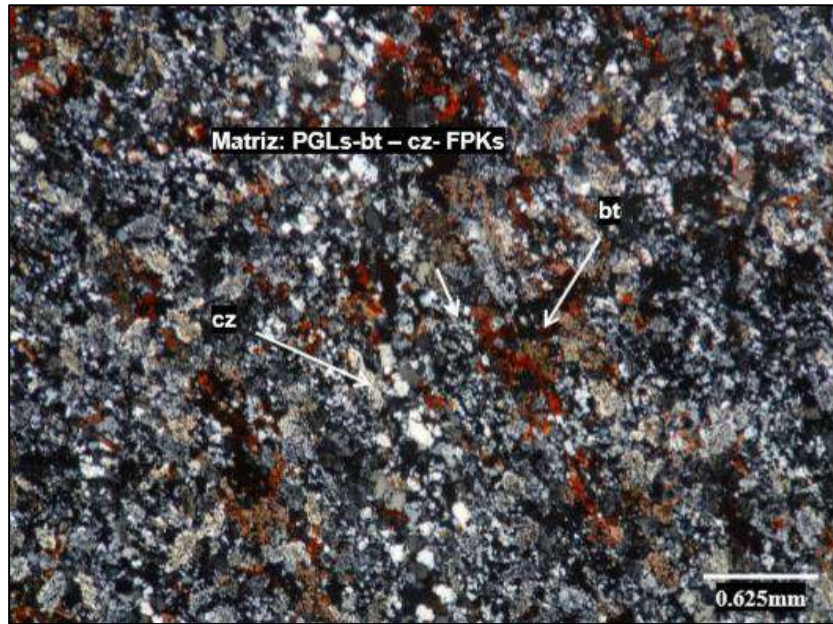
Fotografía N° 22: Vista Macrocópica del Hornfels de Biotita



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Microscópicamente, es una roca metamórfica no foliada, compuesta por una fábrica de blastos de plagioclasas y biotita. Están inmersos en una matriz de textura granoblástica conformada por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita. Los minerales opacos se encuentran diseminados en toda la muestra y rellenando intersticios.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
Fotografía N° 23: Vista Microscópica del Hornfels de Biotita



Fotomicrografía N° 3.2.1 Matriz compuesta por plagioclasa (PGLs) – cuarzo (cz) feldespato potásico (FPKs).
Fotomicrografía en LT-NX.
Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Muestra SC-09
Lutita Arenosa Calcárea Ferruginosa

Macroscópicamente, es una roca sedimentaria de color rojiza constituida por clastos cuarzo I, subredondeadas con fragmentos de minerales opacos disperso en una matriz arcillosa de tonos rojizos y anaranjados. Presenta densidad media y no tiene magnetismo.

Fotografía N° 24: Vista Macroscópica de la Lutita Arenosa Calcárea Ferruginosa



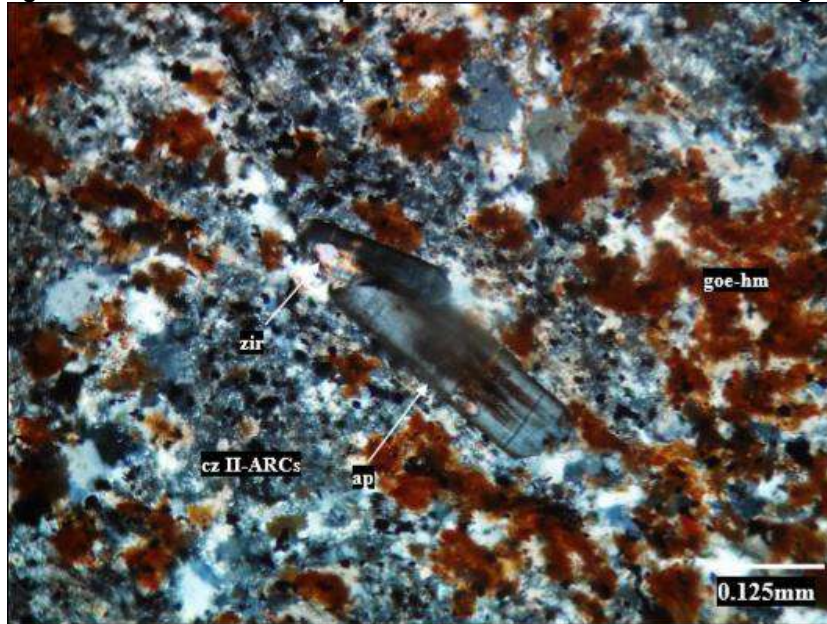
Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Microscópicamente, es una roca sedimentaria con textura lutítica conformada por granos de cuarzo I de formas redondeadas y fragmentos subangulosos de sílice amorfa soportadas por una matriz de cuarzo II intercrecida con arcillas. Están cementadas por carbonatos y limonitas. Los carbonatos forman una textura en corona en fragmentos de sílice amorfa y están diseminados en agregados en la matriz. Las limonitas se presentan en agregados y venillas (goethita, hematita) junto con jarosita por sectores de la roca. Por último, se notan venillas de cuarzo III hidrotermal junto con patinas de limonitas y

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

carbonatos. También se reconoce de cristales prismáticos de apatito con inclusiones de zircones en la muestra.

Fotografía N° 25: Vista Microscópica de la Lutita Arenosa Calcárea Ferruginosa



Fotomicrografía N° 1 Cristal de apatito (ap) con inclusiones de zircón (zir) en una matriz de cuarzo II (cz II) y arcillas (ARCs) con pátinas de limonitas (goe-hm), Fotomicrografía en LT-NX.
Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Los afloramientos rocosos de la Formación Chicama se extienden en un área de 654,90 hectáreas, lo que representa el 2.81% del área total de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz.

Neógeno:

2.2.1.2. Formación Yungay (Nmp-yu)

El (INGEMMET, 1995) indica que es una secuencia de rocas piroclásticas localizadas en la parte baja del río Colcas-Santa Cruz y que forma parte del valle del río Santa (Yungay). La litología predominante consiste en tobas blancas, friables, pobremente estratificadas, compuestas de abundantes cristales de cuarzo y biotita en una matriz feldespática, así como ignimbritas dacíticas. Algunas dataciones radiométricas tipo K-Ar de muestras de la Formación Yungay, han dado como resultados de 5.8 a 7.8 M.A. (INGEMMET, 1967), el cual corresponde a edades de Mioceno y Plioceno.

La Formación Yungay se encuentra distribuida en la parte baja de la subcuenca Santa Cruz aproximadamente desde el poblado de Cashapampa hasta la confluencia con el río Santa. La litología que presenta se compone de tobas blancas vítrea cristalina con cristales de cuarzo, biotita con matriz de feldespatos. Estas rocas volcánicas están en contacto con las rocas sedimentarias de la formación Chicama en la margen izquierda de la bocatoma de la Central Hidroeléctrica Santa Cruz, al sureste del poblado de Colcas. Ver Fotografía N° 6.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 26: Afloramiento rocoso de la Formación Yungay



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

La Formación Yungay, dentro de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, ocupa un área aproximada de 445,04 hectáreas, lo cual representa el 1,91% del área total de la subcuenca.

Esta unidad geológica se caracteriza por la presencia de una Toba Dacítica de Cristales (Muestra SC-03), que se intercalan con delgados niveles de lavas andesitas en algunos afloramientos. La presencia de los piroclásticos está corroborada por el resultado del ensayo petrográfico a nivel macroscópico y microscópico (Ver Anexo D, Resultados del Laboratorio Petrográfico).

Se muestra la Tabla N° 11, Tabla Resumen donde se tiene la ubicación y el tipo de roca de la muestra extraída y ensayada en el Laboratorio Petrográfico.

Tabla N° 14: Tabla Resumen de Ubicación y Litología de la Muestra Representativa de la Formación Yungay

ITEM	CÓDIGO	COORDENADAS		TIPO DE ROCA
		ESTE	NORTE	
FORMACIÓN YUNGAY (Nmp-yu)				
1	SC-03	194,499.0	9,006,571.0	TOBA DACÍTICA DE CRISTALES

Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

A continuación, se realizará un breve resumen de los resultados de las muestras que corresponden a esta unidad geológica formación Yungay.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Muestra SC - 03:

Toba Dacítica de Cristales

Macroscópicamente, se tiene una roca ígnea volcánica de color gris claro; presenta textura piroclástica y está conformada por fragmentos de cuarzo y feldespatos; la matriz está formada por ceniza volcánica con fragmentos de pómez y sulfuros; presenta patinas de óxidos de hierro rellenando algunas oquedades; su densidad es baja y no tiene magnetismo. La muestra corresponde a una Toba Dacítica de Cristales. Ver Fotografía N° 7.

Fotografía N° 27: Vista Macroscópica de la Toba Dacítica de Cristales

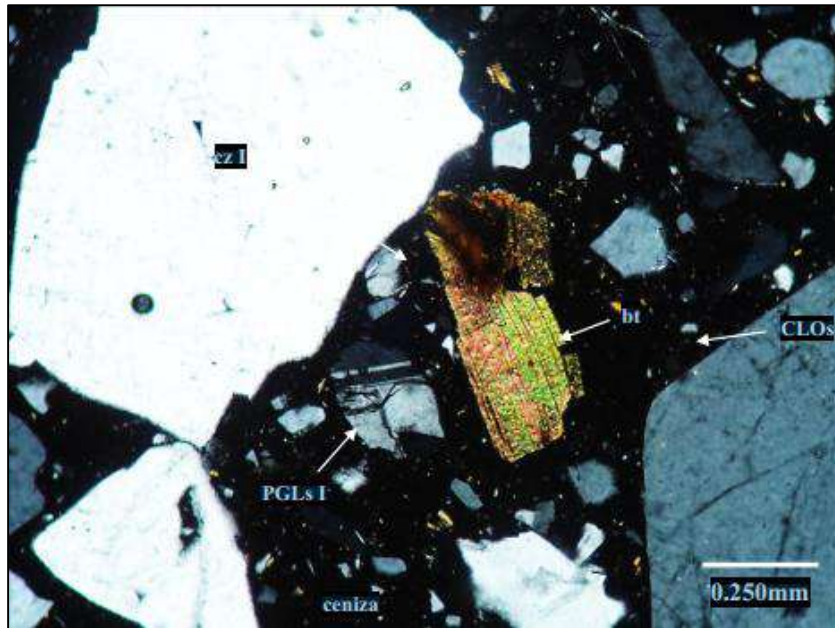


Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Microscópicamente, es una roca ígnea volcánica de textura piroclástica constituida por cristales fragmentados de cuarzo I, plagioclasas I, feldespato potásico y agregados escamosos de biotita; la matriz es criptocristalina, formada por ceniza acompañada con fragmentos de cristales y pómez; también contiene impregnaciones de óxidos de hierro. Al final, los minerales opacos son escasos y están dispersos en la roca. Fotografía N° 8.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 28: Vista Microscópica de la Toba Dacítica de Cristales



Fotomicrografía en LT-NX. Cristales de cuarzo I (cz I), plagioclasas I (PGLs I) y biotita (bt) con bordes corroídos por la matriz, la cual está compuesta por ceniza y fragmentos cristalinos.
Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

2.2.1.3. Batolito de la Cordillera Blanca

El batolito de la Cordillera Blanca está ubicado en la parte central de la Cordillera Occidental, con un rumbo paralelo a las estructuras regionales, alcanzando una longitud de 200 Km. y una anchura entre 12 - 15 Km; la litología predominante en ella, es granodiorita/tonalita de grano grueso.

Por otro lado, las edades obtenidas por el método K/Ar en el Batolito de la Cordillera Blanca, corresponde al Mio-Plioceno, variando entre los 16 a $2,7 \pm 0.4$ M.A. con una agrupación de 9 M.A. (Stewart et al, 1974). (INGEMMET, 1995).

Dentro del área en estudio, las rocas ígneas del batolito de la Cordillera Blanca, se extienden desde la parte media hasta la cabecera de la subcuenca; los afloramientos de esta unidad presentan en mayor parte tonalitas de grano grueso, excepto en la portada de ingreso a la quebrada Santa Cruz, donde encontramos un tramo del afloramiento del intrusivo, presenta bandeamiento producto de un leve metamorfismo. Ver Fotografía N° 9.

Fotografía N° 29: Afloramiento Rocoso del Batolito



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

El Batolito de la Cordillera Blanca, es la unidad geológica con mayor extensión dentro de la subcuenca Santa Cruz, ocupa un área aproximada de 14 973,26 hectáreas, lo cual representa el 64.22% del área total de la subcuenca.

Habiéndose realizado el muestreo en la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, se presenta la información general, y los resultados de la descripción macroscópica y microscópica, según detalle.

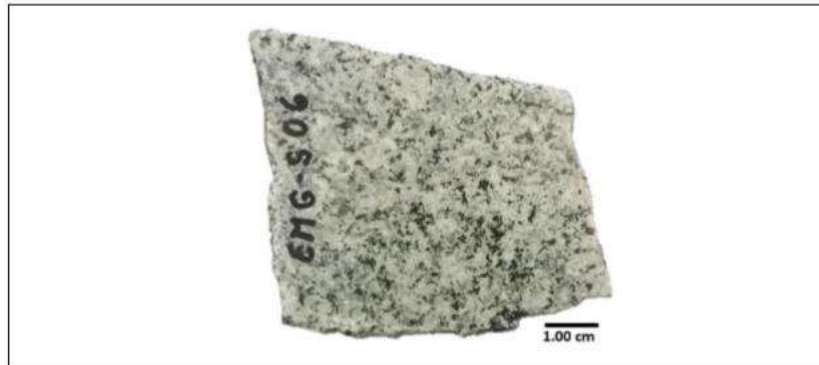
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Muestra EMG - S06

Meta Monzodiorita con Cuarzo de un probable Protolito: Monzodiorita con Cuarzo

Macroscópicamente, se tiene una roca metamórfica compacta no foliada de color gris claro con tonalidades verdosas. Se encuentra compuesto por cristales de plagioclasas, feldespatos potásicos, blastos de cuarzo y ferromagnesianos (anfíboles y biotita). No presenta magnetismo.

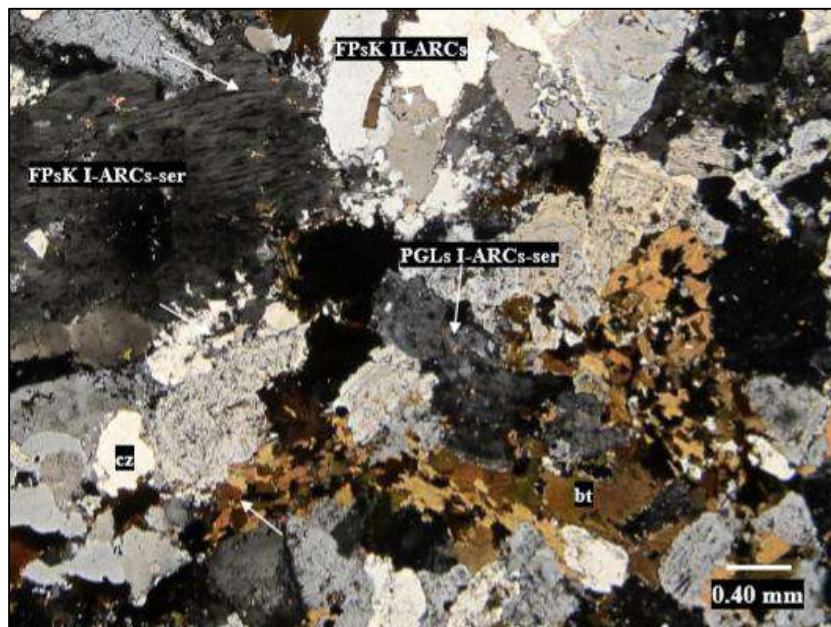
Fotografía N° 30: Vista Macroscópica del Meta Monzodiorita



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Microscópicamente, se tiene una roca metamórfica con textura porfidoblástica, la cual se encuentra formada por cristales de plagioclasas I y feldespatos potásicos I, además de blastos de biotita y anfíboles, dispuestos en una matriz microcristalina granoblástica de cuarzo, plagioclasas II y feldespatos potásicos II. Asimismo, se aprecian minerales accesorios como apatito y zircón. Los minerales opacos ocurren diseminados en la muestra y asociados a ferromagnesianos. Ver fotografía N° 11.

Fotografía N° 31: Vista Microscópica del Meta Monzodiorita



Fotomicrografía en LT-NX: Cristales de Feldespato Potásico I alterados a arcillas y sericita (FPsk I-ARCs-ser) y plagioclasas I alterados a arcillas y sericita (PGLs I-ARCs-ser) dispuestos en una matriz de microblastos de cuarzo (cz) y feldespatos potásicos II alterados a arcillas (FPsk II-ARCs).

Fuente: INAIGEM, junio 2017.

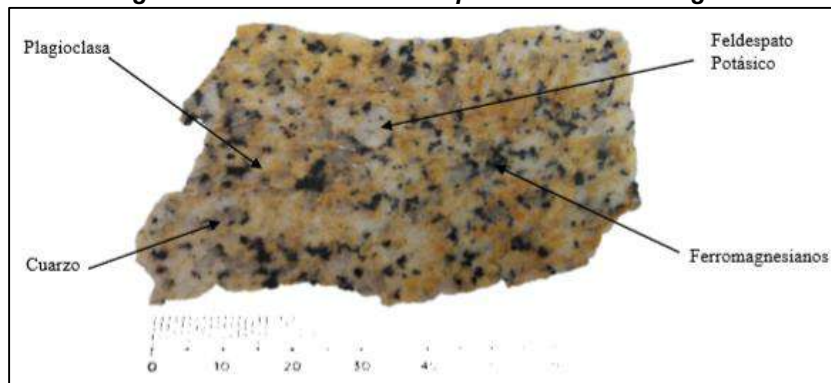
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Muestra EMG – S28

Meta-Monzogranito con un protolito: Monzogranito

Macroscópicamente, se tiene una roca ígnea intrusiva compacta, de color blanco con tinte pardusco, con textura fanerítica de grano fino a medio. Conformada por plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y biotita. Por sectores presenta agregados irregulares de pirita, finas venillas de óxidos de hierro (limonita) la cual además tiñe la muestra. Presencia de arcillas y sericita diseminadas en la muestra. Los cristales están orientados y no presenta magnetismo.

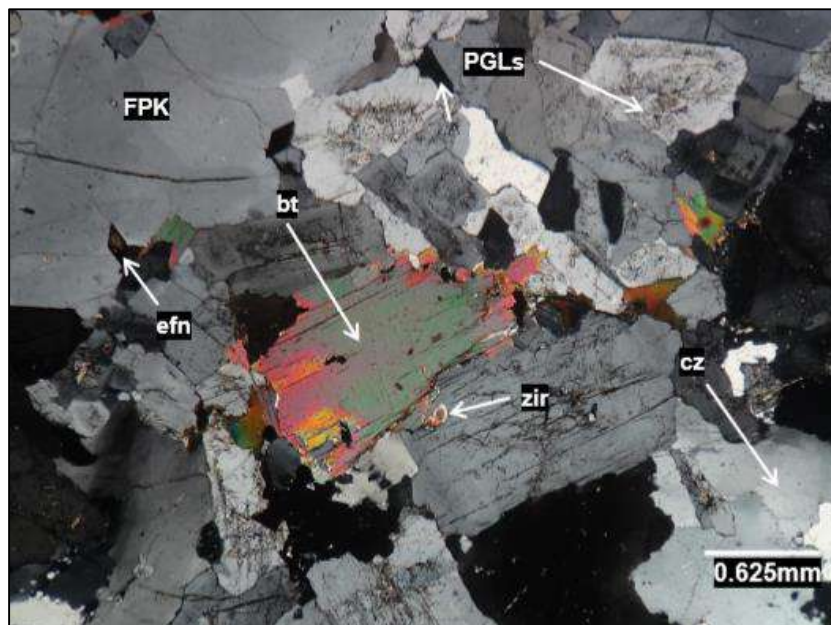
Fotografía N° 32: Vista Macroscópica del Meta-Monzogranito



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Microscópicamente, se tiene una roca con metamorfismo de bajo grado con textura granoblástica de grano medio a grueso. Está conformada por cristales de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo y biotita; además de minerales opacos. Además, se tiene como minerales accesorios: apatito, zircón, esfena. El metamorfismo de contacto se evidencia por una textura en mosaico o poligonal con puntos triples entre los cristales de cuarzo y los feldespatos.

Fotografía N° 33: Vista Microscópica del Meta-Monzogranito



Fotomicrografía N° 3.1.1: Textura granoblástica conformada por blastos de cuarzo (cz), feldespato potásico (FPK), plagioclasa (PGLs), minerales opacos (OPs). Con inclusiones de zircón (zir) v esfena (efn). Fotomicrografía en LT-NX.

Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Muestra EMG - S03:

Protomilonita, teniendo como Protolito, una Granodiorita

Macroscópicamente, se tiene una roca metamórfica foliada, compacta de color gris blanquecino; presenta textura granoblástica, compuesta por fragmentos de cristales de feldspatos (ojos), intercalados con delgadas bandas de trituración; también está constituida por bandas de micas y agregados microgranulares de composición cuarzo-feldespática; presenta densidad media y magnetismo débil. La muestra corresponde a una Granodiorita Metamórfica (Protomilonita). Ver fotografía N° 14.

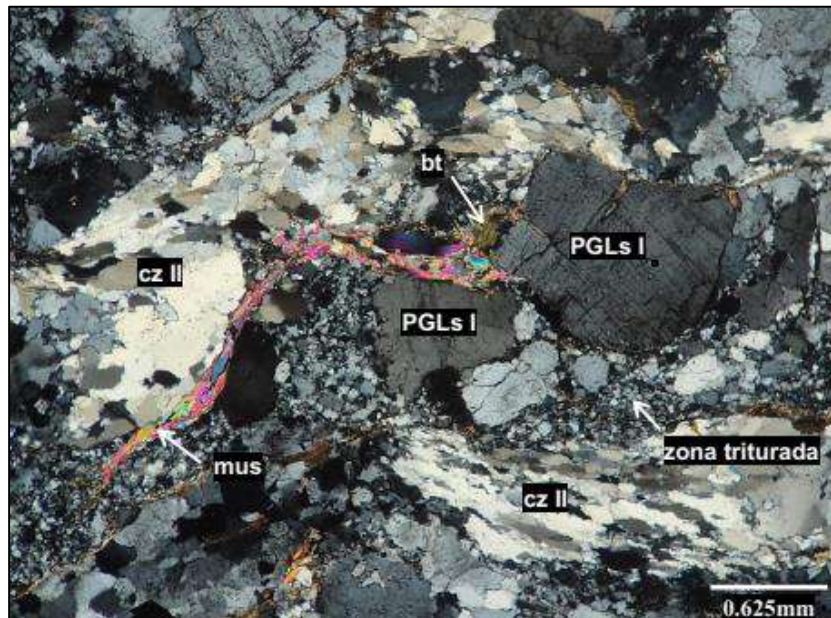
Fotografía N° 34: Vista Macroscópica de la Protomilonita



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Microscópicamente, se tiene una roca metamórfica con textura milonítica compuesta por cristales relictos (rotos y deformados) de plagioclasa y feldespato potásico; la matriz está compuesta por bandas granulares y lenticulares de cuarzo II (cuarzo recristalizado), intercalado con láminas de biotita y muscovita, junto con minerales opacos. Ver fotografía N° 15.

Fotografía N° 35: Vista Microscópica de la Protomilonita



Cristales rotos de plagioclasa I (PGLs I), bandas lenticulares de granos elongados de cuarzo recristalizado (cz II), hileras de muscovita (mus) y biotita (bt), zona triturada de composición cuarzo feldespática. Fotomicrografía en LT-NX
Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

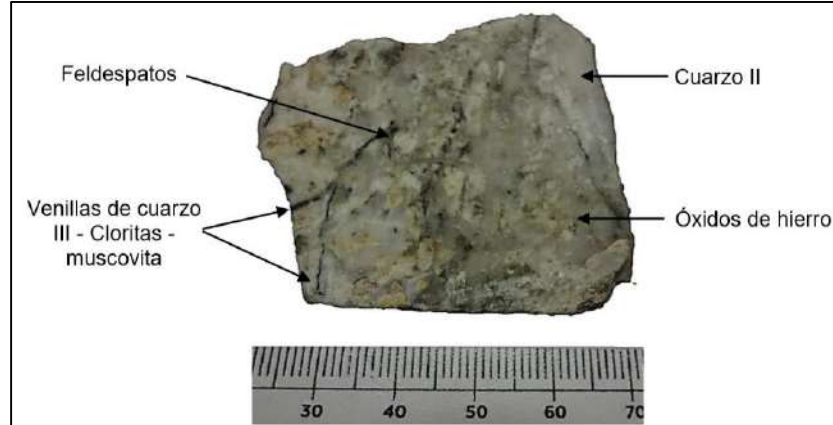
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Muestra SC-12

Protomilonita de Cuarzo – Feldespato con un probable Protolito: Monzogranito

Macroscópicamente, se tiene una roca metamórfica. Presenta pórfidoblastos de feldespatos envueltos en una matriz de cuarzo de grano fino y de coloración gris clara, con lineaciones de micas verdesas. Presenta impregnaciones de óxidos de hierro y no presenta magnetismo.

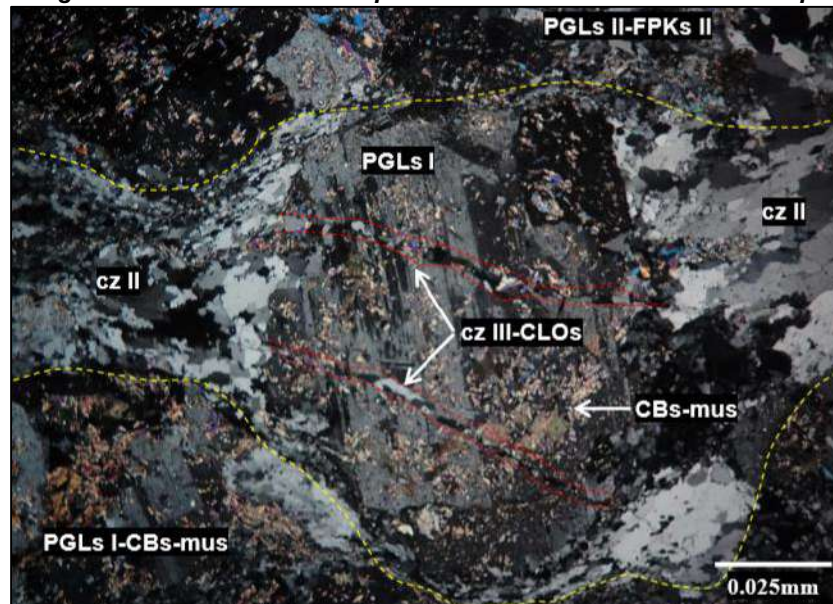
Fotografía N° 36: Vista Macroscópica de la Protomilonita de Cz-Feldespato



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Microscópicamente, se tiene una roca metamórfica con textura milonítica. Está compuesta por fenoblastos de plagioclasas I, feldespato potásico I y cuarzo I que en algunos casos tienen colas de presión Tipo – σ . Presenta una matriz granoblástica, formada por plagioclasas II, feldespato potásico II (microclina) y cuarzo II.

Fotografía N° 37: Vista Microscópica de la Protomilonita de Cz-Feldespato



Fotomicrografía N° 3.2.1 Porfidoblasto de plagioclasa I (PGLs I), el cual ha sido reemplazado por muscovita y carbonatos (mus-CBs). Se encuentra envuelto por agregados de blastos de cuarzo II (cz II).. Fotomicrografía en LT-NX. Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Muestra SC - 08:

Milonita (Cuarzolita metamorfizada) con probable Protolito: Cuarzofilita con Andalusita - Muscovita

Macroscópicamente, se tiene una roca metamórfica foliada: Presenta pórvido blastos; matriz de grano fino de color gris oscuro con bandas que contienen micas; además se presentan venillas menores de óxidos de hierro (e=1mm); no presenta magnetismo. Ver fotografía N° 18.

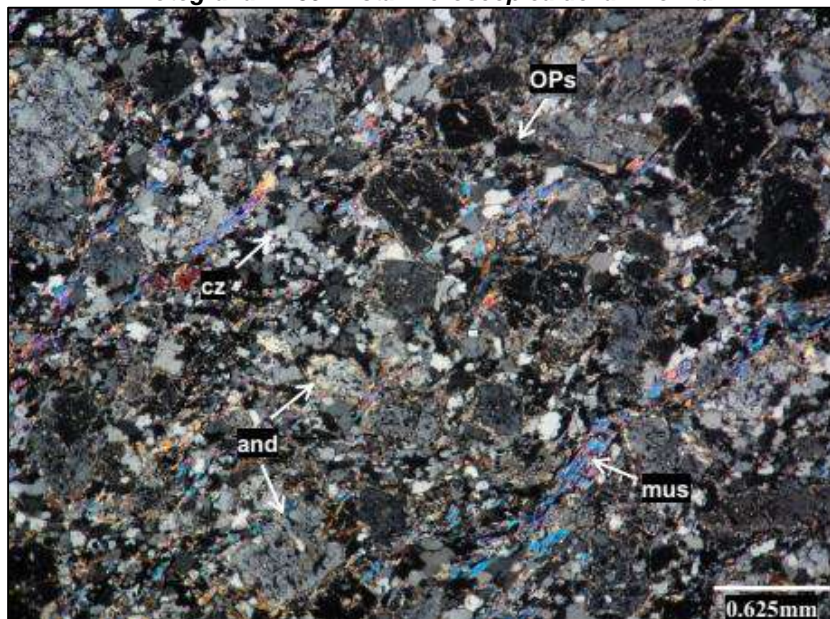
Fotografía N° 38: Vista Macroscópica de la Milonita



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Microscópicamente, se tiene una roca metamórfica con foliaciones tipo S y textura milonítica, compuesta por fenoblastos de andalucita inmersos en una matriz de cuarzo (cz), muscovita (mus) y minerales opacos con escasas biotita, zircón y anatasa. Ver fotografía N° 19.

Fotografía N° 39: Vista Microscópica de la Milonita



Fotomicrografía en LT-NX. Pórfidoblastos de andalucita (and) inmersos en una matriz de cuarzo (cz), muscovita (mus) y minerales opacos.

Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

2.2.1.1 Grupo Calipuy (PN_vca)

Litológicamente, en el área de estudios, el volcánico Calipuy está comprendido por tobas riolíticas, volcánicos sedimentarios, aglomerados volcánicos y piroclástos. Este grupo volcánico lo encontramos en la parte baja de la subcuenca del río Colcas; estas rocas volcánicas se encuentran cubiertas por un grueso paquete de depósitos glaciáricos. Ver Fotografía 20.

Fotografía N° 40: Vista Macroscópica de una lava andesítica.



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Se ha extraído una muestra de roca representativa, cuya ubicación se muestra en el Anexo D.

El Grupo Calipuy, ocupa un área de 514,55 hectáreas, que representa el 2,21% del total del área de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz.

Pleistoceno

2.2.1.4. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios hacen referencia a los materiales de cobertura, depositados entre el Pleistoceno – Holoceno; estos materiales se encuentran en depósitos poco consolidados o sueltos y presentan distribución irregular.

En el área de estudio estos depósitos son producto en su mayoría de procesos geodinámicos asociados a glaciares, fluvio-glaciares, aluviales, fluviales, aluvionales y de caída o coluviales.

2.2.1.4.1. Depósitos Glaciáricos (Q-gl)

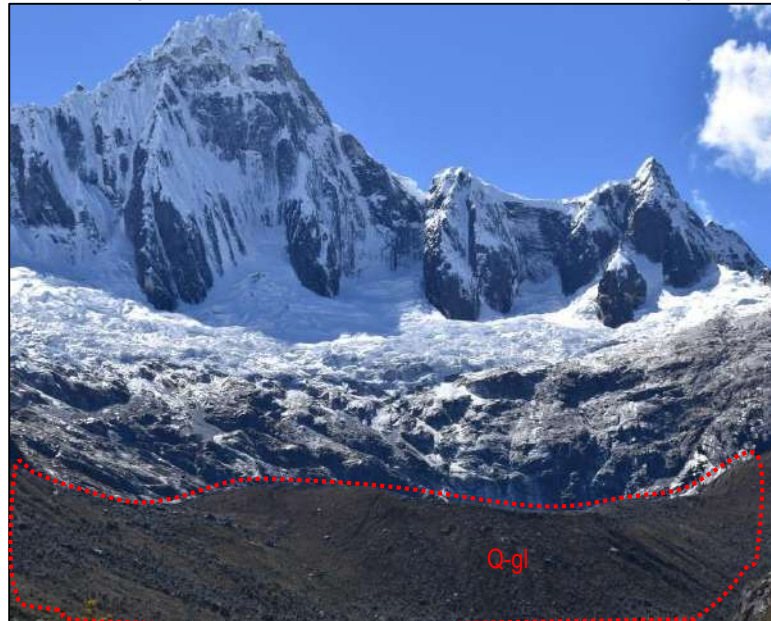
Los depósitos glaciáricos están formados por materiales que pueden haber sido erosionados o no por el glaciar, pero que han sido transportados y posteriormente acumulados por el hielo; dependiendo del lugar en el que hayan

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

viajado en la masa glaciaria, los clastos pueden presentar algunas características que permiten su identificación cuando se encuentran formando parte de un depósito; los cantos y bloques que viajan en el contacto hielo-roca son modificados por el transporte en cuanto a su forma, siendo redondeados por la fricción; también pueden presentar estrías originadas durante el desplazamiento, por rozamiento con otros materiales; los materiales depositados por el hielo glaciario reciben el nombre de Till.

Los depósitos glaciáricos encontrados, presentan materiales de litología homogénea, pero con tamaño de clastos muy variado dentro de una matriz arenosa a limosa; ejemplo de este tipo de depósitos es encontrado en la cabecera de la subcuenca formando el dique natural de la laguna Taullicochoa. Ver fotografía N° 21.

Fotografía N° 41: Vista de un Depósito Glaciárico (Q-gl)



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Están constituidas por sedimentos anisotrópicos, tales como gravas de cantos-bloques en matriz arcillosa, cuya fábrica es poco seleccionada, mientras que su granulometría decrece de acuerdo a su lejanía respecto al frente del glaciario. Al estar la permeabilidad directamente relacionada con el tamaño de sus detritos, estos suelos son muy sensibles a los incrementos de presión intersticial producidos por las lluvias torrenciales, de manera que poseen poca estabilidad, sobre todo cuando yacen encima de laderas. Ver fotografía N° 22.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 42: Matriz de un Depósito Glaciárico Representativo



Fuente: INAIGEM, setiembre 2017.

Los depósitos cuaternarios glaciáricos se presentan a lo largo de toda la subcuenca, no obstante, en pequeñas proporciones, cubriendo un área de 5 112,88 hectáreas, lo cual representa el 21.93% del área total de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Holoceno

2.2.1.4.2. Depósitos Lacustrinos (Q-la)

Corresponden a los depósitos acumulados en un ambiente lagunar, cuya presencia se encuentra restringida en algunas zonas localizadas a lo largo de la quebrada del río Santa Cruz. Estos depósitos muestran una estratificación de materiales finos, generalmente limos y arcillas; así como se tiene la existencia de algunas capas de materiales gruesos (arenas y gravas – sistema fluvial), pero en menor proporción.

Los depósitos lacustrinos de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz se ubican en la quebrada del mismo nombre, asimismo en las quebradas Arhuay y Demanda. El depósito lacustrino más reciente, se encuentra en la parte media de la quebrada del río Santa Cruz, lugar en el cual se localizaba la laguna Ichiccocha, desaguada por el aluvión ocurrido el año 2012. Vista de los depósitos lacustrinos de Ichiccocha, ver fotografía N° 23.

Fotografía N° 43: Vista de un Depósito Cuaternario Lacustrino



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Corresponden a sedimentos de grano fino, razón por la cual pueden llegar a tener un contenido alto de materia orgánica, por ejemplo, en zonas pantanosas. Dentro de su matriz se aprecia un predominio de limos y arcillas finamente laminados que constituyen niveles blandos. Ver fotografía N° 24.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 44: Matriz de un Depósito Lacustrino Representativo



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Los depósitos lacustrinos en el área de estudio, ocupan un área de 170.81 hectáreas, lo cual representa el 0.73% del área total de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz.

2.2.1.4.3. Depósitos Fluvioglaciares (Q-fg)

Corresponde a los depósitos acumulados por acción de corrientes de agua provenientes de deshielo de los glaciares, producto del retroceso glaciar.

Los depósitos fluvioglaciares se encuentran ocupando las laderas de montañas glaciares, relleno los valles glaciares y frentes de montaña; son susceptibles a erosión de laderas, derrumbes, flujo de detritos, deslizamientos por la acción de las aguas superficiales y de infiltración; además, estos depósitos se presentan en forma de cono.

Estos depósitos están localizados a lo largo de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, los más antiguos son producto de glaciares ya extintos, los depósitos más recientes producto de la geodinámica de los glaciares presentes en la cabecera de la subcuenca, como son, Taulliraju, Pucajirca, Alpamayo y Artezónraju. Ver fotografía N° 25.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 45: Vista de un Depósito Cuaternario Fluvioglacial



Fuente: INAIGEM, junio 2017.

Los depósitos fluvioglaciares se componen de clastos de diferentes tamaños y formas en una matriz arenosa limosa, estos depósitos presentan alta permeabilidad. Ver fotografía N° 26.

Fotografía N° 46: Matriz de un Depósito Fluvioglacial Representativo



Fuente: INAIGEM, junio 2017.

Los depósitos fluvioglaciares dentro del área en estudio están distribuidos en un área de 1 118,59 hectáreas que representa el 4,80% del área total de la subcuenca del río Colcas-Santa Cruz.

2.2.1.4.4. Depósitos Fluviales (Q-fl)

Los depósitos fluviales se caracterizan por presentar clastos redondeados y alargados e imbricados en una matriz que puede ser arenosa o arcillosa según las condiciones de sedimentación.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Corresponden a los depósitos acumulados directamente por la geodinámica fluvial, cuya presencia se encuentra localizada a lo largo del cauce actual del río Santa Cruz que drena desde la laguna Taullicocha y discurre aguas abajo de la quebrada Santa Cruz. Estos depósitos están conformados generalmente por materiales gruesos (gravas y arenas) redondeados. Ver fotografía 27.

Fotografía N° 47: Vista de un Depósito Cuaternario Fluvial



Fuente: INAIGEM, setiembre 2017.

La granulometría característica de los depósitos de fluviales se compone de clastos redondeados de litología variada, estos clastos se encuentran imbricados dentro de una matriz de arenas o limos dependiendo de las condiciones de sedimentación dentro del sistema fluvial. Ver fotografía N° 28.

Fotografía N° 48: Matriz de un Depósito Fluvial Representativo



Fuente: INAIGEM, diciembre 2017.

Los depósitos fluviales cubren un área de 121,42 hectáreas que representa el 0.52% del área total de la subcuenca del río Colcas-Santa Cruz.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

2.2.1.4.5. Depósitos Coluviales (Q-co)

Estos depósitos son producto del desprendimiento *in situ* de los macizos rocosos a lo largo de las laderas. Conocidos también como depósitos de pie de monte de origen gravitacional y fluvio gravitacional. Son los depósitos cuaternarios no consolidados recientes y están conformados por material generalmente grueso (pedregones, cantos, etc.) y mezclados con materiales finos en menor proporción, todo dispuesto espacialmente dentro de un pequeño cono deyeectivo que no cuentan con espesores importantes.

Los depósitos de caída en la subcuenca están a lo largo de toda la quebrada formando pequeños conos compuestos de material de litología homogénea, pero de tamaño de clastos heterogéneos con proporciones muy pequeñas de material fino, estos depósitos son por lo general inconsolidados. Ver fotografía 29.

Fotografía N° 49: Vista de un Depósito Cuaternario Coluvial



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Los depósitos coluviales por lo general están conformados por masas inestables de gravas (cantos rodados y bloques) angulosos transportados por gravedad y agua bajo derrubios; presentan matriz limo arcillosa, resistencia baja, sobre todo, cuando están depositados sobre substrato rocoso. Ver fotografía 30.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 50: Matriz de un Depósito Coluvial Representativo



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Los depósitos coluviales dentro del área de estudio ocupan un área aproximada de 23,66 hectáreas lo cual representa el 0.10% del total del área de la subcuenca del río Colcas-Santa Cruz.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

2.2.1.4.6. Depósitos Aluvionales (Q-alv)

Son depósitos originados por la geodinámica externa conocida como movimientos en masas, en este caso específico, corresponde a una avalancha generada por el desprendimiento de una masa glaciar hacia las lagunas Artizón Alta y Baja, que generó el desembalse de sus aguas, llevándose consigo todo el material inconsolidado antiguo en la trayectoria de su flujo y redepositándose en el fondo del valle glaciar. Este evento generó el depósito cuaternario más reciente de la subcuenca. Ver fotografía 31

Foto N° 51: Vista de un Depósito Cuaternario Aluvional



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Los depósitos aluvionales de la subcuenca, están compuestos de limo-arcillas, arenas, cantos rodados y bloques de forma variable, desde angulosas, sub angulosas hasta redondeadas. Estos depósitos son por lo general anisotrópicos y presentan baja resistencia. Ver fotografía 32.

Fotografía N° 52: Matriz de un Depósito Aluvional Representativo



Fuente: INAIGEM, setiembre 2017.

Los depósitos aluvionales de la subcuenca, ocupan un área de 182,21 hectáreas, lo cual representa el 0.78% del área total de la subcuenca.

2.3. Geología Histórica

2.3.1. Evolución Paleogeográfica

La actual configuración de la Cordillera Blanca, es producto de una serie de fases tectónicas. El área de estudio, es producto principalmente de 3 fases tectónicas para tener el relieve que se muestra en la actualidad; siendo la Fase Nevadiana del Jurásico Superior, donde se desarrolló la sedimentación de las secuencias de la Formación Chicama; posterior a ello, la Fase Quechua del Neógeno (Mioceno - Plioceno), fase volcánica que dio origen a la Formación Yungay y también se desarrolló el magmatismo intrusivo del Batolito de la cordillera Blanca; finalmente en el Holoceno tenemos la fase de reactivación de fallas como la falla de la Cordillera Blanca.

2.3.1.1. Jurásico Superior (Fase Nevadiana)

El (INGEMMET, 1995), indica que, a fines del Jurásico medio y comienzos del superior, los movimientos nevadianos provocan una emersión del territorio peruano, marcando una discordancia que se ubica entre el Titoniano y el Bajociano, correspondiendo ello a una importante epirogénesis. Este levantamiento determina en el centro y norte, la definitiva separación en dos cuencas: una nor-occidental y la otra oriental, teniendo al centro un bloque levantado, que se conoce como el arco del Marañón. Este episodio tectónico, genera una discordancia marcada por la transición de una sedimentación continental a otra marina en la cuenca Oriental, con una discordancia ligeramente angular en algunos lugares.

En tiempos del Titoniano, la cuenca nor occidental es invadida por el mar, depositándose secuencias arcillo-areniscosas (Fm. Chicama), con la presencia también de material volcánico.

2.3.1.2. Mioceno–Plioceno (Fase Quechua)

El (INGEMMET, 1995), indica que, durante el Mioceno, la actividad volcánica explosiva fue intensa en la cordillera occidental, desarrollándose una gruesa y variada secuencia de piroclásticos. Las series volcánico-sedimentarias del Oligoceno llegan hasta el Mioceno inferior (cubriendo a las estructuras finieocénicas), casi sin discordancias mayores; sin embargo, entre el Mioceno inferior y superior, si las hay, de allí entonces que, se puede ubicar la siguiente deformación importante, después de la fase incaica en los tiempos del mioceno medio.

Esta fase tectónica, es la responsable de la formación y diseño definitivo de la Cordillera de los Andes, modelando su actual configuración morfo tectónica; está asociada al magmatismo extrusivo del miembro superior del Grupo Calipuy, el magmatismo intrusivo del Batolito de la Cordillera Blanca, fases de mineralización.

2.3.1.3. Holoceno (Cuaternario Reciente)

El (INGEMMET, 1995), indica que, esta fase está asociada a la reactivación de fallas antiguas de basamento, actividad sísmica y volcánica reciente.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Corresponde al cuaternario reciente, es decir a los últimos 11,000 años, tiempo en el cual el territorio peruano llega a su actual fisonomía y donde la acción erosiva de los ríos se acentúa, las acumulaciones fluvio-aluviales se van engrosando y la acción eólica va acumulando gran cantidad de arenas en las áreas desérticas de la costa.

Los mares ocupan sus actuales límites y la vida marina y terrestre son las que conocemos. Asimismo, los climas adquieren una característica propia en cada una de las regiones, con microclimas locales que le dan al territorio peruano variada gama de hábitat.

2.3.1.4. Glaciaciones

El (INGEMMET, 1995), indica que, en esta región, se reconocen dos glaciaciones principales: una de edad Pleistocénica y otra Reciente. Los efectos de esta última, están mayormente restringidos a las partes altas de la Cordillera Blanca, donde es común encontrar morrenas a altitudes de 4600 – 4800 m. La glaciación Pleistocénica, afectó grandes áreas de la Cordillera Occidental, especialmente a las Cordilleras Blanca y Negra y toda la parte de la Cordillera Central. En la Cordillera Blanca y sus alrededores, los efectos glaciares alcanzan su mayor desarrollo en cuanto a variedad y escala.

Los mayores efectos erosivos de los glaciares, son los valles profundos y estrechos que cortan esta Cordillera, siendo los mejores ejemplos las quebradas: Santa Cruz, Llanganuco y Honda. El desnivel entre el fondo de estas quebradas y los picos de los nevados es de aproximadamente 2000 metros. En algunos de estos valles se encuentran lagunas llenando pequeñas cuencas erosionadas por los glaciares o represadas por morrenas. Según (INGEMMET, 1995).

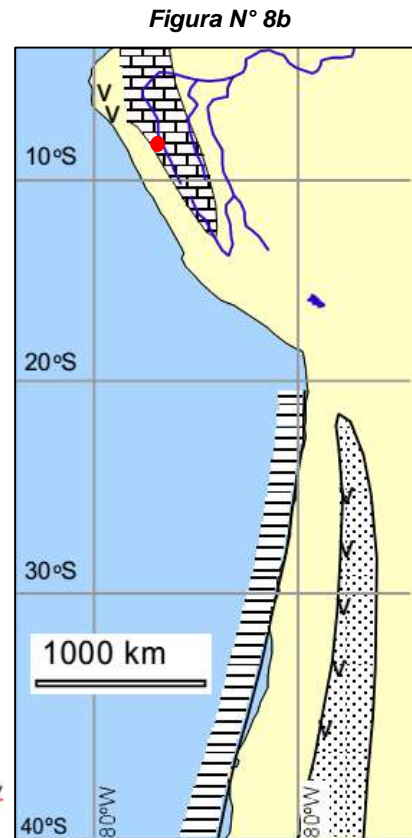
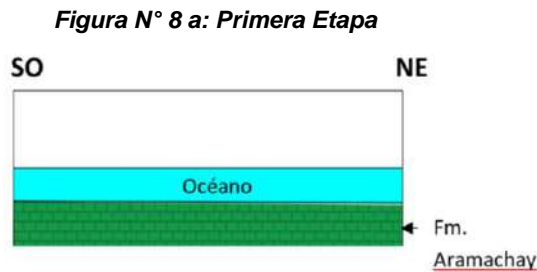
En la zona de estudio las glaciaciones quedan evidenciadas en la cabecera de la subcuenca donde tenemos las morrenas laterales y frontales que forman el vaso de las lagunas Arhuaycocha, Taullicocha y Artizón Alto y Bajo; que se ubican a alturas mayores de 4500 msnm

A continuación, se presenta el detalle de la explicación histórica por etapas, de las formaciones geológicas que son parte del basamento rocoso existente en el área de estudio; para lo cual se ha tomado como base, la información científica de (Auboin, J.A., et. al, 1973), (INGEMMET, 1986) y (Jour. GesP. Soc , 1990).

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Primera Etapa:

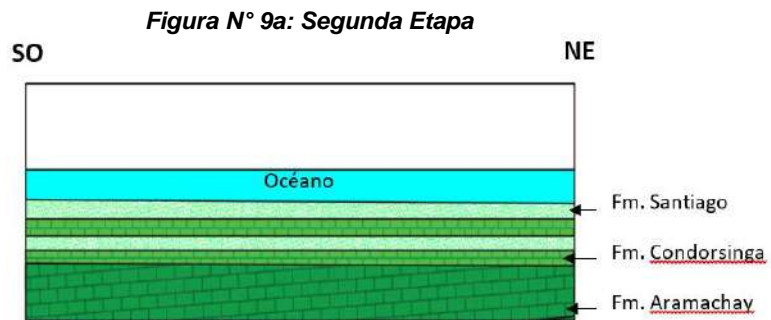
A finales del Triásico Superior, en la zona de estudio que corresponde a la parte norte de lo que hoy es la Cordillera Blanca, se forma la cuenca Jurásica, donde hubo movimientos sucesivos de levantamiento, que separa el mar de la cuenca continental; de esta forma se depositan inicialmente sedimentos de facies mayormente marinas, de la formación Aramachay y Chambará. En las figuras N° 8a y 8b se identifica la paleogeografía de esta etapa.



Fuente: INGEMMET

Segunda Etapa (Jurásico inferior):

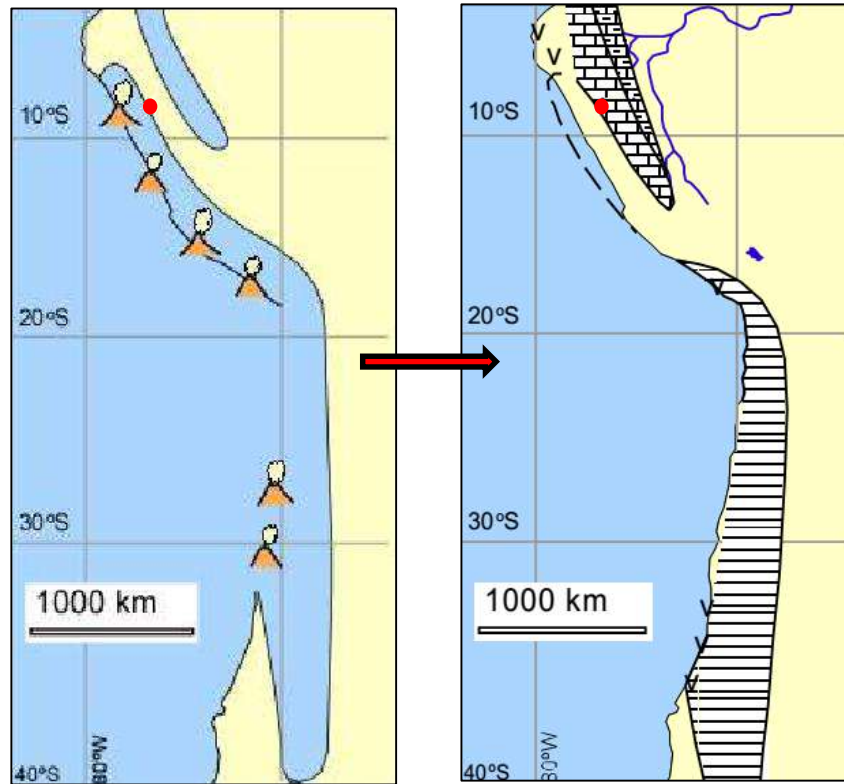
En tiempos del Jurásico Inferior, las transgresiones progresan lográndose unir el mar de Abancay con el Sur Oeste. A finales del Jurásico Inferior, luego de esta subsidencia, hubo levantamientos que formaron cadenas no muy pronunciadas, vinculadas a la tectónica Nevadiana, donde predominaron aguas continentales, que pudieron haberse mezclado con aguas marinas. En las figuras N° 9a y 9b se identifica la paleogeografía de esta etapa.



Fuente: INGEMMET

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Figura N° 9b



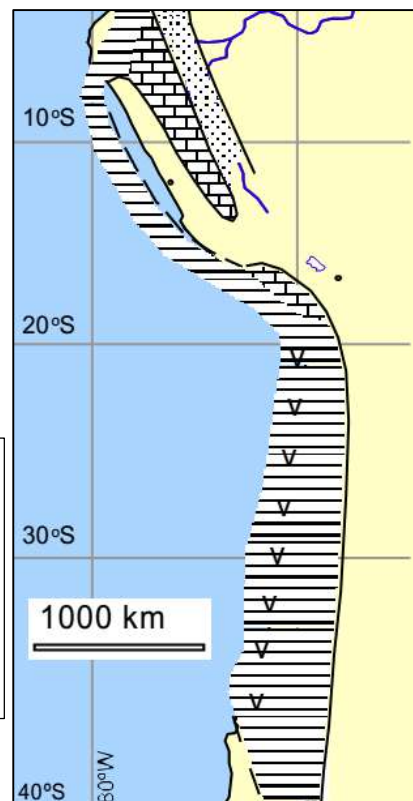
Fuente: INGEMMET

Fuente: INGEMMET

Tercera Etapa (Jurásico Medio):

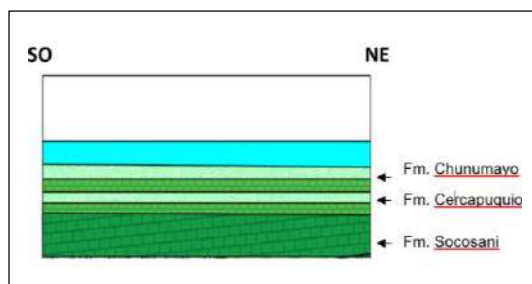
Al finalizar el Jurásico inferior, se producen regresiones tanto en la parte Norte como en el Sur del Perú; quedando algunas áreas del Centro y Sur, sumergidas hasta el jurásico medio, para la sedimentación de formaciones tales como Socosani y Chunumayo. En las figuras N° 10a y 10b se identifica la paleogeografía de esta etapa.

Figura N° 10b



Fuente: INGEMMET

Figura N° 10a: Tercera Etapa



Fuente: INGEMMET

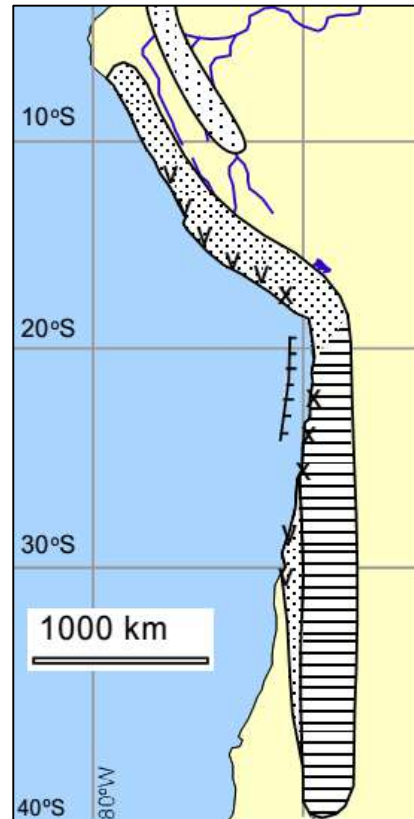
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Cuarta Etapa (Jurásico Superior-Fase Nevadiana):

A fines del Jurásico medio y comienzos del superior, los movimientos nevadianos provocan una emersión del territorio peruano, marcando una discordancia que se ubica entre el Titoniano y el Bajociano, correspondiendo ello a una importante epirogénesis. Este levantamiento determina en el centro y norte, la definitiva separación en dos cuencas: una noroccidental y la otra oriental, teniendo al centro un bloque levantado que se conoce como el Arco del Marañón. Este episodio tectónico, genera una discordancia marcada por la transición de una sedimentación continental a otra marina, en la cuenca oriental, con una discordancia ligeramente angular en algunos lugares.

Durante el Titoniano la cuenca noroccidental es invadida por el mar, depositándose secuencias arcillo-areniscosas (**Fm. Chicama**), con la presencia también de material volcánico.

Figura N° 11a: Cuarta Etapa



Fuente: INGEMMET

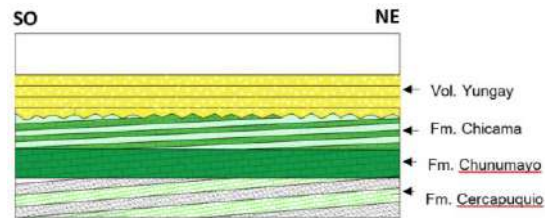
En la figura N° 11a, se identifica la paleogeografía de esta etapa.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Quinta Etapa:

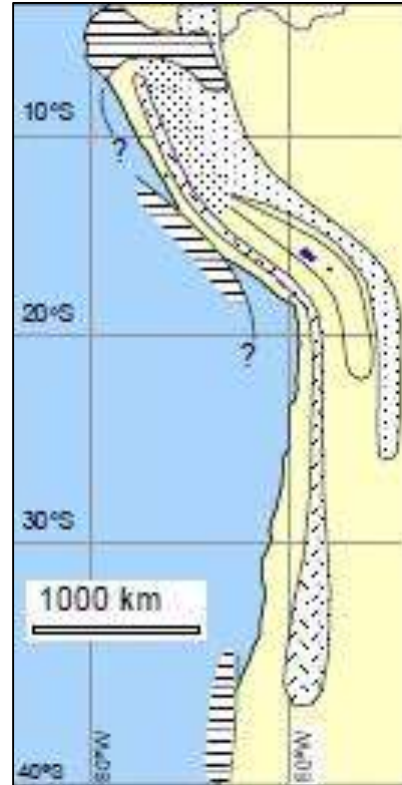
Durante el levantamiento de los andes, se produce la erosión y el depósito de coladas volcánicas de composición andesítica, llamado Volcánico Yungay. En las figuras N° 12a y 12b se identifica la paleogeografía de esta etapa.

Figura N° 12a: Quinta Etapa



Fuente: INGEMMET

Figura N° 12b

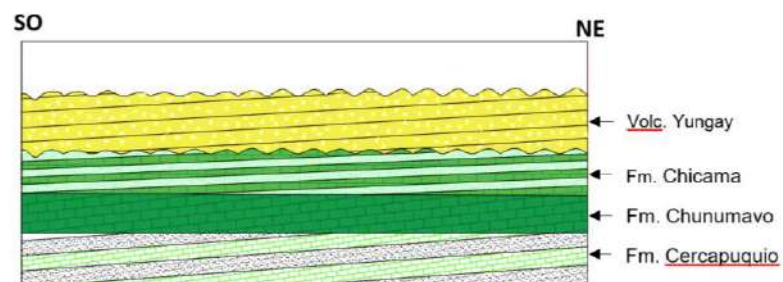


Fuente: INGEMMET

Sexta Etapa

El Volcánico Yungay presenta un plegamiento suave, proveniente de la fase Quechua (Según Steinmann). Después de este plegamiento producido por movimientos de menor magnitud, siguió una etapa de larga quietud, pero de fuerte actividad erosiva y meteorización.

Figura N° 13a: Sexta Etapa



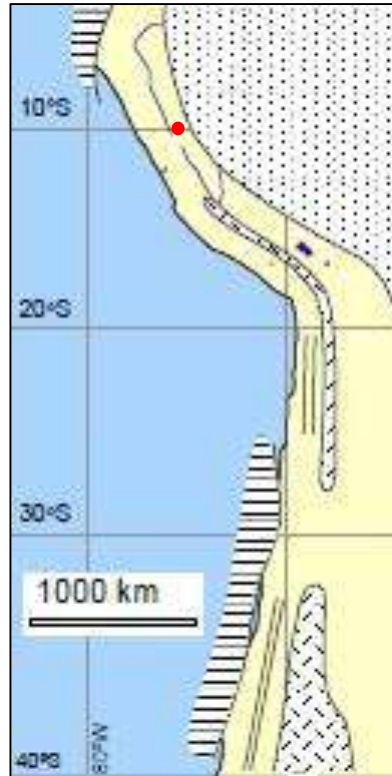
Fuente: INGEMMET

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Séptima Etapa:

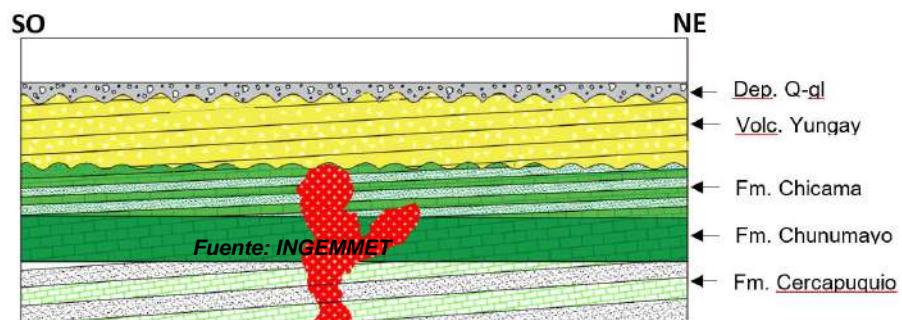
Los intrusivos fueron generados por el emplazamiento del Batolito de la Costa a nivel regional; cooperó también la actividad efusiva de los volcánicos, luego los depósitos cuaternarios fueron apareciendo concordante al Volcánico Yungay (Nmp-yu). En las figuras N° 14a y 14b se identifica la paleogeografía de esta etapa

Figura N° 14a: Séptima Etapa



Fuente: INGEMMET

Figura N° 14b

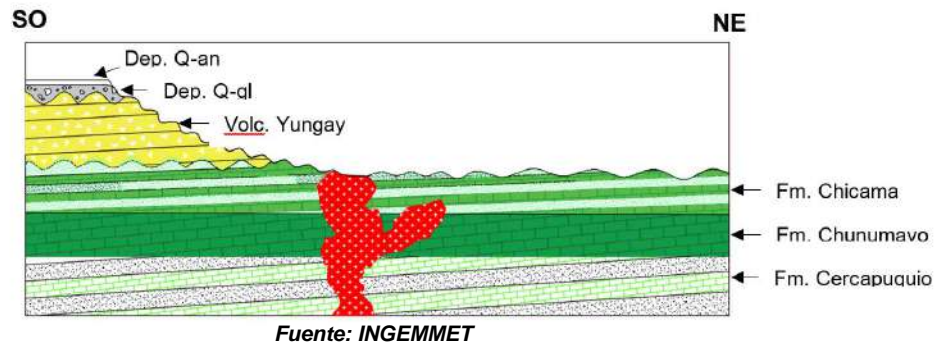


Octava Etapa:

La erosión y meteorización que comprende entre el paleoceno y holoceno, formó grandes valles glaciares y depósitos glaciáricos (Q-gl) por la geodinámica glacial. Finalmente, los depósitos coluviales son parte del paisaje actual junto con los depósitos cuaternarios antrópicos (Q-an), de origen humano.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Figura N° 15a: Octava



2.4. Geodinámica Interna

La geodinámica de la subcuenca corresponde a procesos de plutonismo, vulcanismo y tectonismo durante el Neógeno.

Plutonismo Cenozoico:

Este proceso magmático corresponde al emplazamiento de las rocas plutónicas del Batolito de la Cordillera Blanca, que generó el levantamiento de las unidades sedimentarias de la Formación Chicama, dándole la actual conformación geomorfológica a la zona de estudio.

Vulcanismo Cenozoico:

Este proceso magmático extrusivo corresponde a los depósitos conocidos como ignimbritas del Mio-Plioceno (según INGEMMET), que en el área de estudio está representado por las ignimbritas y tobas acidas de la Formación Yungay, ubicadas en la parte baja de la subcuenca

Sistema de Fallas Activas de la Cordillera Blanca:

Proceso tectónico activo que corta a las rocas intrusivas del batolito del mismo nombre en la parte baja de la subcuenca, marcando un cambio en la topografía del área en estudio. Este sistema de fallas durante el cuaternario tiene un rechazo vertical de la orden de 1000 m con buzamientos que varían entre los 35°O y 45°O (INGEMMET, 2009).

2.4.1. Tectónica

Los procesos tectónicos que ha sufrido el área de estudio, son el plegamiento generado en las rocas sedimentarias de la formación Chicama, a causa de la intrusión de las rocas intrusivas del batolito de la Cordillera Blanca, se caracteriza por la presencia de pequeños pliegues disarmónicos asociado a grandes sobre escurrimientos y también tenemos el sistema de fallas de la Cordillera Blanca, que se extienden a lo largo de la cordillera del mismo nombre, con una orientación nor oeste – sur este, con una geometría de “Cola de Caballo”, presentando buzamientos de 35°O y 45°O.

2.4.1.1. Geología Estructural

La investigación geotécnica corresponde a la evaluación de afloramientos rocosos, mediante la ejecución de Estaciones de Mapeo Geotécnico (EMG), aplicando el método celda de detalle para la adquisición de los datos de campo. Este mapeo consiste en obtener las características

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

siguientes: dirección de buzamiento, buzamiento del plano de las discontinuidades, la cantidad, espaciamiento, forma, rugosidad, apertura, relleno, meteorización, persistencia, presencia de agua, entre otras características que tiene un macizo rocoso. Esta adquisición de campo contribuye en conocer las principales familias de discontinuidades o estructuras que dominan al macizo rocoso a través de las EMG investigadas.

El nivel de susceptibilidad (mayor o menor) a los movimientos en masas como desprendimiento o caída de rocas está influenciada en forma directa por las características estructurales dominantes respecto a su relación favorable o desfavorable con la pendiente del terreno.

En síntesis, se ha realizado treinta y siete (37) estaciones de mapeo geotécnico (EMG) de 10 a 15 m de longitud aprox. Se ha procesado y sistematizado la información de campo con respecto a la dirección de buzamiento y buzamiento de los planos de las discontinuidades mediante el programa DIPS v5.1 para obtener las rosetas de las familias de orientación para cada estación geotécnica. Esta información es detallada en Aspectos Geotécnicos del informe.

2.4.1.2. Zonificación Estructural

La quebrada del río Santa Cruz es una geoforma degradacional de origen glaciar, que cruza el Batolito de la Cordillera Blanca de rocas intrusivas félsicas, cuya naturaleza varía de granodiorítica a tonalítica y tiene un lineamiento general de ENE-SSO; esta subcuenca en las inmediaciones del valle del río Santa, atraviesa afloramiento piroclástico de la Formación Yungay y sedimentarios de la Formación Chicama.

La Falla Geológica de la Cordillera Blanca también atraviesa la quebrada del río Santa Cruz, separando los dominios de las geoformas entre el valle glaciar y el valle fluvial, es decir donde también existe un cambio notorio del paisaje montañoso del basamento rocoso intrusivo y el paisaje colinoso de los depósitos terciarios de la Formación Yungay. Esta estructura regional es una falla activa y es una fuente sismogénica importante de la región.

2.4.1.3. Neotectónica

Sistema de Fallas Activas de la Cordillera Blanca

“(…) El mayor sistema de fallas activas del Perú se ubica en la región Ancash y se extiende sobre 220 km, entre los poblados de Corongo y Chiquián (norte y sur de Huaraz, respectivamente), bordeando el flanco occidental de la Cordillera Blanca. (...) El análisis de las deformaciones frágiles y dúctiles, sobre las fallas y las deformaciones sinsedimentarias, muestra que dicha subsidencia es controlada por una tectónica en extensión con dirección noreste - suroeste a este-oeste durante el Plioceno. Los rechazos verticales pliocenos sobre las fallas miden 3 500 m. (...) El rechazo vertical cuaternario es del orden de 1 000 m y parece estar asociado esencialmente a sismos cuya recurrencia es cada 1500 años (Bonnot, 1984). De igual manera, Schwartz (1988) se basa en el

*“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
momento sísmico y calcula un periodo de retorno de 3,000 años para
sismos de magnitud 7.(...)”, (INGEMMET, 2009)¹.*

En el área de estudio, la falla activa de la Cordillera Blanca se ubica en la parte inferior de la subcuenca Santa Cruz, delimitando el contacto de rocas de las formaciones Yungay y Chicama, con las rocas intrusivas del Batolito de la Cordillera Blanca, entre los poblados de Cashapampa, Conay y Huancarhuaz; esta falla también marca el cambio en la topografía, en la parte inferior tenemos un relieve colinoso de pendiente moderada y en la parte superior un relieve montañoso con pendientes abruptas.

Fotografía N° 53: Vista de la Falla de la Cordillera Blanca.



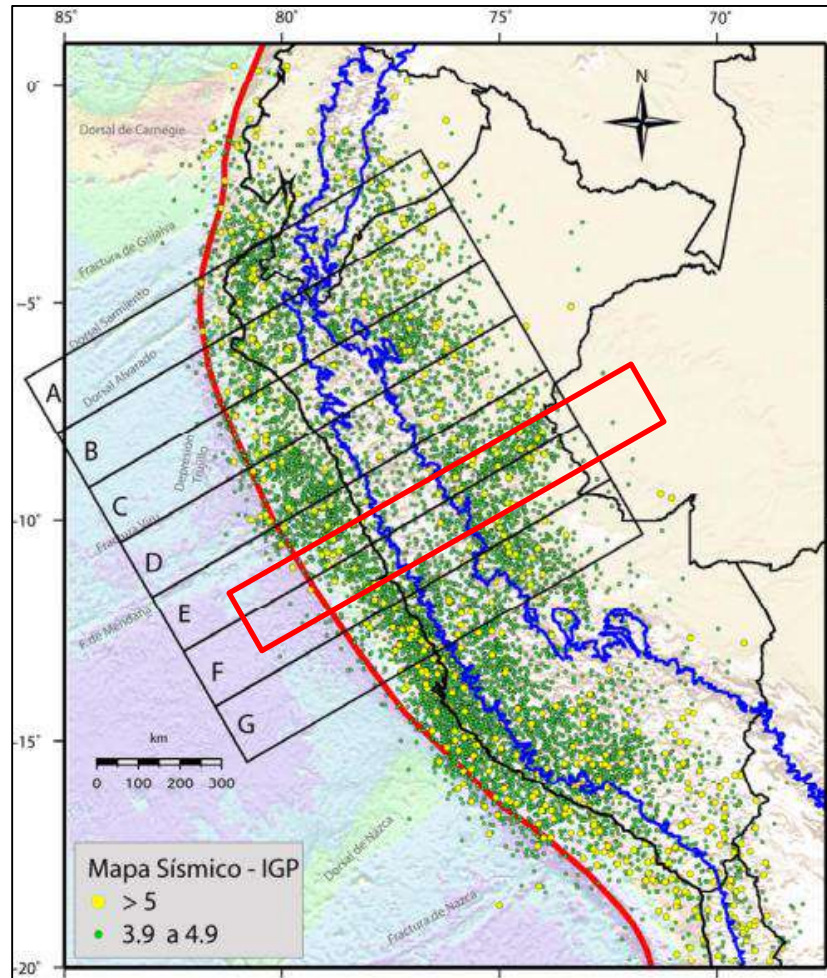
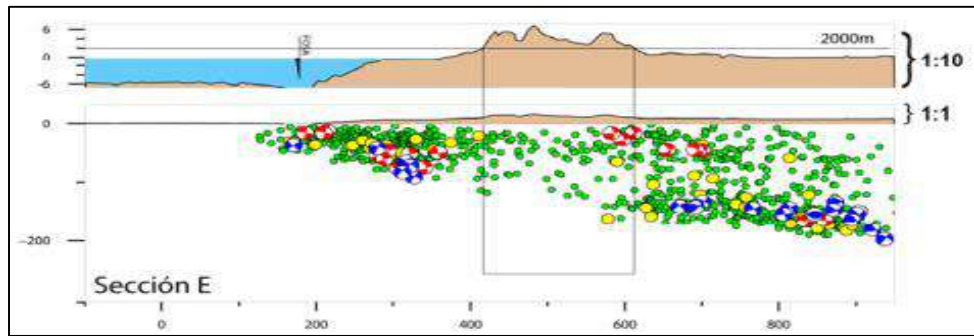
Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

2.4.1.3.1. Sismología

El análisis de la sismicidad histórica de los últimos 100 años (IGP, 2001), registra altos niveles de actividad sísmica, donde la mayoría de los sismos identificados corresponden a eventos superficiales (<60 km), cuyos epicentros se presentan en la zona de contacto de la Placa Sudamericana con la Placa de Nazca, en la fosa Perú-Chile. El mayor sismo registrado en las costas del departamento de Ancash, presentó una magnitud de 6.4 Mb, con intensidades máximas de VIII en la escala modificada de Mercalli; estos eventos ocurrieron en 1966 y 1970, registrando eventos que produjeron la catástrofe de 1970. El mayor porcentaje de los sismos registrados durante esa época presentan intensidades de III a IV MM, ver figura N° 14.

¹ Boletín N° 08, Serie C, Síntesis Descriptiva del Mapa Neotectónico 2008, INGEMMET, Macharé, Benavente, Laurence (2009).

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
Figura N° 16: Perfil Topográfico y Sismológico de la Zona de Estudio



Fuente: UNMSM, *Relación Entre la Topografía y la Sismicidad en los Andes Peruanos*, Uribe (2008)

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

2.5. Hidrología

Lagunas de origen glaciar:

Los Glaciares de la sub cuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, al igual que el resto de la cordillera Blanca, vienen experimentando una intensa actividad dinámica, consecuencia de ello, el desarrollo acelerado de las lagunas; en ese contexto, a continuación, se detalla la información hidrológica existente, realizada en el Estudio y Monitoreo de Lagunas Altoandinas, (ANA.UGRH, 2011).

Laguna Arhuaycocha:

Localizada en la cabecera de la quebrada Arhuay y alimentada principalmente por el deshielo del frente glaciar de los nevados Pucahirca y Ranrahirca;

De acuerdo al último levantamiento batimétrico realizado en la laguna, por la UGRH, en noviembre de 2011, se sabe que, el nivel del espejo de agua se encuentra a 4 399,81 m.s.n.m, con un área de 405 744,63 m², un volumen de 19 550 794,95 m³; profundidad máxima de 97,68 m (correspondiente al nivel 4 302,13 m.s.n.m); largo de 1 180,62 m y ancho de 404,45 m.

Laguna Taullicocho:

Localizada en la cabecera de la quebrada principal de Santa Cruz y alimentado principalmente por el deshielo del frente glaciar Taulliraju.

De acuerdo al último levantamiento batimétrico realizado en la laguna, por la UGRH, en junio de 2007, se sabe que, el nivel del espejo de agua se encuentra a 4 427,00 m.s.n.m, con un área de 133 766,00 m², un volumen de 2 427 487,00 m³; profundidad máxima de 37,1 m (correspondiente al nivel 4 389,00 m.s.n.m); largo de 495 m y ancho de 372 m.

Lagunas Artizón Alto y Bajo:

Localizadas en la cabecera de la quebrada Artesón 1 y alimentado principalmente por el deshielo del frente glaciar Artezonraju.

De acuerdo al último levantamiento batimétrico realizado en la laguna, por la UGRH, en diciembre de 2011, se sabe que, el nivel del espejo de agua de la laguna Artizón Bajo, se encuentra a 4 477,05 m.s.n.m, con un área de 34 270,73 m², un volumen de 359 727,71 m³; profundidad máxima de 23,28 m (correspondiente al nivel 4 453,77 m.s.n.m); largo de 337,66 m y ancho de 127,70 m.

De otra parte, el mismo año se determinó que el nivel del espejo de agua de la laguna Artizón Alto se encuentra a 4 638,74 m.s.n.m, con un área de 137 661,38 m², un volumen de 1 424 844,26 m³; profundidad máxima de 24,58 m (correspondiente al nivel 4 614,16 m.s.n.m); largo de 914,04 m y ancho de 244,85 m.

Laguna Jatuncocha:

Localizada en la zona central de la quebrada, es un cuerpo de agua originado inicialmente por la fusión y deshielo de los frentes glaciares de los principales nevados existentes en la sub cuenca, y posteriormente alimentado por el drenaje principal del río Santa Cruz.

De acuerdo a información proporcionada por la UGRH, se sabe que, el nivel del espejo de agua de la laguna Jatuncocha, se encuentra a 3 887,00 m.s.n.m, con

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

un área de 443 906,0 m², un volumen de 4 649 412,00 m³; profundidad máxima de 14 m; largo de 337,66 m y ancho de 127,70 m.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Introducción

La Geomorfología del área de estudio, es el resultado de la acción geodinámica glaciar y fluvial principalmente. La geodinámica glaciar ha dado lugar a la formación de valles glaciares que presenta laderas con pendiente subverticales. La geodinámica fluvial se encuentra en la parte baja degradando unidades volcánicas y sedimentarias formando valles y terrazas aluviales.

3.2. Geomorfología Regional

La quebrada del río Santa Cruz, es un valle de origen glaciar y fluvial, con la presencia de varios cuerpos de agua o lagunas en su parte alta o cabecera, entre las cuales tenemos a las lagunas: “Taullicocha”, de la quebrada principal; “Arhuaycocha”, localizado en la margen derecha; y “Artizón Alta y Baja”, en la margen izquierda. La laguna “Jatuncocha”, se ubica en la parte media de la misma quebrada Santa Cruz; siendo parte de la microcuenca del mismo nombre, subcuenca del río Colcas – Santa Cruz, y a su vez, parte de la cuenca del río Santa, la cual forma parte de la Cuenca hidrográfica del Pacífico. El drenaje superficial principal, corresponde al río Santa Cruz, que nace desde la laguna Taullicocha y cuyas aguas drenan directamente al río Colcas – Santa Cruz.

El dominio principal de la geomorfología, está definida por dos unidades principales que se marcan por la presencia de la Falla de la Cordillera Blanca, que separa el relieve colinoso de la parte baja de la subcuenca, donde predomina la geodinámica fluvial, y el relieve montañoso de la parte alta de la subcuenca, donde la geomorfología es producto de la geodinámica glaciar.

3.2.1. Relieve Montañoso

El relieve montañoso se caracteriza por presentar grandes elevaciones del terreno. El área de estudio se encuentra dentro de la Cordillera Blanca que es la cadena montañosa nevada tropical más extensa.

El relieve montañoso de la subcuenca se encuentra en la parte superior, desde la falla de la Cordillera Blanca hasta la cabecera donde encontramos los nevados Pucajirca y Taulliraju; este relieve presenta pendientes muy fuertes y elevaciones mayores a los 5000 msnm. La litología que compone estas geoformas se conforma de rocas intrusivas del Batolito de la Cordillera Blanca.

Montañas altas (Ma)

Unidades caracterizadas por presentar topografía abrupta y accidentada, con pendientes mayores a 50%, Los principales agentes modeladores son los cambios físicos, químicos y mecánicos. Abarcando las partes altas de la subcuenca. Estas superficies son altamente sensibles a procesos de geodinámica externa y localmente ocurren con frecuencia flujos hídricos. Se han mapeado amplias superficies con fuertes pendientes mayores a 75% y limitan con la divisoria de aguas.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Media Montaña (Mm)

Ubicada en una zona de transición entre las montañas altas y montañas bajas, caracterizada por presentar pendientes de 35% a 50%, con presencia de vegetación y morfología variada, con presencia de la erosión fluvial como agente principal modelador. Hacia la parte alta de la subcuenca, sobresalen geoformas montañosas con alturas que sobrepasan los 3 000 msnm. Están conformadas por rocas sedimentarias e intrusivas de naturaleza detrítica con procesos erosivos de moderada a alta intensidad.

Montaña Baja (Mb)

Representa la parte más bajas de las montañas con pendientes de 25% a 35%, presentando una topografía variada por efectos de erosión irregular, compuesto por rocas ígneas y sedimentarias.

3.2.2. Relieve Colinoso

Las colinas, son elevaciones que, a diferencia de las montañas, no suelen presentar mucha elevación (50 y 300 metros desde el nivel de base local). Por lo tanto, una colina es una elevación de menor altura que una montaña.

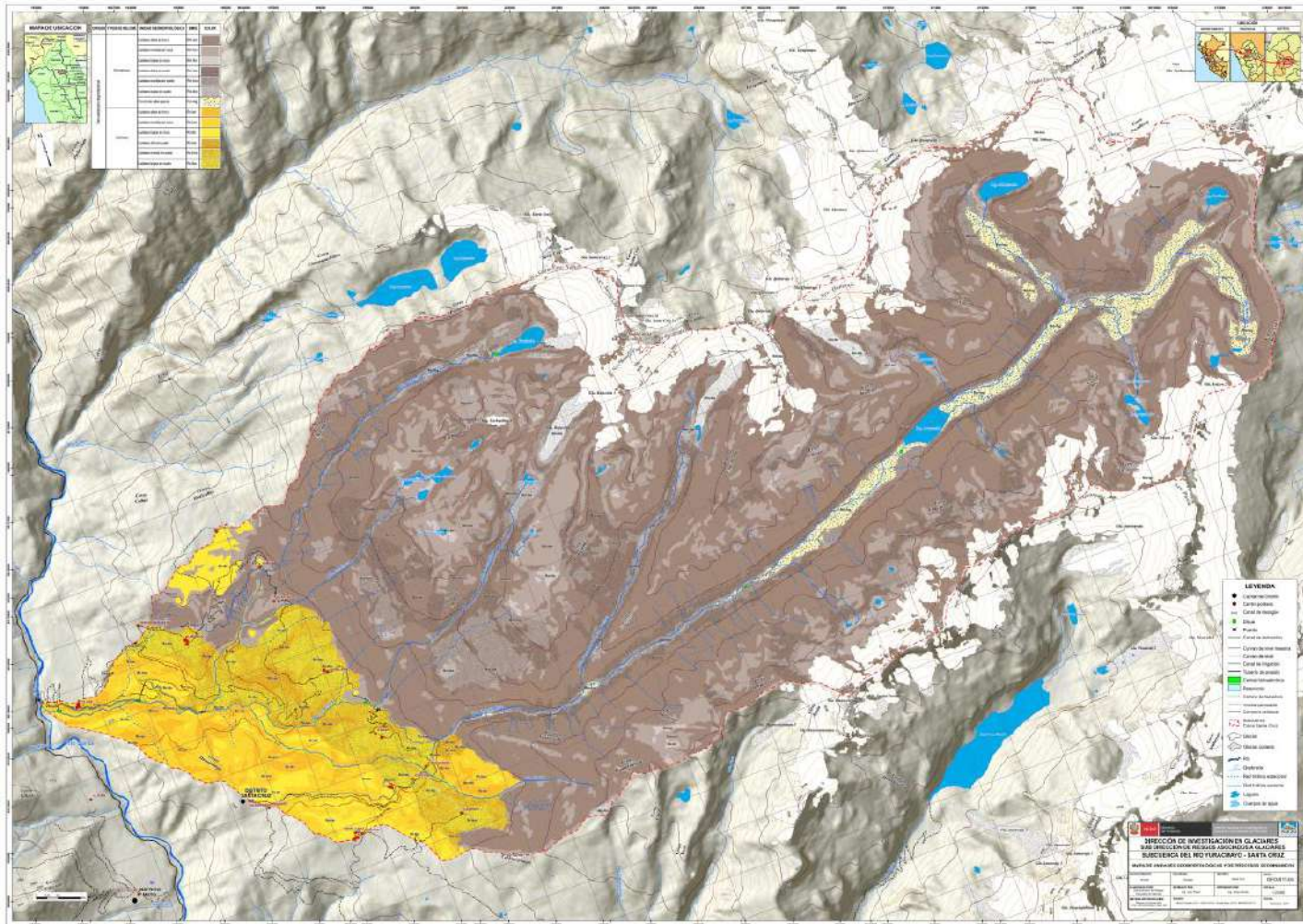
También llamadas lomas en algunos casos, las colinas suelen surgir por motivos geomorfológicos. El traslado de sedimentos provenientes de un glaciar, una falla geológica o la erosión de una montaña son algunas de las causas que pueden llevar, con el paso del tiempo, a la aparición de una colina.

Dentro del área de estudio, el relieve colinoso se encuentra en la parte baja de la subcuenca Santa Cruz, desde la zona de la Falla de la Cordillera Blanca hasta la desembocadura del río Santa Cruz en el río Santa. La litología de esta zona con relieve colinoso la componen las rocas volcánicas de la Formación Yungay y las rocas sedimentarias de la Formación Chicama; encontrándose la morfología colinosa disectada por los principales drenajes de la subcuenca.

3.3. Geomorfogénesis de la subcuenca

La geomorfogénesis, trata del estudio del origen de las geoformas del paisaje, estas geoformas son el resultado de la acción de los agentes geodinámicos y los materiales geológicos. El área de estudio presenta en la parte superior y media rocas intrusivas, modeladas por acción erosiva de los glaciares, que se caracterizan por presentar un relieve montañoso, la parte baja de la subcuenca se conforma de depósitos cuaternarios glaciáricos y roca volcánica que dan origen a un relieve colinoso que es erosionado por el agente geodinámico fluvial.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
Figura 17: Mapa de Unidades Geomorfológicas del Area de Estudio



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

3.4. Unidades geomorfológicas

Ladera

Laderas de montaña moderadamente Empinadas (Lmme)

Se trata de relieves con pendientes que fluctúan entre los 35% y los 50%. El material que lo compone en su mayoría es de cobertura (derrubio) y en las partes bajas son residuales, los fenómenos que se traducen son: excavaciones y erosión en cárcavas profundas y ruptura de pendientes en 1ro y 2do orden, esta zona tiene mayor intervención agrícola, por ende, mayor problema de erosión.

Fotografía N° 54: Ladera de montaña moderadamente empinada, quebrada Santa Cruz.



Fuente: INAIGEM, Octubre 2017.

Laderas de montaña fuertemente empinadas (Lmfe)

Su pendiente va de 50% a 70%, generalmente ubicados en la cabecera de la subcuenca y en la parte baja de la quebrada Santa Cruz. Los fenómenos que se presentan son a menudo desprendimiento de rocas.

Fotografía N° 55: Ladera de montaña fuertemente empinada, quebrada Santa Cruz.



Fuente: INAIGEM, Octubre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Colinas

Colinas altas moderadamente disectadas (Camd)

Se han identificado unidades de moderada extensión y se localizan aproximadamente entre los 2 800 y 3 200 m.s.n.m., con pendientes de 10 % a 25 %, Se encuentran disectadas por quebradas intermitentes poco profundas donde afloran rocas volcánicas. Gran parte de esta unidad está conformada por suelos agrícolas con intensos procesos erosivos (cárcavas).

Fotografía N° 56: Colinas altas moderadamente disectadas, término del valle glaciar, quebrada de Cruz.



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Colinas altas fuertemente disectadas (Cafd)

Se han mapeado superficies de gran extensión, estas geoformas se evidencian en la parte baja de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, cuyas características principales son las pendientes fuertes sobre laderas empinadas. Están constituidas por depósitos fluviales, glaciáricos, depósitos de caída como deslizamientos o movimientos en masas y afloramiento de rocas sedimentarias en menor proporción, donde los procesos erosivos son menos intensos que en la unidad anteriormente mencionada.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 57: Colinas altas, fuertemente disectadas, quebrada Santa Cruz.



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Depresión Intramontaños

Terraza Fluvial (Tfl)

Ocupando gran parte de los depósitos fluviales reciente con pendientes inferiores a 5 % que son susceptibles a cambios morfológicos por efectos de inundación de cauces de aluvión, estos suelos en su mayoría son utilizados como terrenos agrícolas y pastizales. Constituidas de pequeñas plataformas sedimentarias construidas en el valle fluvial del río por los propios sedimentos del río Santa Cruz, que se depositan en ambos márgenes del cauce en los lugares donde la pendiente del río es menor, por lo que su capacidad de arrastre también es menor.

Fotografía N° 58: Terraza fluvial, valle de Santa Cruz.



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Planicie Aluvional (Palv)

Unidad que se encuentran en las partes medias de la depresión y parte del pie de montaña, con pendientes de 5 % a 10 %. Constituidos por depósitos aluvionales conformado por planicies de mayor pendiente y extensión, está ubicado encima de las terrazas fluviales producto de antiguos aluviones o huaycos que han rellenado las partes medias del valle, en la zona de estudio. (Ver fotografía N° 39).

Fotografía N° 59: Planicie Aluvional, parte posterior de la laguna Jatuncocha.



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

Glaciar

Comprendido por los nevados: Pucajirca Oeste, a los pies de este nevado se encuentra la laguna Arhuaycocha; los nevados Artezonraju, Millisraju y Parón, a los pies de los cuales se encuentran las lagunas Artizon Alto y Bajo; y el nevado Tulliraju, a los pies del cual se ubica la laguna Tullicocha.

Los circos glaciares existentes, están sujetos a las variaciones climatológicas regionales. Los nevados Pucajirca y Artezonraju, por su naturaleza están asociados a avalanchas o aludes, derrumbes, caída de rocas y detritos. La acumulación en los nevados mencionados se da por las precipitaciones sólidas (nieve, granizo, escarcha) durante el periodo lluvioso del año.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
Fotografía N° 60: Nevados Artesonraju



Fuente: INAIGEM, Septiembre 2017.

Fotografía N° 61: Nevado Pucajirca Oeste, al pie de este nevado ubicada la laguna Arhuaycocha.



Fuente: INAIGEM, Septiembre 2017.

Lagunas:

Laguna Taullicocho:

Esta laguna tiene una forma ligeramente alargada; de acuerdo a la última batimetría realizada por la UGRH, en junio 2007, tiene las siguientes medidas: 495 m de largo y 372 de ancho; volumen almacenado de agua de 2 427 487,0 m³ y profundidad máxima de 37 m.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

En la zona posterior, se observa un farallón rocoso, debajo del cual, podemos visualizar conos de escombros, sobre los cuales impactan los bloques de hielo que se desprenden de los glaciares.

Fotografía N° 62: Vista de la zona de emplazamiento de la laguna Taullicocha



Fuente: INAIGEM, Septiembre 2017.

Laguna Arhuaycocha

Históricamente, no se conoce de registros de eventos catastróficos de esta laguna; no obstante, si se ejecutaron obras de control del nivel de la laguna, por ende, drena sus aguas a través de un canal rectangular de mampostería de piedra; además, en la zona baja del depósito glaciar frontal de la laguna Arhuaycocha, se visualizan humedales lacustres, los cuales son evidencia del flujo hídrico bajo el dique natural existente en dicha laguna.

Fotografía N° 63: Vista de la zona de emplazamiento de la laguna Arhuaycocha



Fuente: INAIGEM, Septiembre 2017.

De acuerdo a los levantamientos batimétricos realizados en los años 2004 y 2011 (ANA.UGRH, 2011), se puede conocer que, en dicho periodo la laguna incrementó su volumen en 391 946,95 m³, pasando de 19 158 848,00 m³ a 19 550 794,95 m³, con una profundidad máxima de 99.43 m. De otra parte, de acuerdo a la estimación del volumen probable de avalancha mediante Modelo (MFS), realizado por el INAIGEM, se determinó un probable volumen de

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

avalanchas del glaciar Pucajirca (oeste), de 118 678,04 m³, hacia la laguna; situación potenciada por el desconocimiento del estado del macizo rocoso, que subyace a los glaciares, y su exposición a eventos detonantes como sismos.

Artizón Alto y Artizón Bajo

En la parte inferior del glaciar Arzezonraju, se emplaza la laguna Artizón Alto, la cual desemboca sus aguas en la laguna recientemente desbordada (año 2012), Artizón Bajo. Es de precisar que, el dique natural pre existente de la laguna Artizón Bajo fue desplazado y removido aguas abajo, situación que permitió que en la actualidad dicha laguna posea un nivel aparentemente bajo. Situación que genera que actualmente no represente un peligro de consideración.

Fotografía N° 64: Laguna Artizón Bajo



Fuente: INAIGEM, Septiembre 2017

Fotografía N° 65: Laguna Artizón Alto



Fuente: INAIGEM, marzo 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Laguna Jatuncocha:

En el año 2012, la laguna Jatuncocha, sufrió el paso del aluvión proveniente de la laguna Artizón, el mismo que provocó daños en las estructuras del dique, afectando la zona de ingreso a los conductos cubiertos y el canal de salida, visualizándose el colapso de las paredes y aletas de dicho canal. Asimismo, el impacto del flujo que atravesó los conductos del dique, habría generado daños no visibles, en la estructura interna del dique.

Jatuncocha es una laguna que, por sus características morfológicas, tiene condiciones de retención material de escombros (material aluvional) ante cualquier posible desborde de las lagunas Arhuaycocha, Taullicocha o Artizón Baja y Alta; no obstante, ante un evento extremo, tiene riesgo de colapso; respecto de lo cual, debe tenerse en cuenta que, aguas abajo existen poblaciones asentadas e infraestructura hidroeléctrica, que podrían ser afectadas.

Fotografía N° 66: Laguna Jatuncocha.



Fuente: INAIGEM, Junio 2017

3.5. Zonificación de Pendientes

La zonificación de pendientes dentro de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz se basa en información Alos – Palsar, corregida y procesada por la subdirección de Investigación Glaciológica y los criterios considerados en el Reglamento de Clasificación de Tierras del DS N°062/75-AG; enfocado en la clasificación larga de pendientes, de donde la zonificación de las pendientes del área de estudios se registrará según la Tabla N° 12.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Tabla N° 15: Zonificación de Pendientes.

Rango		Clase de Pendiente	Descripción
Porcentaje	Grados		
0-2%	0 - 0,9°	A	Plana o casi a nivel
2-4%	0,9° - 1,8°	B	Ligeramente inclinado
4.-8%	1,8° - 3,6°	C	Moderadamente inclinada
8.-15%	3,6° - 7,8°	D	Fuertemente inclinada
15-25%	7,8° - 11,3°	E	Moderadamente empinada
25-50 %	11,3° - 22,5°	F	Empinada
50-75%	22,5° - 33,8°	G	Fuertemente empinada
>75%	33,8° <	H	Extremadamente empinada

Fuente: ONERN 1971..

A partir de la zonificación de pendientes, se elabora una tabla de unidades geomorfológicas con predominancia de los relieves montañosos y colinosos, como se muestra en la tabla N° 13:

Tabla N° 16:: Tabla de Clasificación Geomorfológica basada en la zonificación de pendientes.

GEOLOGÍA	SUSCEPTIBILIDAD	SIMBL_GEOMORF_MONTAÑA	SIMBL_GEOMORF_COLINA	DESCRIP_GEOMORFO_MONTAÑA	DESCRIP_GEOMORFO_COLINA
Js-ch	Muy bajo	Rm-lbr/Rm-fvg	Rc-lbr/Rc-fvg	Relieve montañoso con laderas bajas en roca / Relieve montañoso en fondo de valle glaciar	Relieve colinoso con laderas bajas en roca / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar
	Bajo	Rm-lbr/Rm-fvg	Rc-lbr/Rc-fvg	Relieve montañoso con laderas bajas en roca / Relieve montañoso en fondo de valle glaciar	Relieve colinoso con laderas bajas en roca / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar
	Medio	Rm-lmr	Rc-lmr	Relieve montañoso con laderas medias en roca	Relieve colinoso con laderas medias en roca
	Alto	Rm-lar	Rc-lar	Relieve montañoso con laderas altas en roca	Relieve colinoso con laderas altas en roca
	Muy alto	Rm-lar	Rc-lar	Relieve montañoso con laderas altas en roca	Relieve colinoso con laderas altas en roca
N_cb-gd/to	Muy bajo	Rm-lbr/Rm-fvg	Rc-lbr/Rc-fvg	Relieve montañoso con laderas bajas en roca / Relieve montañoso en fondo de valle glaciar	Relieve colinoso con laderas bajas en roca / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar
	Bajo	Rm-lbr/Rm-fvg	Rc-lbr/Rc-fvg	Relieve montañoso con laderas bajas en roca / Relieve montañoso en fondo de valle glaciar	Relieve colinoso con laderas bajas en roca / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar
	Medio	Rm-lmr	Rc-lmr	Relieve montañoso con laderas medias en roca	Relieve colinoso con laderas medias en roca
	Alto	Rm-lar	Rc-lar	Relieve montañoso con laderas altas en roca	Relieve colinoso con laderas altas en roca
	Muy alto	Rm-lar	Rc-lar	Relieve montañoso con laderas altas en roca	Relieve colinoso con laderas altas en roca
Nmp-yu	Muy bajo		Rc-lbr/Rc-fvg		Relieve colinoso con laderas bajas en roca / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar
	Bajo		Rc-lbr/Rc-fvg		Relieve colinoso con laderas bajas en roca / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar
	Medio		Rc-lmr		Relieve colinoso con laderas medias en roca
	Alto		Rc-lar		Relieve colinoso con laderas altas en roca
	Muy alto		Rc-lar		Relieve colinoso con laderas altas en roca
Q-av	Muy bajo	Rm-lbs/Rm-fvg	Rc-lbs/Rc-fvg	Relieve montañoso con laderas bajas en suelo / Relieve montañoso en fondo de valle glaciar	Relieve colinoso con laderas bajas en suelo / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar

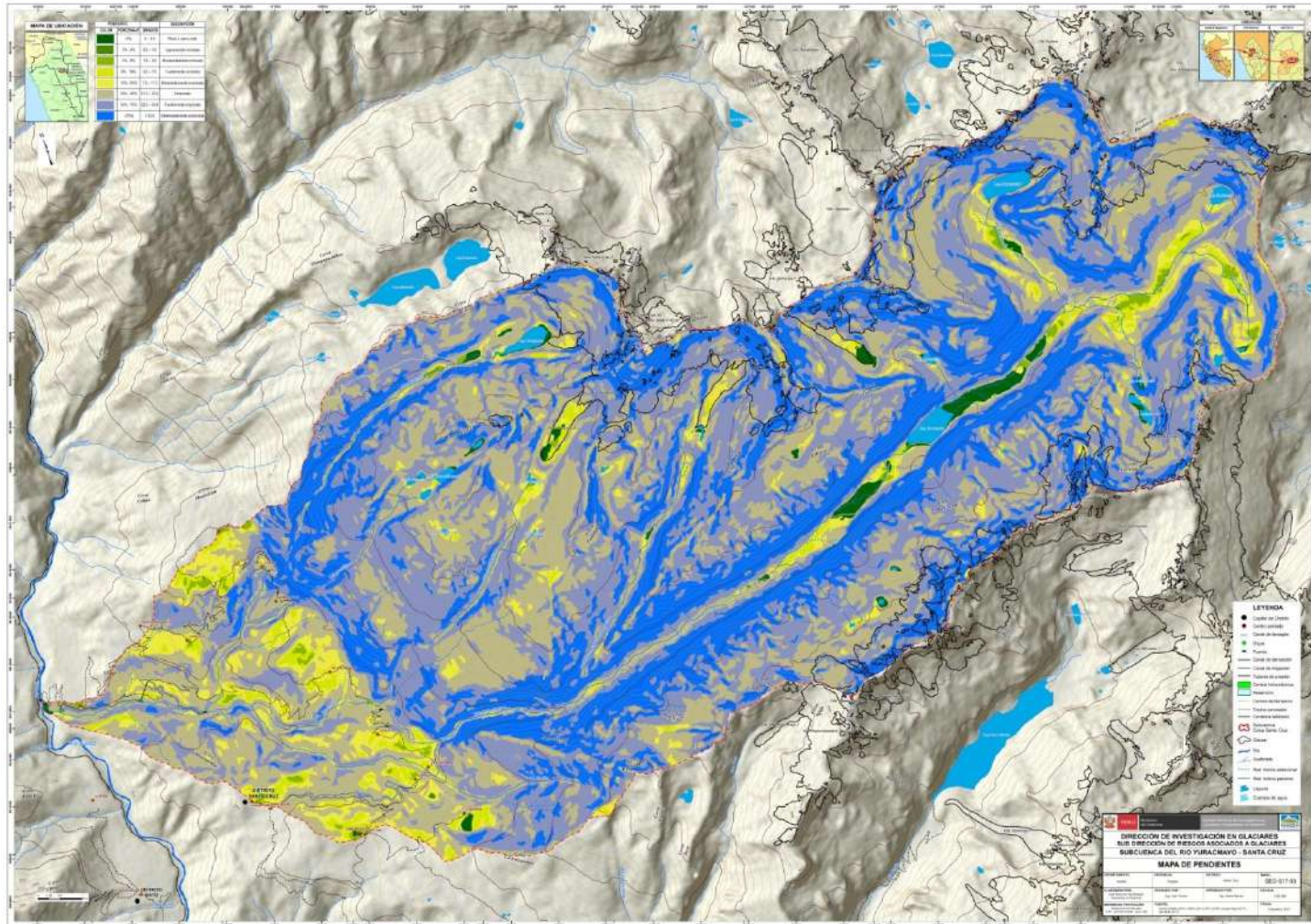


“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

	Bajo	Rm-lbs/Rm-fvg		Relieve montañoso con laderas bajas en suelo / Relieve montañoso en fondo de valle glaciar	
	Medio	Rm-lms		Relieve montañoso con laderas medias en suelo	
	Alto	Rm-las		Relieve montañoso con laderas altas en suelo	
	Muy alto	Rm-las		Relieve montañoso con laderas altas en suelo	
Q-la	Muy bajo	Rm-lbs/Rm-fvg	Rc-lbs/Rc-fvg	Relieve montañoso con laderas bajas en suelo / Relieve montañoso en fondo de valle glaciar	Relieve colinoso con laderas bajas en suelo / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar
	Bajo	Rm-lbs/Rm-fvg	Rc-lbs/Rc-fvg	Relieve montañoso con laderas bajas en suelo / Relieve montañoso en fondo de valle glaciar	Relieve colinoso con laderas bajas en suelo / Relieve colinoso en fondo de valle glaciar
	Medio	Rm-lms	Rc-lms	Relieve montañoso con laderas medias en suelo	Relieve colinoso con laderas medias en suelo
	Alto	Rm-las	Rc-las	Relieve montañoso con laderas altas en suelo	Relieve colinoso con laderas altas en suelo
	Muy alto	Rm-las	Rc-las	Relieve montañoso con laderas altas en suelo	Relieve colinoso con laderas altas en suelo

Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

Figura 18: Mapa de Pendiente del Area de Estudio

Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

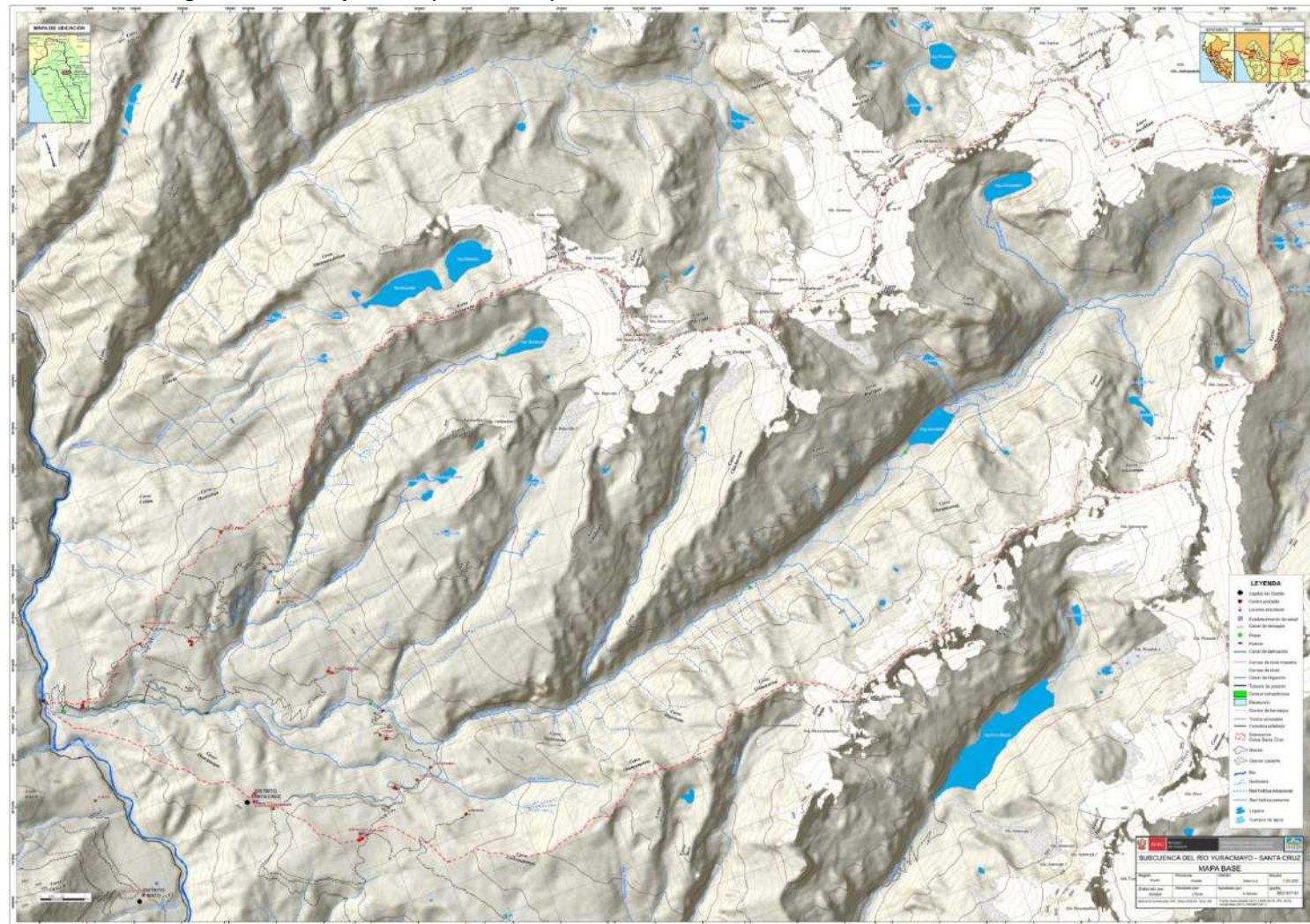
3.6. Zonificación Altitudinal (Planimétrico)

Mediante los distintos procedimientos y métodos, que se han utilizado para lograr representar a escala, los detalles del área total sobre una superficie plana de la subcuenca del río Colcas – quebrada Santa Cruz. Estos métodos y procedimientos han sido llevados al plano, a un mayor detalle, donde se han incorporado no solo los límites y superficie del terreno, sino también elementos singulares, tanto de obra civiles (viviendas, caminos, canales, presas de seguridad, entre otros) o del territorio (torrente activos e inactivos, zonas de pastizales, boscosas y de cultivo, entre otros).

Todos estos detalles de planimetría lo podemos observar en la Figura N° 17, (Ver Anexo de Mapas: mapa base, mapa de pendientes, mapas geológicos, mapas geomorfológicos-geodinámicos y geotécnicos).

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Figura N° 179: Mapa Base (Planimetría) – Subcuenca del Río Colcas, Quebrada Santa Cruz.



Fuente: INAIGEM, Mayo 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

3.7. Geodinámica Externa

Estos procesos se encuentran modelando el actual relieve de la superficie terrestre por la acción de los agentes atmosféricos (aguas, hielos, gravedad, etc.). Este proceso comprende dos procesos bien marcados, la degradación y agradación.

La degradación es el desgaste que los agentes atmosféricos causan en la corteza a través de la meteorización y erosión. La gradación es un proceso a través del cual ocurre la sedimentación y litificación de los materiales arrancados de la corteza durante la meteorización y erosión.

3.7.1. Principales Procesos Geodinámicos

3.7.1.1. Derrumbes

Caídas masivas y activas de fragmentos y escombros rocosos, de poca magnitud, que se presentan con mucha frecuencia en tramos relativamente cortos, los encontramos localmente en la parte baja de la subcuenca del río Santa Cruz. Las principales causas son la gravedad terrestre, la fracturación de las rocas, los efectos de la meteorización, la acción de las raíces.

Los factores que activan los derrumbes por lo general son los movimientos sísmicos, la erosión y la pendiente de los taludes; siendo los más propensos a estos fenómenos, los taludes verticales de rocas fracturadas y suelos inestables. En el área de estudio tenemos zonas de deslizamientos generados por el corte del río Colcas, en la parte baja de la subcuenca.

Fotografía N° 67: Derrumbes locales de material cuaternario.



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017

3.7.1.2. Caída de rocas y detritos

Es la separación, caída, rodamiento, y rebote de fragmentos de roca. En el caso de caída de rocas, puede tratarse de un solo fragmento, o de un grupo de ellos, pero en este último caso, existe poca interacción dinámica entre las partículas

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
individuales. El tamaño de los detritos es variable, desde pequeños de centímetros hasta considerables dimensiones.

Los depósitos de caída se generan en las zonas donde la pendiente del talud es elevada. Los detritos que genera el intemperismo, son llevados a las partes bajas por acción de la fuerza de la gravedad terrestre. Este proceso genera depósitos inconsolidados, debido a que el porcentaje de matriz es muy pequeño. Dentro del área de la subcuenca tenemos depósitos originados por la caída de rocas y detritos en la parte media de la Quebrada Cholin.

Fotografía N° 68: Depósito de Caída de rocas y detritos.



Fuente: INAIGEM, 2017.

3.7.1.3. Flujo de lodos y detritos

Son flujos torrenciales constituidos por una mezcla de materiales detríticos heterogéneos, predominantemente, limos arcillosos saturados de agua, que se desplazan a lo largo de una quebrada preferente. Este evento geodinámico tuvo lugar en el área de estudio, en el año 2012, cuando la laguna Artizón Alto, se desbordó producto de la caída de un bloque de hielo del glaciar Artizón.

Estos flujos incluyen en su carga sólida, fragmentos de roca de diferentes tamaños, inclusive bloques rocosos que se depositan a lo largo del cauce de su recorrido.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 69: Erosión por flujo de lodo y detritos.



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

3.7.1.4. Avalanchas de hielo

Son los desprendimientos de masa de hielos y roca descompuesta, que ocurren en los frentes glaciares, teniendo como factores: la pendiente, la gravedad, cambios en las condiciones térmicas, presencia de agua de fusión, el retroceso glaciar y el factor sísmico.

Fotografía N° 70: Se observa una avalancha de masa glaciar, suscitada en el glaciar Pucajirca (Oeste).



Fuente: INAIGEM, 2015

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 71: Se observan bloques de hielo sobre el espejo de agua de la laguna Arhuaycocha, producto de una avalancha.



Fuente: INAIGEM, 2015

3.7.1.5. Erosión en Cárcavas

Son cárcavas o surcos que se forman en las laderas, por acción de las aguas superficiales que al desplazarse ladera abajo, tienen la capacidad de erosionar los materiales finos de la superficie a lo largo de su recorrido.

Las cárcavas evolucionan tanto a profundidad, a lo largo de su eje longitudinal, como hacia los extremos laterales; ganando así profundidad y extensión muy rápidamente.

Fotografía N° 72: Erosión Hídrica en Cárcavas.



Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

4. ASPECTOS GEOTECNICOS

4.1 Introducción

La investigación geotécnica corresponde a la evaluación de afloramientos rocosos mediante la ejecución de Estaciones de Mapeos Geomecánico (EMG) aplicando el método celda de detalle para la adquisición de los datos de campo y a la evaluación del tipo de suelos que podemos encontrar en esta subcuenca. Las EMG consisten en obtener las características siguientes como: dirección de buzamiento y buzamiento del plano de las discontinuidades, cantidad o número, espaciamiento, forma, rugosidad, apertura, relleno, meteorización, persistencia, presencia de agua, entre otras características que tiene un macizo rocoso. Esta adquisición de campo contribuye en conocer las principales familias de discontinuidades o estructuras que dominan al macizo rocoso a través de las EMG investigadas.

En cuanto a la descripción geotécnica de suelos, se realizó considerando el tipo de depósito cuaternario al que pertenece y sus características morfológicas.

4.2 Características Geotécnicas Generales

El nivel de susceptibilidad (mayor o menor) a los movimientos en masas como desprendimiento o caída de rocas está influenciada en forma directa por las características estructurales dominantes respecto a su relación favorable o desfavorable a la pendiente del terreno y por la morfología de los suelos, identificándolos y clasificándolos para que, mediante una serie de estudios de campo (In Situ), tales como calicatas, trincheras, perfiles, sondeos, etc., se tengan los datos necesarios para realizar los modelamientos de flujos de escombros, en la subcuenca del río Colcas-Santa Cruz.

4.2.1 Caracterización Geotécnica

4.2.1.1 Basamento Rcoso

Esta unidad está compuesta litológicamente por rocas intrusivas (granodiorita y tonalita), rocas sedimentarias (areniscas y lutitas metamorizadas) y por rocas volcánicas (tobas de cristales).

En síntesis, se ha realizado treinta y siete (37) estaciones de mapeo Geomecánico (EMG) que han sido de 10 a 15 m. de longitud aprox. Se ha procesado y sistematizado la información de campo con respecto a la dirección de buzamiento y buzamiento de los planos de las discontinuidades mediante el programa DIPS v5.0 para obtener las rosetas de las familias de orientación para cada estación Geomecánica.

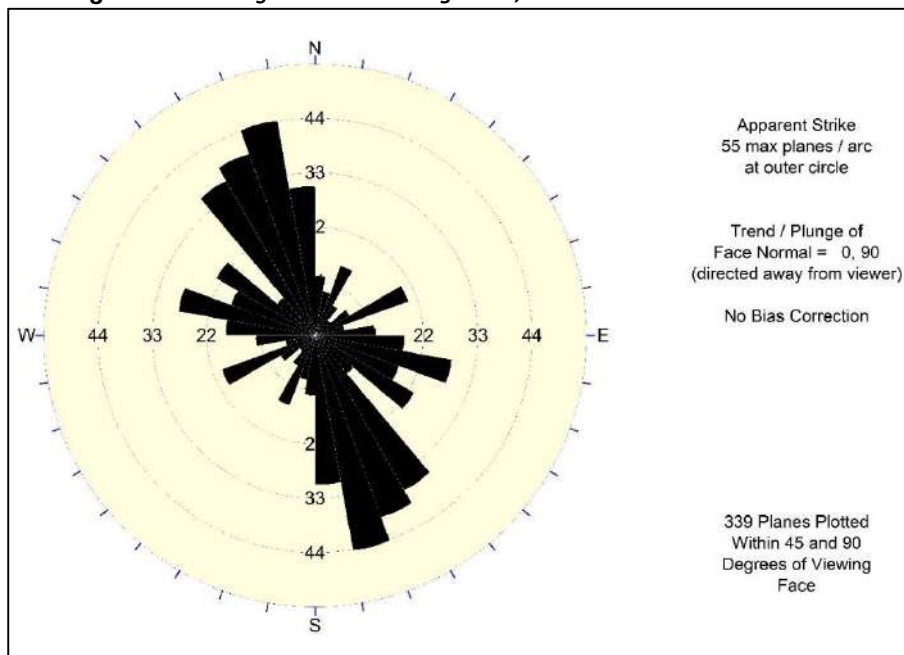
De acuerdo a las características litológicas y geomecánicas, se describió geotécnicamente las rocas, teniendo en esta subcuenca: Rocas de alta resistencia (R-II), Rocas de resistencia media (R-III) y Rocas de baja resistencia (R-IV).

A continuación, se muestra la Tabla N° 14, donde se resumen los resultados obtenidos por cada EMG y sus principales familias de discontinuidades, así mismo en el “ANEXO C-Registro de data Estructural”, se muestra las figuras de Diagrama de Rosetas por cada EMG echa en la mencionada subcuenca.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
Tabla N° 17: Resumen de las Principales Familias de Discontinuidades por cada Estación de Mapeo Geomecánico de la Subcuenca del río Colcas-Santa Cruz (37 EMG).

ITEM	ESTACION	FAMILIAS	ITEM	ESTACION	FAMILIAS
01	EMG-S01	NW-SE / NNE-SSW / NNW-SSE / ENE-WSW	20	EMG-S21	NE-SW / WNW-ESE
02	EMG-S02	N-S / ENE-WSW / E-W	21	EMG-S22	N-S / E-W
03	EMG-S03	N-S / ENE-WSW / E-W	22	EMG-S23	ENE-WSW / NW-SE
04	EMG-S04	NNE-SSW / NNW-SSE / ENE-WSW	23	EMG-S24	NW-SE / N-S
05	EMG-S05	ENE-WSW / NW-SE	24	EMG-S25	WNW-ESE / N-S
06	EMG-S06	WNW-ESE / NNE-SSW	25	EMG-S26	NNW-SSE
07	EMG-S07	N-S / E-W	26	EMG-S27	N-S / WNW-ESE / E-W
08	EMG-S08	WNW-ESE	27	EMG-S28	NW-SE / NNW-SSE / E-W
09	EMG-S09	WNW-ESE	28	EMG-S29	NW-SE / NNW-SSE / WNW-ESE / N-S
10	EMG-S10	NNE-SSW / NNW-SSE / ENE-WSW / E-W	29	EMG-S30	NW-SE / N-S
11	EMG-S11	WNW-ESE / NW-SE / N-S	30	EMG-S31	WNW-ESE / E-W
12	EMG-S12	WNW-ESE / N-S	31	EMG-S32	NNW-SSE / NE-SW / NNE-SSW
13	EMG-S13	NNW-SSE / E-W / NNE-SSW	32	EMG-S33	NNW-SSE / E-W
14	EMG-S14	WNW-ESE	33	EMG-S34	NW-SE / ENE-WSW
15	EMG-S15	E-W / NE-SW	34	EMG-S35	NNW-SSE / NE-SW
16	EMG-S16	N-S / NE-SW / E-W	35	EMG-S36	NNE-SSW / NW-SE / E-W
17	EMG-S17	NNW-SSE / ENE-WSW	36	EMG-S37	NNW-SSE / NNE-SSW
18	EMG-S18	NNW-SSE / ENE-WSW	37	EMG-S38	NNW-SSE
19	EMG-S19	NE-SW			

A continuación, en la figura adjunta (Figura N° 17), se presenta el “Diagrama de Rosetas”, representando a todas las familias de discontinuidades realizadas en la quebrada Santa Cruz, donde se observa tres orientaciones preferentes de discontinuidades: NNW-SSE, WNW-ESE y NE-SW.

Figura N° 20: Diagrama de Rosetas general, subcuenca Colcas-Santa Cruz.


Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

*“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”***4.2.1.2 Suelos**

Esta unidad está compuesta de material cuaternario, comprendido por: Depósitos Glaciáricos, Depósitos Lacustrinos, Depósitos Aluvionales, Depósitos Fluvioglaciares, Depósitos Fluviales y Depósitos Coluviales. Cabe mencionar que en base a esta clasificación de depósito cuaternarios y a sus características como edad geológica, composición, compacidad y geomorfología, se ha descrito geotécnicamente los suelos, teniendo en esta subcuenca: Suelos de muy baja resistencia (S-V), Suelos de baja resistencia (S-IV), Suelos de resistencia media (S-III) y Suelo de alta resistencia (S-II).

4.3 Unidades Geotécnicas

En la tabla adjunta (Tabla N° 15), se describen las unidades geotécnicas presentes en la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz; las cuales han sido catalogadas de acuerdo a características geotécnicas, relacionadas a aspectos geológicos, morfológicos y geo-mecánicos, lo cual permite realizar una clasificación de acuerdo al nivel de competencia del material, y es plasmado en el mapa de unidades geotécnicas. Ver figura N° 19.

**Tabla N° 18: Descripción de Unidades Geotécnicas
Subcuenca del Río colcas, Quebrada Santa Cruz**

UNIDADES GEOTÉCNICAS				
TIPO	UNIDAD		CARACTERÍSTICAS GEOLOGICA	DESCRIPCIÓN
Roca		R-II	Roca Intrusiva (Granodiorita-Tonalita)	Roca de alta resistencia
		R-III	Roca Sedimentaria (Areniscas y lutitas metamorfizadas)	Roca de resistencia media
		R-IV	Roca Volcánica (Tobas dacítica y de cristales)	Roca de baja resistencia
Suelo		S-II	Depósitos Glaciáricos	Suelo de alta resistencia
		S-III	Depósitos Fluvioglaciares	Suelo de resistencia media
		S-IV	Depósitos Fluviales	Suelo de baja resistencia
		S-V	Depósitos Lacustrinos, Coluviales y Aluvionales.	Suelo de muy baja resistencia

Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

5. ASPECTOS AMBIENTALES

5.1. Clima

De acuerdo a información que obra en el SENAMHI, se tiene un clima lluvioso semi frígido. Este tipo climático en la región andina, se extiende entre 3500 y 6000 msnm.

5.1.1. Precipitación

La zona de estudio se caracteriza por presentar precipitaciones anuales, en promedio, de 700 mm, siendo una zona lluviosa.

5.1.2. Humedad

Presenta veranos lluviosos e inviernos secos con heladas moderadas.

5.1.3. Temperatura

La zona es semi frígida, con temperaturas medias anuales de 12°C y nieves perpetuas en alta montaña.

5.1.4. Viento

La mitad de la velocidad media del viento en el año 2017 fue de 1.519 m/s.

5.2. Hidrografía

La subcuenca hidrográfica, es parte fundamental en el estudio de la respuesta a la precipitación de entrada, en donde ocurren diversos procesos que alteran el escurrimiento de salida. En estos procesos, intervienen la geomorfología de la subcuenca en la que la climatología es el factor más importante, el tipo y uso del suelo, la cobertura vegetal o nivel de urbanización.

5.2.1. Parámetros de la Red Hidrográfica

Existen parámetros calculables que consideran la importancia de estos procesos para establecer comparaciones y establecer subcuencas afines de una forma preliminar. Los parámetros de la red hidrográfica de una subcuenca, más estudiados, fueron calculados y se presentan a continuación:

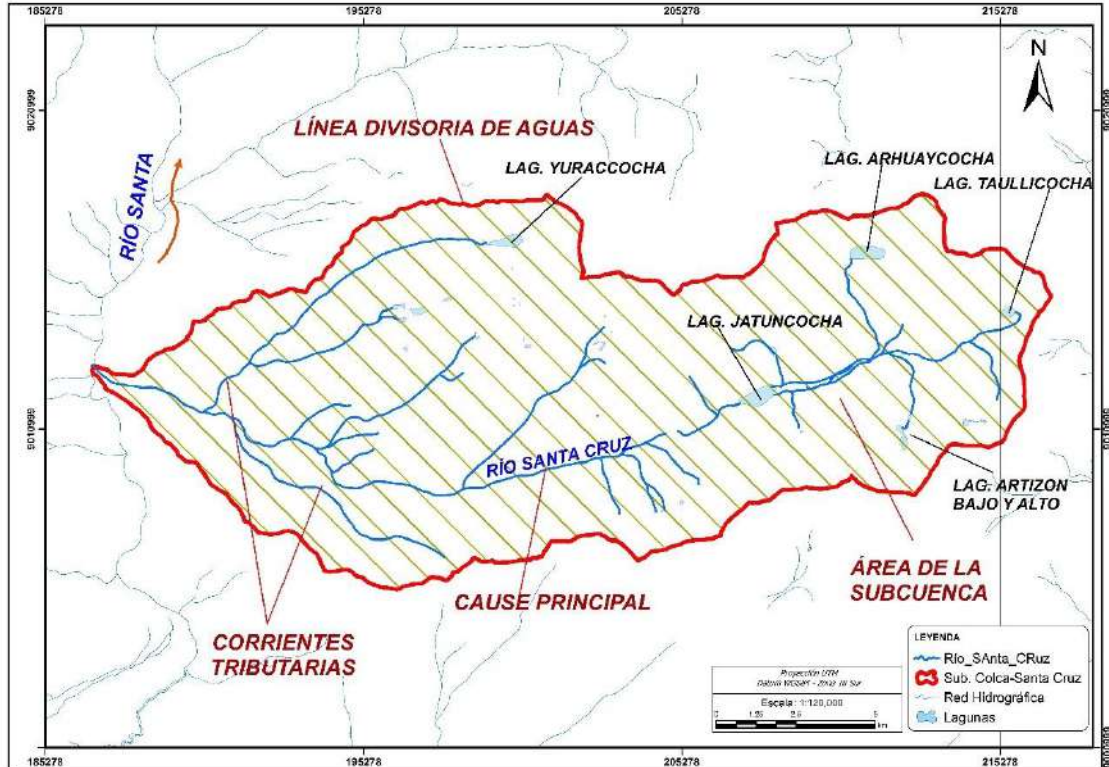
5.2.1.1. Área de la cuenca:

Es la superficie del terreno en las aguas de las precipitaciones que concurren a un mismo punto de evacuación a través de cauces secundarios o quebradas que se unen a un cauce principal. Las aguas de las precipitaciones, lagunas o glaciares que no han sido infiltradas por el suelo se denominan escorrentía superficial y se desplazan desde los puntos de mayor elevación hacia los puntos de menor elevación por efecto de la gravedad, mientras que, las aguas que han sido infiltradas por el suelo se denominan escorrentía subterránea y discurren por su interior similarmente.

La delimitación de la subcuenca hidrográfica del río Colcas, quebrada Santa Cruz, se realizó a través de una línea imaginaria, denominada divisora de agua o “*divortiumaquarium*”, que separa las pendientes opuestas de las cumbres, fluyendo las aguas de las precipitaciones a ambos lados de la línea

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
imaginaria hacia los cauces y/o quebradas de la subcuenca
continuas. A continuación, se muestra los componentes de la
subcuenca del río Colcas. (Ver Figura N° 15).

Figura N° 182: Componentes de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

El área de la cuenca (A_c), es estimada a través de la sumatoria de las áreas comprendidas entre las curvas de nivel y los límites de la cuenca; esta suma será igual al área de la cuenca en proyección horizontal (Km), se puede usar para su cálculo el planímetro, caso contrario el método de la balanza analítica.

Para la subcuenca del Rio Colcas se determinó un área de la sub cuenca de:

$$A_c = 235.0326 \text{ km}^2$$

5.2.1.2. Longitud del Cauce Principal

Es la longitud de la línea, medida sobre el cauce principal, entre el punto de efluencia y un punto sobre la divisoria de aguas que sea de máxima distancia.

Para la subcuenca del Rio Colcas se determinó una longitud del cauce principal de:

$$L_{cp} = 35.128882 \text{ km}$$

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

5.2.1.3. Perímetro de la Cuenca

Es la longitud de la línea divisoria de aguas y conforma el contorno del área de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz. Cuando se compara subcuencas de la misma área, este parámetro es útil para diferenciar la forma de la subcuenca. Es decir, si es alargada o redondeada.

Esta longitud se expresa generalmente en KM y se determina mediante cualquier software existente para estos casos AutoCAD. En ese sentido, para la sub cuenca en estudio fue determinada y corresponde a:

$$P_c = 79.720448 \text{ km}$$

5.2.1.4. Forma de la Subcuenca:

Para identificar las características de forma se emplean varios parámetros asociados con la relación área, perímetro o la longitud del cauce de agua más largo que se define como la distancia desde el punto de la salida de desembocadura de la subcuenca hasta el punto aguas arriba más alejadas. Los índices más usuales son:

a) Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius:

Establece la relación entre el perímetro de la subcuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la subcuenca correspondiente. Este índice representa la forma de la superficie de la subcuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación (López Cadenas de Llano F & Mintegui Aguirre JA, 1987).

De otra manera, este índice se basa en la comparación con una subcuenca ideal de forma circular con sus cauces dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central (TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente, 1998). Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

K_c = Coeficiente de compacidad
P = Perímetro de la cuenca en Km
A = Área de la cuenca en Km²

Donde:

$$A = A_c = 235.0326 \text{ km}^2$$

$$P = P_c = 79,720448 \text{ km}$$

Entonces el Coeficiente de compacidad (**K_c**) de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, es:

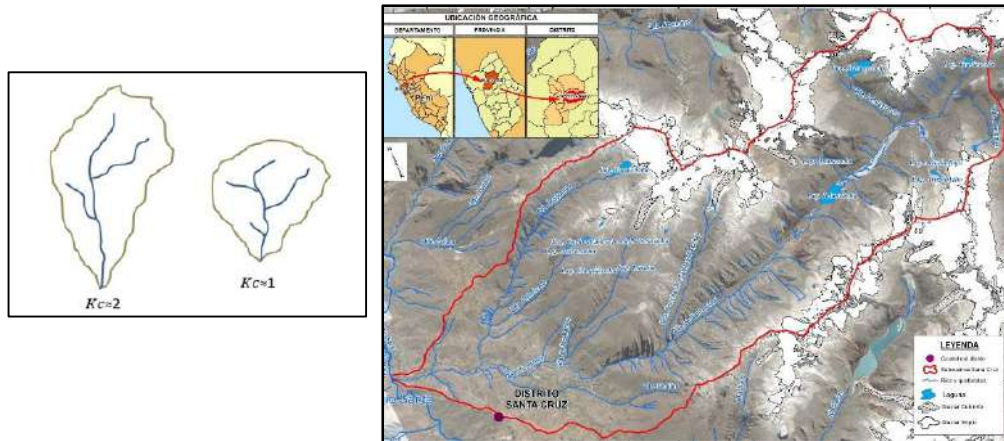
$$K_c = 1.4560$$

Cuando el valor de K_c tienda a uno, la subcuenca tendrá una forma casi circular. Esto significa que las crecientes tendrán mayor coincidencia debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca serán

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

iguales. El tiempo de concentración consiste en la duración necesaria para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de la subcuenca llegue al punto de salida o desembocadura. En nuestro caso, en la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, el valor de K_c tiende a 1 ($K_c=1.4560$) por ende esta subcuenca no es muy alargada. Ver Figura 21).

Figura N° 193: (a.) Comparación de la forma de subcuencas según valores del Coeficiente de Compacidad. (b.) Subcuenca del río Colcas con un $K_c=1.4560$, caracterizándola como poco alargada.



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017.

b) Factor de Forma:

Es un parámetro adimensional, que explica la elongación de una subcuenca; se expresa como la relación entre el área de la subcuenca y la longitud de la misma, y está definido por la siguiente expresión:

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

$Ff =$ Factor de forma
 $A =$ Área de la cuenca en km^2
 $L =$ Longitud de la cuenca en Km

Donde:

$$A = A_c = 235,0326 \text{ km}^2$$

$$L = L_{cp} = 35.128882 \text{ km}$$

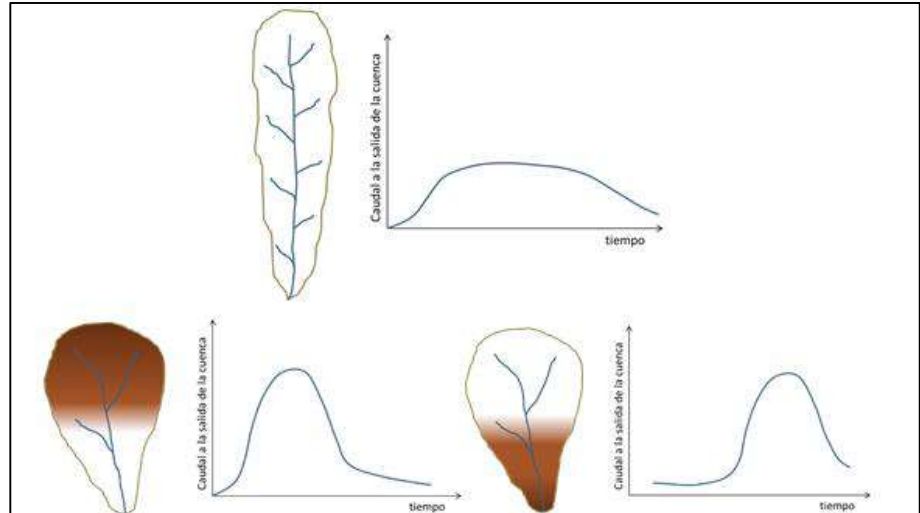
En dicha relación, la longitud de la cuenca puede considerarse por tres criterios diferentes: (a) la longitud del cauce principal considerando su sinuosidad, (b) la longitud del cauce principal considerando el eje del mismo, (c) la distancia en línea recta entre el punto de control de la subcuenca y el punto más alejado de este. En el caso de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, se consideró el criterio (C).

En ese contexto, considerando que, Ff cercano a uno (1), se da en caso de, subcuencas de forma aproximadamente circular; y Ff menores, para subcuencas alargadas; la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, posee una forma alargada.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

En las subcuencas alargadas, las descargas son de menor volumen debido a que, el cauce de agua principal es más largo que los cauces secundarios y los tiempos de concentración para eventos de precipitación son distintos, como se muestra en la Figura 22. Este caso es inverso a lo que ocurre con el coeficiente de compacidad.

Figura N° 204: Influencia de la Configuración de la red Hidrológica en las Descargas.



FUENTE: (López Cadenas de Llano & Mintegui Aguirre, 1987)

De otra parte, en la siguiente tabla se muestra la forma que puede adoptar una subcuenca según rangos aproximados del Factor de Forma (Ver Tabla N° 16).

Tabla N° 19: Rangos aproximados del Factor de Forma.

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

Fuente: Pérez, 1979

En consecuencia, habiéndose aplicado la relación descrita, se determinó el factor de forma (**Ff**) de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, determinándose el valor de:

$$Ff = 0,1904581$$

En nuestro estudio, el factor de forma (**Ff**) está muy lejos de acercarse a uno (1), por ende, es una subcuenca “muy alargada”.

5.2.1.5. Longitud de la Sub Cuenca:

$$Lsc = 30.19028 \text{ km}$$

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

5.2.1.6. Sistema de drenaje

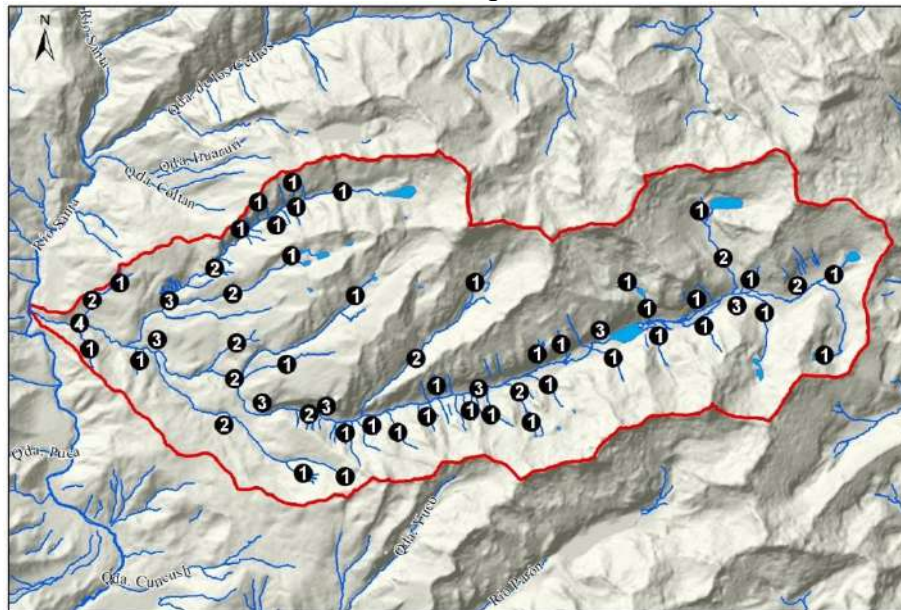
El sistema de drenaje de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, está constituido por un cauce principal y sus cauces tributarios. Mientras más largo es el cauce de agua principal, más ramificaciones tiene la red de drenaje. Los parámetros más representativos son:

a) Orden de los cauces

Existen diversos criterios desarrollados para establecer el orden de los cauces, para cuantificar la magnitud de la red de drenaje en la escorrentía superficial directa. El criterio empleado en este estudio, se basa en el modelo de “Strahler”, consistente en la asignación un número a cada cauce tributario, en forma creciente, desde el inicio de la línea divisora de aguas hasta llegar al cauce principal de manera que el número final señale el orden de la red de drenaje en la subcuenca (Ver figura N° 23).

Las subcuencas altamente “disectadas” tienen un orden de cauce alto y los suelos son relativamente impermeables; entonces, la respuesta a una tormenta es rápida (Aparicio, 1996). La subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, está fuertemente disectada, sobre todo en la parte baja de la subcuenca, originado geformas de cárcavas y surcos, con un orden de cauce tres (3), por lo tanto, tiene un orden de cauce alto. Ver figura N° 23.

Figura N° 215. Ramificación del Cauce Principal de la Subcuenca del Río Colcas, Quebrada Santa Cruz, Según el Modelo de Strahler”



Fuente: INAIGEM, Diciembre 2017

b) Razón de bifurcación

Es un parámetro que resulta de la relación entre el número de cauces de un orden dado y el número de cauces del orden inmediatamente superior (Aparicio, 1996). Su razón obedece a la Ley de Horton, y es la siguiente:

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

$$Rb = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

Rb = Razón de bifurcación

N_n = Número de cauces de un orden dado

N_{n+1} = Número de cauces del orden inmediatamente superior

Donde:

N_n= 37 (Número de cauces de orden 1).

N_{n+1} = 11 (Número de cauces de orden 2).

Entonces la Razón de Bifurcación (Rb) de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, es:

$$Rb = 3.36$$

De acuerdo a la relación de bifurcación, generalmente entre 3 y 5, se da en cuencas con variaciones considerables en sus características geo ecológicas.

En ese contexto, siendo el valor de la Razón de Bifurcación del río Colcas, quebrada Santa Cruz relativamente alto, ello, está determinado por laderas escarpadas y suelos muy erosionables. Además, que, esta subcuenca presenta una amplia red hidrográfica con muchos cauces tributarios con rápida respuesta a la precipitación.

5.3. Ecosistemas de Montaña

5.3.1. Caracterización de los ecosistemas

Los ecosistemas de la subcuenca Santa Cruz, constituyen uno de los recursos naturales de mayor importancia en materia de almacenamiento y regulación hídrica; tienen vegetación todo el año, por lo que las comunidades y poblaciones rurales alto-andinas de la zona, se benefician de la provisión de pastos. Por otro lado, constituyen hábitats especiales para varias especies de animales y plantas; por lo tanto, tiene un alto valor ecológico, científico, recreacional y paisajístico. Asimismo, pueden retener agua durante la temporada lluviosa, amortiguando las inundaciones y manteniendo reservas para la temporada seca, son trampas naturales para la retención de sedimentos, aportan agua a los acuíferos, surten de agua a ríos y manantiales y mejoran la calidad del agua gracias a su capacidad filtradora.

A pesar de la importancia de los ecosistemas, hoy son áreas amenazadas y se han perdido o alterado como consecuencia del drenaje, aluviones, deslizamientos, sobre pastoreo, construcción de infraestructura, contaminación y otras formas de intervención en el sistema ecológico e hidrológico. A continuación, se describe los principales ecosistemas encontrados en la subcuenca Santa Cruz.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Tabla N° 20: Principales Ecosistemas Existente en la Subcuenca del Río Santa Cruz.

N°	ECOSISTEMAS		LUGAR	ÁREA (Has)	COORDENADAS	
					Este	Norte
1	HUMEDALES	Bofedales	Ichicocha*	20	205202	9010908
			Jatuncocha	15	208886	9012294
			Alpamayo	5	210725	9015258
			Taulli	10	212928	9013216
		Lagunas/Cochas	Ichicocha*		205202	9010908
			Jatuncocha		207794	9011726
			Arhuaycocha		210600	9016300
			Taullicocho		215309	9014405
			Artizón		212045	9011314
2	PRADERAS NATIVAS	Pajonal	Alpamayo	20	210913	9014882
			Papa Silvestre	0.5	212308	9011864
3	BOSQUES ANDINOS	Polylepis	Qda. Alpamayo	20	210799	9015343
		Gynoxis/Buddleja	M.I. Quebrada	0.5	208876	9012096
		Gynoxis/Buddleja	M.D. Quebrada	5	211568	9013486
		Aliso (Ribereño)	Hasta Llamacorral	2	198744	9009109
		Matorral	Hasta Llamacorral	10	201913	9009842
TOTAL				108		

Nota (*): Antes del aluvión del 2012 ha sido laguna, en la actualidad es arenal con restos vegetales y se requiere recuperar como bofedal.

Fuente: INAIGEM, Junio 2017.

Las formaciones vegetales observadas en la quebrada de Santa Cruz son predominantemente de los siguientes tipos: Monte Ribereño, Bosques Andinos de Polylepis, Gynosis y Buddleja, Matorrales, Praderas o Pastizales, Comunidades acuáticas y semiacuáticas y Bofedales.

5.3.1.1. Monte Ribereño

Se observa en elevaciones por debajo de los 3850 msnm, el microclima es cálido. Entre las especies que predominan se tiene a *Alnus acuminata* (aliso) en los bordes de los ríos. *Myrica pubescens*, *Vallea stipularis*, que puede constituir ya sea grandes arbustos o pequeños árboles, como otra comunidad que forma parte de los arbustos ribereños.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 73: Vista Representativa de un Monte Ribereño.



Fuente: INAIGEM, Setiembre 2017.

5.3.1.2. Bosques Andinos de *Polylepis*, *Gynoxis* y *Buddleja*

Se observan formaciones boscosas abiertas en áreas secas y arbusto de borde a bosques densos. Podemos observar estos bosques en zonas rocosas con infiltraciones de agua. Las especies asociadas son determinadas por la vegetación subyacente, que usualmente son arbustos secos. Los bosques densos se encuentran a elevaciones ligeramente superiores a los 3800 msnm. Los bosques abiertos son comparativamente pobres en especies que los bosques de elevaciones más altas. Se observa con cierta frecuencia alternar en estos bosques kishuares (*Buddleja incana*).

A elevaciones de 4000 a 4500 msnm, y probablemente en zonas más altas, los bosques pueden ser de especies únicas de *Polylepis weberbaueri* o *Gynoxys oleifolia*, o una mezcla de ambas, y son en estratos que varía desde una densidad cerrada hasta abiertas.

Los estratos puros de *Gynoxys oleifolia* se encuentran en las laderas de la cara norte; los de *Polylepis weberbaueri* prefieren las zonas más altas y frías, especialmente hacia la cara sur; y los bosques mixtos se encuentran en hábitats intermedios. Estos han permitido un buen desarrollo de hierbas subyacentes. Muchas especies de tuberosas (papa silvestre) de *Solanum* se encuentran creciendo en la parte subyacente de los hoyos de suelos (Artizón).

Buddleia incana se encuentra esporádicamente en diferentes situaciones, en su mayoría sobre los 4000 msnm. Puede encontrarse aislada o formando pequeños relictos, o estar cerca de bosques de *Polylepis* – *Gynoxis*. Esta especie puede llegar a ser un árbol muy alto (más de 15 m de altura y 50 cm de diámetro), y es un elemento típico de la flora altoandina (Weberbauer, A, 1945).

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

**Fotografía N° 74: Vista Representativa de un Bosque Andino de
Polylepis**



Fuente: INAIGEM, Setiembre 2017.

5.3.1.3. Matorrales

Matorrales habitan entre los 2800 msnm a 4000 msnm, y se integran con los bosques ribereños. Los arbustos característicos de este tipo de formación son *Baccharis tricuneata*, *Gynoxys caracensis* y *Miconia salicifolia*, *Escallonia resinosa*, *Fuchsia denticulada*, *Myrica pubescens*, *Myrsine dependens*.

5.3.1.4. Praderas o Pastizales

Como formación vegetal, este tipo de vegetación es la más importante. A esta formación vegetal también se conoce como pajonal de puna (para el caso andino). Destaca el dominio escénico de comunidades de poaceas que alternan con herbáceas de otras familias como *Alchemilla*, *Alonsoa*, *Scrophulariaceae*, *Werneria*. Excepcionalmente se encuentran cactáceas, principalmente de los géneros *Opuntia* y *Matucana*.

En el valle de Santa Cruz, los pastizales son muy áridos, y está dominado típicamente por especies del género C4: *Aristida enodis*, *Eragostris aff. Pastoensis*, *Muhlenbergia sp.*, *Schizachyrium sanguineum*, y *Sporobolus lasiophyllus*.

Los pastizales se integran a la vegetación altoandina contigua: matorrales y comunidades semi acuáticas. En el ecotono con otras comunidades, muchas especies que pueden subsistir en otros tipos de vegetación, también pueden observarse en los pastizales.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 75: Vista Representativa de un Pastizal



Fuente: INAIGEM, Setiembre 2017.

5.3.1.5. Comunidades Acuáticas y Semiacuáticas

Esta es una categoría de conveniencia; una colección de ambientes acuáticos que involucran aguas lénticas y suelos saturados: lagos, posas, manantiales, arroyos, pantanos y ciénagas.

Las lagunas en el PNH (Parque Nacional Huascarán) son de origen glaciar, muchas están formadas por las barreras morrénicas contiguas a los glaciares. Löffler (1968) manifiesta que muchos de los lagos altoandinos son de origen glaciar.

Fotografía N° 76: Vista Representativa de un Ambiente Acuático



Fuente: INAIGEM, Setiembre 2017.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

5.3.1.6. Bofedales

Los bofedales más significativos de la quebrada, son Jatuncocha e Ichiccocha; no obstante, habiendo sido esta última evacuada por el aluvión del 2012, en la actualidad, en dicho lugar se observan depósitos de arenales y restos vegetales.

En los bofedales existentes predominan miembros de las familias Ciperaceae, Juncaceae, Poaceae, Plantaginaceae, Briofitos y algunas Asteraceae y entre las especies flotantes tenemos a *Azolla filliculoides* (Azollaceae). Es importante destacar que varias de estas formaciones se observan en cuerpos de agua con drenajes ácidos. Por las características del efluente del sistema del bofedal, podríamos especular que juegan un papel importante en la mejora de la calidad del agua por su capacidad de secuestrar metales pesados y mejorar el pH.

Fotografía N° 77: Vista Representativa de un Bofedal



Fuente: INAIGEM, Setiembre 2017.

6. ASPECTOS GLACIOLÓGICOS

6.1. Introducción

En el Perú y en los trópicos, fundamentalmente, venimos observando cambios en cuanto al clima, los cuales están afectando de forma directa e indirecta a la población. Uno de estos elementos es el retroceso de los glaciares. Estas masas han sido creadas por las condiciones climatológicas (Glaciación: Pleistocénica y Holocénica) y por tanto su variabilidad también depende del clima y de acuerdo a la tecnología actual es posible determinar las condiciones del clima pasado, analizado desde diferentes puntos de vista una muestra de hielo (testigo de hielo glaciar), que almacena data de las condiciones del clima de la época en la cual se precipitó la nieve originaria del hielo formado.

En Perú se tiene la mayor parte de glaciares tropicales con una extensión de 1114.11 km² y en la Cordillera Blanca se encuentra aproximadamente el 40.3% (448.81 Km²) de dichas áreas glaciares (INAIGEM, 2017). Por este motivo, los dos flancos de esta cadena montañosa (Cordillera Blanca) han sufrido las consecuencias de la variabilidad dinámica de esta masa de hielo, básicamente relacionadas con el retroceso glaciar que ha originado la formación de nuevas lagunas, siendo algunas de ellas evidentemente peligrosas, por presentar ciertas condiciones.

La mayor parte de los glaciares de la Cordillera Blanca, de acuerdo a la tipología, son de tipo de glaciar de montaña y glaciar de valle, estando la mayor parte sobre parámetros rocosos de muy fuerte pendiente.

6.2. Glaciares

6.2.1. Definición

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC 2001), definió como glaciar: *“Masa de hielo terrestre que fluye pendiente abajo (por deformación de su estructura interna y por el deslizamiento de su base), encerrado por los elementos topográficos que lo rodean, como las laderas de un valle o las cumbres adyacentes”*. (Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), 2001).

Esta definición concuerda con los lineamientos generales dados por el World Glacier Monitoring Service (WGMS) y la International Permafrost Association (IPA).

6.2.2. Partes de un Glaciar

a. Zona de acumulación: Es aquella zona, con cantidad de nieve y hielo acumulada a lo largo de un año hidrológico; proporciona información acerca de la cantidad de precipitaciones sólidas recogidas por el glaciar durante un año hidrológico (Francou, B, 2004) y (Pouyaud, 2008).

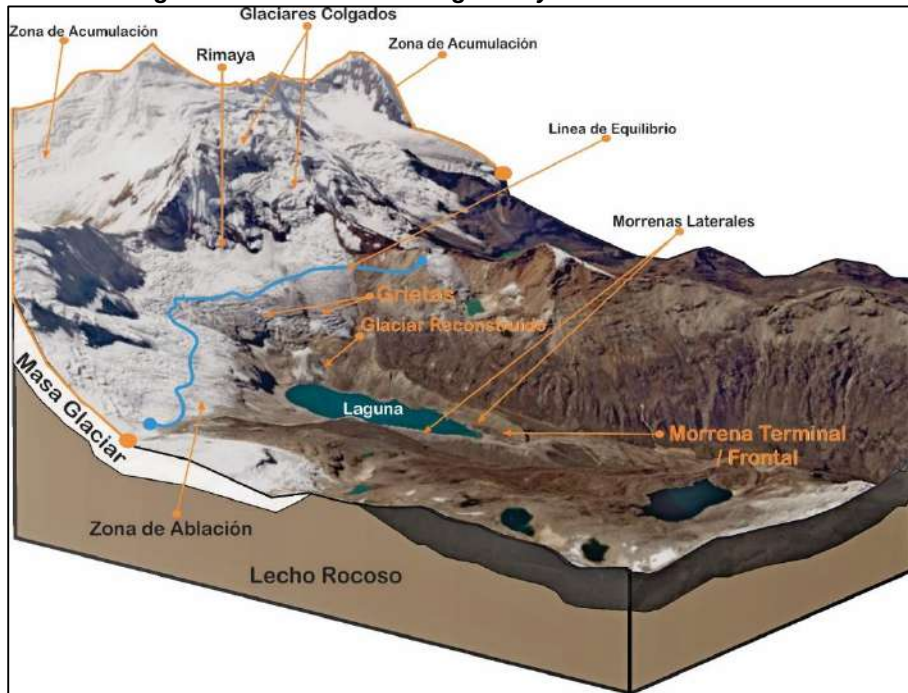
b. Zona de ablación: Es la predominancia de procesos de fusión (pérdida de hielo en forma líquida), evaporización, sublimación y desprendimiento de masas de hielo. (Francou, B, 2004) y (Pouyaud, 2008).

c. Altitud de la Línea de Equilibrio (ELA): Es la línea teórica que separa la zona de acumulación y la zona de ablación. En la primera zona predominan los procesos de ganancia, que propician la conservación de la nieve y su transformación en hielo; en la segunda zona prevalecen la fusión y la sublimación que favorecen la pérdida de masa glaciar. (Úbeda, J, 2010).

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

(Andrews, J.T, 1975) sostuvo que “los parámetros cuantificables más usados para la identificación de la variabilidad climática de los glaciares es la Altitud de la Línea de Equilibrio (siglas en inglés, ELA)”; y los glaciares, a su vez, son indicadores muy sensibles al cambio climático, permitiendo analizar la influencia climática y caracterización ambiental de las zonas con presencia de cobertura glaciar. Ver figura N° 24.

Figura N° 226: Partes de un glaciar y zonas circundantes.



Fuente: INAIGEM, Noviembre 2017.

6.2.3. Tipos de Glaciares

Pese a que, a simple vista los glaciares pueden percibirse como homogéneos o similares entre ellos, en realidad son diferentes. Con el paso de los años los glaciólogos han tratado de agruparlos bajo distintos criterios y, a partir de sus análisis, han observado que las formas, las dinámicas y la localización de las masas de hielo son aspectos que permiten diferenciar los tipos de glaciares.

De esta manera se han definido distintas tipologías para clasificar las diferentes masas de hielo del mundo, que responden a criterios específicos en cada caso. En la Tabla N° 13, se presenta una síntesis de diferentes autores.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Tabla N° 21: Tipologías más Recurrentes para la Clasificación de Glaciares.

Parámetro de clasificación	Tipo	Descripción
Morfología	Valle	Son glaciares que siguen la trayectoria de un valle preexistente, la lengua glaciar es alargada.
	Montaña	Masas de hielo adheridas a las paredes de las montañas, cuyo frente glaciar se encuentran alejadas de los valles, distribuidas generalmente en endientes pronunciadas.
	Glaciaretos	Pequeñas masas de hielo, cuyas zonas de acumulación y ablación no son claramente detectables, este tipo de glaciar generalmente se presenta en glaciares fragmentados.
	Capa de hielo	Masa glaciar en forma de domo, cuyo flujo es en forma radial.
Temperatura	Templados	La temperatura del hielo es de 0°C. Existe agua entre la masa de hielo y una probabilidad más alta de deformación. Estos glaciares se desplazan sobre los flujos de agua líquida de la base
	Fríos	Glaciares por debajo del punto de fusión, sin agua basal y poco aporte superficial
Dinámica	Activos	Glaciares con movimiento rápido y evacuación de detritos
	Pasivos	Glaciares que fluyen lentamente, lo cual dificulta la evacuación de rocas y la conformación de morrenas. Asociados a masas de hielo en retroceso
	Estáticos	Glaciares que no tienen alimentación y presentan lenta fusión del hielo. Pueden considerarse como "relictos sin movimiento"
Contenido de impurezas	Limpio	Glaciares "Blancos" con cobertura superficial característica de nieve y hielo
	Cubiertos	Glaciares cubiertos parcial o total por restos adyacentes (detritos y/o fragmentos de rocas) erosionados en su área terminal
	De roca	Denominados también glaciares Rocosos, presentan una acumulación lenta de restos rocosos (angulares), generalmente con un patrón de cresta / surco distintivo y pendientes empinadas y laterales, cuya longitud es generalmente mayor que su ancho (en forma de lengua) existente en un valle de montaña.
Localización	Polares	Ubicados en latitudes altas o zonas polares
	Ecuatoriales / Tropicales	Ubicados cerca de la línea ecuatorial
	Intertropicales internos	Ubicados entre los trópicos y cercanos a la línea ecuatorial (por ejemplo, Colombia y Ecuador)
	Intertropicales externos	Ubicados entre los trópicos y alejados de la línea ecuatorial (por ejemplo, glaciares de Perú y Bolivia)

Fuentes: (IDEAM, 2012), (Frank, Mauz, Singh Khalsa, & Raup, 2005) (Bijeesh, Sebastián, Shanshan, & Pedro, 2016), (Rice, 1982), (Leet y Judson, 1997), (Strahler, 1981) y (Marangunic, 2008a)

En el caso de los glaciares peruano, las formas especiales que tienen se deben a la posición geográfica y, naturalmente, al clima imperante en la zona. A causa de la posición geográfica los glaciares son de tipo Ecuatorial, el clima imperante en esta región, hace que exista una fuerte ablación sobre los ventisqueros, que no permiten la formación de corrientes de hielo hacia niveles bajos (Morales, 1961). En este contexto, podemos encontrar algunas clasificaciones frecuentemente usadas en el territorio peruano para la identificación de los glaciares, siendo los siguientes:

- a. **Glaciares Colgados.** Estos son los que, al llegar su frente a un punto donde por el brusco cambio de pendiente, su masa de hielo ya no puede sostenerse; quedando ésta suspendida en forma de un farallón del que caen según su avance grandes bloques de hielo, mermándose de esta manera el glaciar.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

- b. Glaciares Muertos.** Estos glaciares están cubiertos por una importante “morrena de ablación”, sin tener casi alimentación en su parte superior; razón por la que se inmovilizan y comienzan a mermarse lentamente por toda su superficie; quedando al final una capa más o menos uniforme de detritos, y no formando en ningún caso un arco morrénico. Los depósitos de estos glaciares están ligeramente diferenciados en dos capas. La capa inferior que corresponde a la “morrena de fondo” está constituida por piedras angulosas, y la superficial, constituida de cantos rodados, corresponde a la “morrena de ablación”. Algunas veces quedan en el seno de estos depósitos masas de hielo abandonadas denominadas “hielo muerto” o “hielo fósil”, no vistos en otras latitudes.
- c. Glaciares Reconstituidos.** Son aquellos que no tienen una fuente directa de alimentación, estando formados por la acumulación de bloques de hielo desprendidos de los glaciares colgados. Estos bloques, al unirse nuevamente en las partes bajas del talud (se sueldan entre sí), forman una nueva corriente glacial, supeditada a la continua caída de aludes de hielo. Ejemplo de este tipo lo encontramos en las partes inferiores del nevado Copa (Cordillera Blanca), donde durante el día ocurren grandes desprendimientos de hielo que producen un sordo ruido en la estrecha quebrada.

6.2.4. Glaciares Peligrosos:

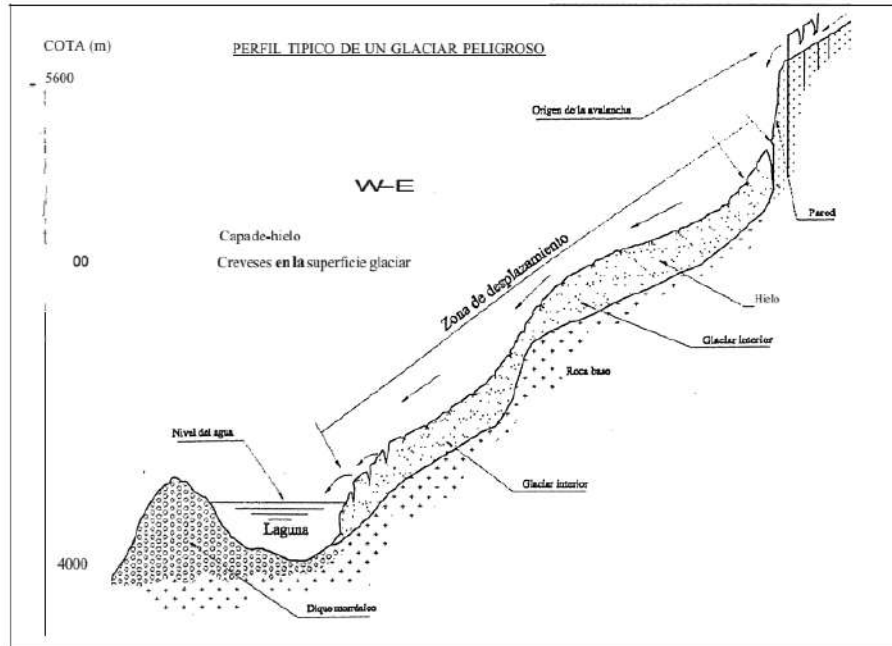
Los glaciares generalmente se encuentran en áreas montañosas remotas, sin embargo, algunos se encuentran cerca de ciudades o pueblos, lo cual representa un peligro para las personas que viven cerca de estas áreas (caso de pobladores que viven en las quebradas de Santa Cruz, C.P. de Cashapampa, etc); siendo que las lagunas formadas en la parte bajan de los glaciares, pueden causar desembalses, aluviones e inundaciones, durante el retroceso glacial,

Un glaciar de valle, se cataloga como “*peligroso*”, cuando el hielo que cae del glaciar representa un peligro, ya que al caer sobre la laguna formada por el retroceso glacial, en forma de avalancha, genera un ola que podría rebasar el dique natural o presa de seguridad, originando una posible brecha del dique y desembalse de la laguna; para luego continuar en forma de aluvión (agua de la laguna + bloques de hielo en proceso de fusión, generado de la avalancha + material suelto inconsolidado - depósitos cuaternarios), inundando con agua y flujos de lodo el área por donde se desplaza.

A continuación, en la figura adjunta, se presenta un perfil típico de un glaciar peligroso, que para ser catalogado como “*peligroso*” tiene que cumplir las características descritas en la figura N° 25.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Figura N° 237: Perfil típico de un glaciar Peligroso.



Fuente: La dinámica glaciar en lagunas de la Cordillera Blanca. M. Zapata 2002.

6.3. Glaciares Colgados

En relación a los glaciares colgados, se tomó en cuenta la información generada por la sub dirección de Investigación Glaciológica (SDIG) de la institución, de noviembre de 2017, la cual corresponde al “Modelamiento de Posibles Avalanchas de Hielo Mediante el Modelo (MFS)”, correspondiente a los glaciares Palcaraju, Pucajirca (Oeste) Tullparaju y Pucaranra, al 2016.

En ese contexto, dicho informe, presenta el modelamiento de posibles avalanchas, con el uso de información del monitoreo realizado por la institución en el año 2016, identificando la ubicación de zonas de glaciares colgados más importantes, en función a su pendiente, orientación y grado de exposición; condicionante de la predisposición al desprendimiento y generación de avalanchas.

A continuación, se presenta el resumen de los glaciares colgados, correspondientes a los nevados ubicados en las sub cuencas en estudio. Ver Tabla N° 19.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Tabla N° 22: Ubicación de zonas de glaciares colgados en el glaciar Tullparaju.

N°	Glaciar	Laguna Asociada	Sub Cuenca	N° de Glaciares Colgados	Imagen de Área de Glaciares Colgados
4	Pucajirca	Arhuaycocha	Santa Cruz	2	

La información precedente, fue tomada como base para el “*Modelamiento de Posibles Avalanchas de Hielo Mediante el Modelo (MFS)*”, y es detallada a continuación:

Determinación del volumen de partida máximo probable:

Siguiendo el procedimiento de evaluación utilizado, el volumen de partida máximo probable, para cada una de las posibles zonas de inicio determinadas, se estimó teniendo en consideración el área de cada zona de inicio (calculada en el ArcMap), y un espesor máximo aproximado de desprendimiento de la masa glaciar (Huggel, Haerberli, et al. 2004), en las zonas de estudio, como glaciares de tipo acantilado.

Los resultados de volumen de partida máximo probable, para zonas de inicio de avalancha consideradas para el glaciar Pucajirca (Oeste), son presentados en la Tabla N° 20.

Tabla N° 23: Volumen Aproximado de Posible Avalancha del Glaciar

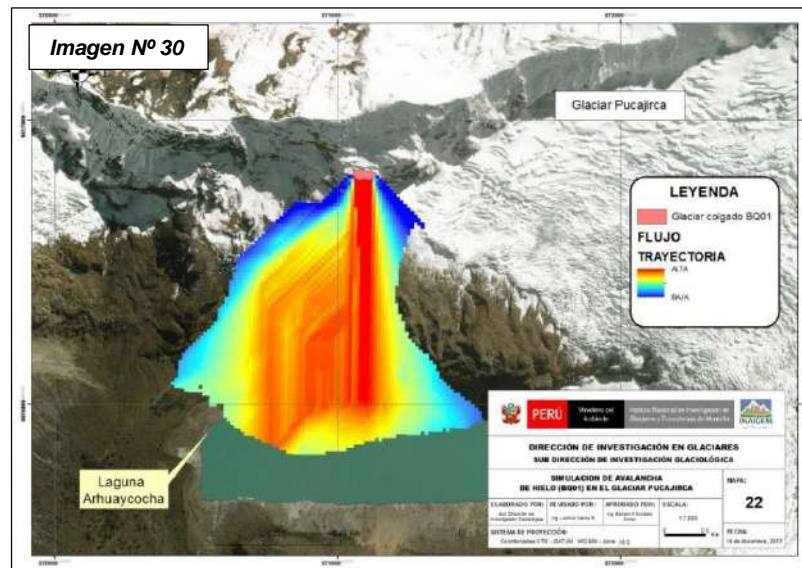
N°	Glaciar	Área Total (m ²)	Volumen Total de Posible Avalancha (m ³)
1	Pucajirca	4 762,06	118 678,04

Fuente: INAIGEM 2017

A continuación, se presenta la simulación de la trayectoria y desplazamiento de la avalancha:

Para la simulación de la trayectoria y desplazamiento de la avalancha se utilizó el modelo MSF, con áreas georeferenciado en formato ráster, como datos de entrada del proceso de flujo de las zonas de inicio avalancha de hielo, los cuales fueron determinados haciendo uso de imágenes satelitales de Google Earth 2013. Asimismo, fueron ingresados los DEMs ALOS PALSAR de 12.5 m de resolución, lo cual permitió tener a detalle, las características del relieve de las áreas glaciares. Los resultados de las simulaciones de la avalancha de hielo se muestran en la Figura N° 26.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
**Figura N° 248: Simulación de la Trayectoria y Desplazamiento
de Avalanchas para el Glaciar Pucajirca.**



Fuente: INAIGEM 2017

De los resultados mostrados, se advierte que el glaciar Pucajirca, posee 2 glaciares colgados con un volumen probable de avalancha de 118 678,54 m³.

La situación descrita, denota que este glaciar es de considerable peligro, teniendo en cuenta que, tienen los mayores volúmenes probables de avalancha y la laguna que se emplaza en su entorno, tiene un volumen elevado y no cuenta con el tipo de obra de seguridad que garantice su adecuado comportamiento ante una probable avalancha. En ese contexto, ello representa un peligro inminente, más aun considerando que la zona de ubicación de dicha laguna, está expuesta a eventos detonantes como sismos, además, el estado del macizo rocoso que subyace a dichos glaciares es desconocido

6.4. Lagunas

Debido al retroceso de los frentes glaciares, se han originado numerosas lagunas que están ubicadas al pie de los nevados. Sus diques, naturales en su mayoría, son de material morrénico y en algunos casos de material rocoso.

Las lagunas son depósitos naturales de agua que están alimentados por aguas del deshielo de los frentes glaciares de los principales nevados existentes en el área de estudio. En la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz tenemos las siguientes lagunas:

“Arhuaycocha”, localizada en la cabecera de la quebrada del mismo nombre, es alimentado principalmente por los deshielos de nevado Pucajirca; “Taullicocho”, localizado en la cabecera de la quebrada principal de Santa Cruz, es alimentado principalmente por los deshielos del nevado Taulliraju; “Artizón Alto y Bajo”, localizado en la cabecera de la quebrada del mismo nombre, es alimentado principalmente por el deshielo del frente glaciar Artizón 1, nevado Artezonraju.

De acuerdo a estudios realizados por la UGRH – ANA, la laguna Arhuaycocha, es una de las a trece (13) lagunas peligrosas de la cordillera Blanca; que podrían

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

desbordarse y causar inundaciones catastróficas en su ámbito de influencia. La principal razón, es que, esta laguna ha aumentado de tamaño significativamente en las últimas tres décadas y actualmente tiene 19 550 794,95 m³.

Lagunas de origen glaciar

Arhuaycocha

A la fecha de inspección, se advirtió que la laguna Arhuaycocha drena sus aguas a través de un canal rectangular de mampostería de piedra, de 2.60 m de ancho, a un nivel de 0.35m por encima del fondo del canal, determinándose un caudal aproximado de salida de 0.91 m³/s, por el método de flotadores.

De otra parte, en la zona baja del depósito glaciar frontal de la laguna Arhuaycocha, se visualizan humedales lacustres, los cuales son evidencia del flujo hídrico bajo el dique natural existente en dicha laguna.

Fotografía N° 78: Zona de Ingreso al Canal de Desagüe de la Laguna Arhuaycocha.



Fuente: INAIGEM 2017

En ese contexto, y teniendo en cuenta que existe un probable volumen de avalancha del glaciar Pucajirca de 118 678,54 m³, sobre la laguna, cuyo vaso almacena aproximadamente 19'550,794.95, en un área de 405,744.63 m², y profundidad máxima de 97.68m; a lo cual se suma, el desconocimiento del estado del macizo rocoso que subyace al glaciar; la situación descrita representa un peligro para las poblaciones asentadas aguas abajo, más aun considerando que la zona de ubicación de dicha laguna, está expuesta a eventos detonantes como sismos.

Artizón Alto y Artizón Bajo

En la parte inferior del glaciar Artezonzaju, se emplaza la laguna Artizón Alto, la cual desemboca sus aguas en la laguna recientemente desbordada (año 2012), Artizón Bajo, por ende, es necesario que se ejecuten obras de regulación en la laguna Artizón Alto, a fin de evitar la sobreacumulación de agua en la segunda laguna. Cabe destacar, que el flanco frontal de la laguna Artizón Alto, está compuesto por un macizo rocoso sobre el cual sobre yace un depósito glaciar de baja potencia; condición que favorecería a la adecuada fundación de estructuras de seguridad y regulación.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 79: Zona frontal de la laguna Artizón Alto, en la cual se visualiza el depósito glaciar de baja potencia, que sobreyace al macizo rocoso.



Fuente: INAIGEM 2017

Es de precisar que, el dique natural pre existente de la laguna Artizón Bajo fue desplazado y removido aguas abajo, situación que permitió que en la actualidad dicha laguna posea un nivel aparentemente bajo. De acuerdo al detalle de vistas fotográficas.

Fotografía N° 80: Laguna Artizón Bajo



Fuente: INAIGEM 2017

De otra parte, se advierte que en el flanco derecho de la laguna Artizón Bajo, se tiene un talud semi vertical de aproximadamente 250 m de altura con respecto al nivel de la laguna, del cual descienden numerosos conos deyectivos de gran magnitud, visiblemente inestables, que depositan su flujo de detritos directamente al vaso de almacenamiento de la laguna; situación que generará en el tiempo el estrechamiento de dicho vaso. En consecuencia, deberá evaluarse la alternativa de desaguar dicha laguna, y proyectar trabajos de estabilización de los depósitos glaciares laterales adyacentes, siendo que, al no representar un peligro de gran magnitud, se evite que el mismo incremente su peligrosidad en el tiempo.

Fotografía N° 81: Vista de conos deyectivos provenientes del depósito glaciar derecho de la laguna Artizón Bajo. Se visualiza acumulación de gran cantidad de material de flujo de detritos, en lo ancho del vaso de la laguna.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”



Fuente: INAIGEM 2017

Fotografía N° 82: Cauce Natural del agua proveniente de ambas lagunas, en el cual se visualiza gran cantidad de depósitos glaciares recientemente removidos.



Fuente: INAIGEM 2017

Taullicocha

A la fecha de inspección, se advirtió que la laguna Taullicocha drena sus aguas por filtración a través de la morrena frontal que se emplaza frente a ella; asimismo existe un canal de tierra que permite la evacuación de parte del agua de dicha laguna.

De otra parte, en la zona baja del depósito glaciar frontal de la laguna Taullicocha, se visualizan humedales lacustres, los cuales son evidencia del flujo hídrico bajo el dique natural existente en dicha laguna. Ver fotografía N° 63.

Fotografía N° 83: Vista Panorámica de la laguna Taullicocha.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”



En ese contexto, no obstante, a que el frente del glaciar se encuentra alejado de la laguna, por lo cual, no representa un peligro de gran magnitud; es necesario conocer las características de los depósitos glaciáricos que se emplazan frente a la laguna, así como tener una aproximación real de las características del macizo rocoso que subyace al glaciar, a fin de descartar una avalancha por desprendimiento de rocas de gran magnitud.

Jatuncocha:

A la fecha de inspección, se advirtió que las aguas de esta laguna provienen de los aportantes de las lagunas Arhuaycocha, Taullicocha y Artizón Bajo; en ese contexto, en esta laguna confluyen las aguas de dichos aportantes. De otra parte, se advierte que, en la zona de pase del agua a través del dique de seguridad existe una zona de filtración por erosión de la base de las aletas del canal de entrada al dique, a consecuencia de encontrarse ubicada dentro del cauce natural de la zona de descarga de la laguna.

En el entorno, se observa que, a la altura del eje del dique, margen izquierdo, se tiene un cono de deyección, el mismo que sobreyace a un depósito glaciar, identificándose una capa visible superficial de material inconsolidado de clastos sub angulosos en matriz de arenas y limos; situación que denota que los depósitos que se emplazan en la zona frontal de la laguna Jatuncocha, no garantizan el adecuado comportamiento del conjunto, en caso de un evento extremo.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

7. OBRAS DE SEGURIDAD

7.1. Laguna Arhuaycocha

7.1.1. Obras de Seguridad

7.1.1.1. Estado Actual

Morrenas frontal y laterales, en relación a su entorno

En relación a la composición física, en la zona frontal del vaso de la laguna se emplaza un dique natural de depósitos glaciares con la presencia predominante al lado derecho de un macizo rocoso. Visualizándose además la presencia de un canal abierto de desagüe al lado izquierdo de la morrena.

Fotografía N° 84: Vista Panorámica del Depósito Glaciar Frontal de la Laguna Arhuaycocha.



Fuente: INAIGEM, Setiembre 2017.

En relación a la presencia de humedales lacustres agua abajo, dicha condición denota el flujo hídrico bajo el dique natural existente en la laguna, consecuentemente la existencia de zonas geológicamente débiles, planos de estratificación permeables, u otra zona de concentración del flujo donde la energía llega sin sufrir grandes pérdidas debidas a la fricción; no obstante, no existen estudios detallados que muestren las características mecánicas e hidráulicas de dichos depósitos, existiendo la incertidumbre de la magnitud de un riesgo potencial de turificación, consecuentemente riesgo de apertura de brechas o forados de flujo hídrico, que generen el desembalse de la laguna.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 85: Vista del Depósito Glaciar Frontal y de las Áreas Humedales Lacustres Aguas Abajo Laguna Arhuaycocha.



Fuente: INAIGEM 2017

Flancos Laterales y de fondo:

Se identificó que los flancos laterales están compuestos por un conglomerado de fragmentos de roca en matriz arenolimsa de compacidad media, visualizándose además que dichos flancos aún no han alcanzado su ángulo de reposo, situación que deviene en deslizamiento de material de manera constante.

Fotografía N° 86: Vista de los Depósitos Glaciares Laterales y Frontal - Laguna Arhuaycocha.



Fuente: INAIGEM 2017

De otra parte, en la zona anterior al vaso de la laguna se visualiza una gran cantidad de material de depósito, el cual, al encontrarse en proceso de acumulación, va cerrando progresivamente el vaso de la laguna. Según detalle de vistas fotográficas.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 87: Vista de la zona anterior de la laguna, identificándose gran cantidad de material de depósito, que va cerrando el vaso de almacenamiento de la Laguna Arhuaycocha.



Fuente: INAIGEM 2017

Obras de Seguridad Existentes en el Entorno de la Laguna Arhuaycocha:

Se identificó un canal de desagüe de la laguna, el cual posee aletas laterales de ingreso. Al respecto, se identificó que la aleta derecha, ha sufrido socavación y desprendimiento de parte de la zona inferior, habiendo sufrido un colapso parcial y de incrementarse el caudal, el resto de la estructura se encuentra en riesgo de colapso.

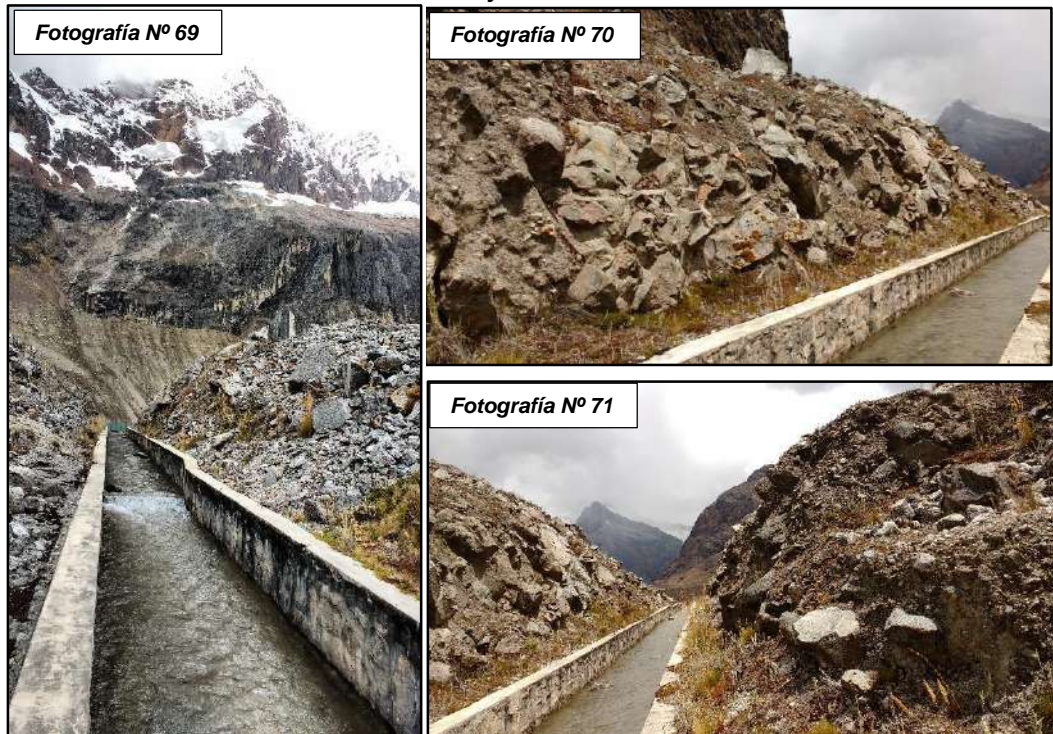
Fotografía N° 88: Estado Actual de las Obras de Seguridad de la Laguna Arhuaycocha.



Fuente: INAIGEM 2017

De otra parte, se advierte que el canal de salida cuya longitud aproximada es de 110 m, atraviesa una zona cuyos taludes están compuestos a la derecha por un depósito glaciar, con un depósito de rocas de tamaños grandes y medios en su superficie, y al lado izquierdo un macizo rocoso. Identificándose que la estructura del canal ha sufrido daños superficiales de tarrajeo en diversos puntos, por acciones de impacto de masas rocosas, situación que requiere ser atendida.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”
Fotografía N° 89, N° 90 y N° 91: Estado Actual del Canal de Desagüe de la Laguna Arhuaycocha.



Fuente: INAIGEM 2017

7.2. Laguna Jatuncocha

Las obras de seguridad de la laguna Jatuncocha fueron ejecutadas en el año 1969, y comprenden una presa de tierra con recubrimiento de mampostería de piedra, con 2 conductos cubiertos y canales de ingreso y salida de mampostería de piedra.

En el año 2012, la laguna Jatuncocha, sufrió el paso del aluvión proveniente de la laguna Artizón, el mismo que provocó daños en las estructuras del dique, afectando la zona de ingreso a los conductos cubiertos y el canal de salida, visualizándose el colapso de las paredes y aletas de dicho canal. Asimismo, el impacto del flujo que atravesó los conductos del dique, habría generado daños no visibles, en la estructura interna del dique. De otra parte, se advierte que la estructura anterior al canal de desagüe de la laguna, sufrió socavación y colapso en una de sus zonas de base.

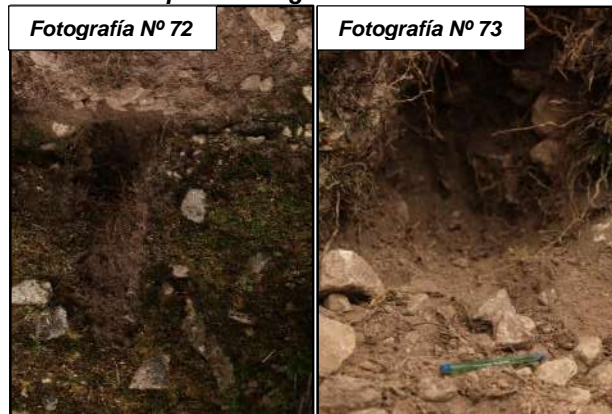
7.2.1. **Obras de Seguridad**

7.2.1.1. **Estado Actual**

Realizada la inspección física de los taludes laterales del dique de protección, se identificó que en el margen derecho se emplaza un depósito de fragmentos de roca en matriz de arena limosa de compacidad de media a baja, con presencia de raíces a una profundidad de 1m; de otra parte, al margen izquierdo se emplaza un depósito de fragmentos de roca en matriz de arena limosa de compacidad de baja.

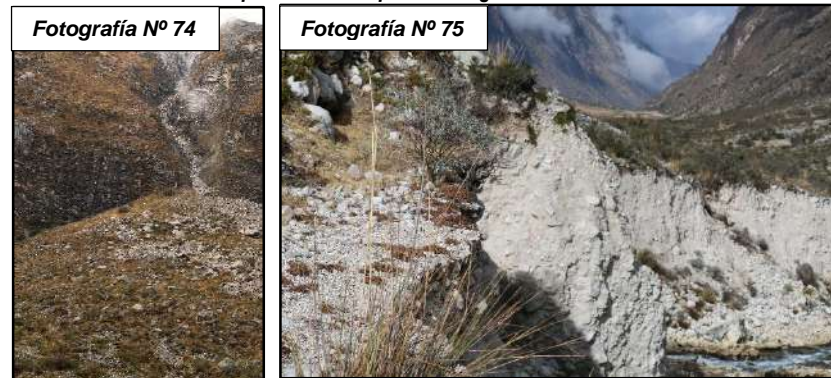
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 92, y 93: Se visualiza la composición del material del talud derecho del dique de la laguna Jatuncocha.



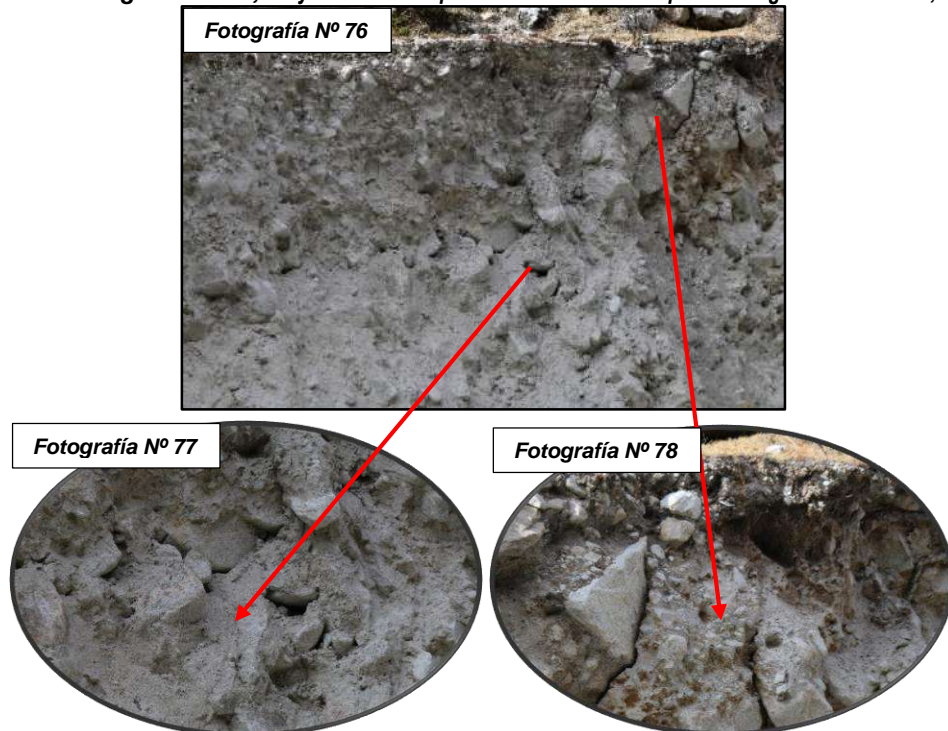
Fuente: INAIGEM 2017

Fotografía N° 94, y 95,: Se visualiza la composición de los depósitos glaciares, zona izquierda posterior al dique de la laguna Jatuncocha.



Fuente: INAIGEM 2017

Fotografía N° 96, 97 y 98:: Talud izquierdo a la salida del dique de la laguna Jatuncocha,



Se visualiza un conglomerado de fragmentos de roca en matriz de arena limosa, identificándose un proceso de colapso en curso, situación que es evidenciada por la existencia de una numerosa cantidad de vacíos por corrimientos verticales en la masa del suelo.

Fuente: INAIGEM 2017 110

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N.º 99: Talud izquierdo - dique de la laguna Jatuncocha:



*Conglomerado de fragmentos de roca en matriz de arena
limosa, de compacidad baja.*

Fuente: INAIGEM 2017

Obras de Seguridad Existentes en el Entorno de la Laguna Jatuncocha:

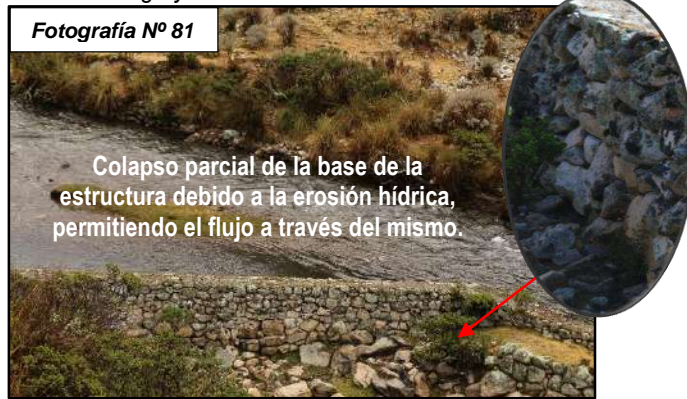
Al respecto, se advierte que la estructura anterior al canal de desagüe de la laguna, ha sufrido socavación y colapso en una de sus zonas de base, situación causada por la ubicación inadecuada de dicha estructura (aleta de entrada al canal), la misma que invade la zona de flujo natural del cauce; permitiendo el flujo de agua a través de dicha estructura, según detalle de vistas fotográficas.

Fotografía N.º 100, y 101,; Estado de la Zona de Anterior a la Presa de Tierra (Aletas y Canal de Ingreso).



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N° 81



Fuente: INAIGEM 2017

En relación al dique de seguridad, se advierte que su superficie actualmente se encuentra llena de arbustos y hierbas; situación generada debido a que el material de revestimiento del dique de tierra, está compuesto únicamente por piedra laja acomodada, carente de un mortero entre dichos elementos, según detalle de vistas fotográficas.

Fotografía N.º 102: Se visualiza la cara posterior del dique, cubierta de vegetación, entre arbustos y plantas menores.



Fuente: INAIGEM 2017

La situación descrita se habría generado por la acumulación de sedimentos en los espacios vacíos entre piedras laja, permitiéndose el desarrollo de raíces de plantas menores y arbustos (*Baccharis*).

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografía N.º 103: Se visualiza el revestimiento del dique de tierra, está compuesto únicamente por piedra laja acomodada, carente de mortero.



Fuente: INAIGEM 2017

En consecuencia, es de precisar que, existe la posibilidad de que se generen las siguientes situaciones:

- Debido a que, el Baccharis, es un arbusto de raíz mediana, y existiendo una capa de tierra compacta que limita el crecimiento de su raíz, esta se desarrollará de manera horizontal, cabiendo la posibilidad de levantamiento de las unidades de piedra laja del revestimiento del dique.

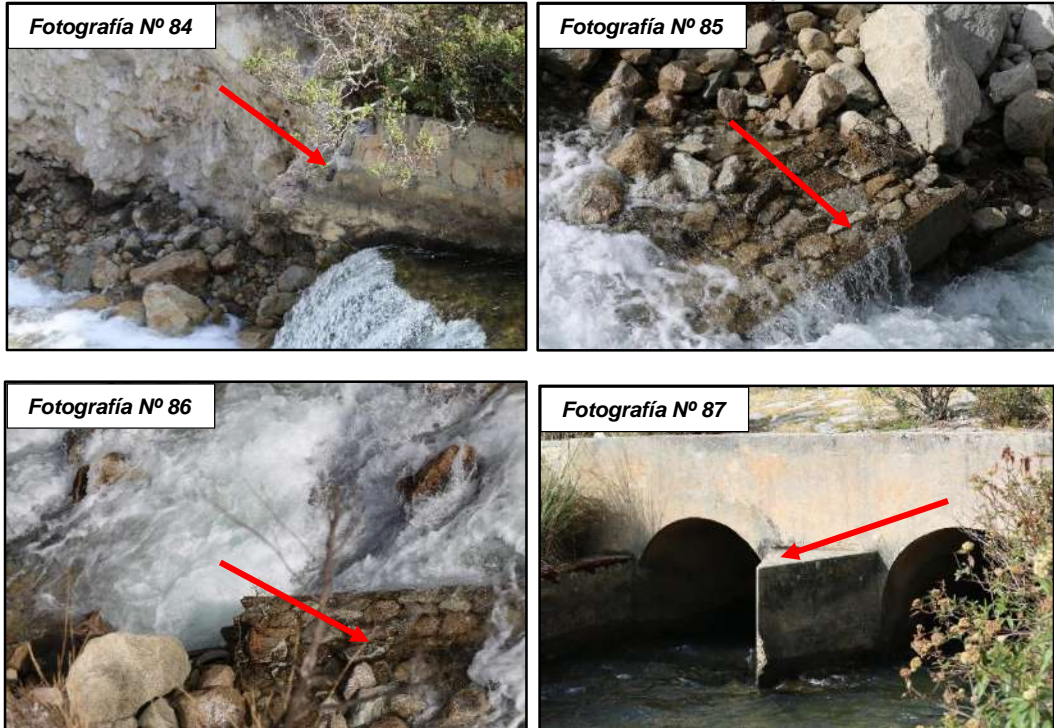
Los espacios vacíos de la masa del suelo que forma el cuerpo del dique son ampliados por el crecimiento de las raíces, situación que favorece el incremento del ingreso de agua en su estructura, perjudicando a la misma. La estabilidad de los canales creados por las raíces de las plantas será mayor que la estabilidad de los canales formados por métodos mecánicos, debido a la liberación por las raíces de sustancias orgánicas que estabilizan la superficie interna del canal, situación que genera una alta infiltración en la zona afectada por las raíces, por ende, riesgos de deslizamientos y otras formas de movimientos masivos.

De otra parte, se identificó que los conductos de desagüe ubicados bajo la presa, habrían sufrido daño leve, debido a que el material de arrastre atravesado fue de grano de medio a fino, no obstante, la fuerza de dicha corriente si generó el colapso de parte de las aletas de salida del canal de desagüe, así como daño en el dentellón ubicado adyacente a la zona de ingreso de los conductos del dique, detalle que es visualizado en las vistas fotográficas siguientes.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Fotografías N.º 104, 105, 106 y 107:

Se visualiza la zona de salida del canal de desagüe de la presa Jatuncocha, visualizándose los bloques de mampostería desprendidos del canal, a consecuencia del alud de la laguna Artizón.

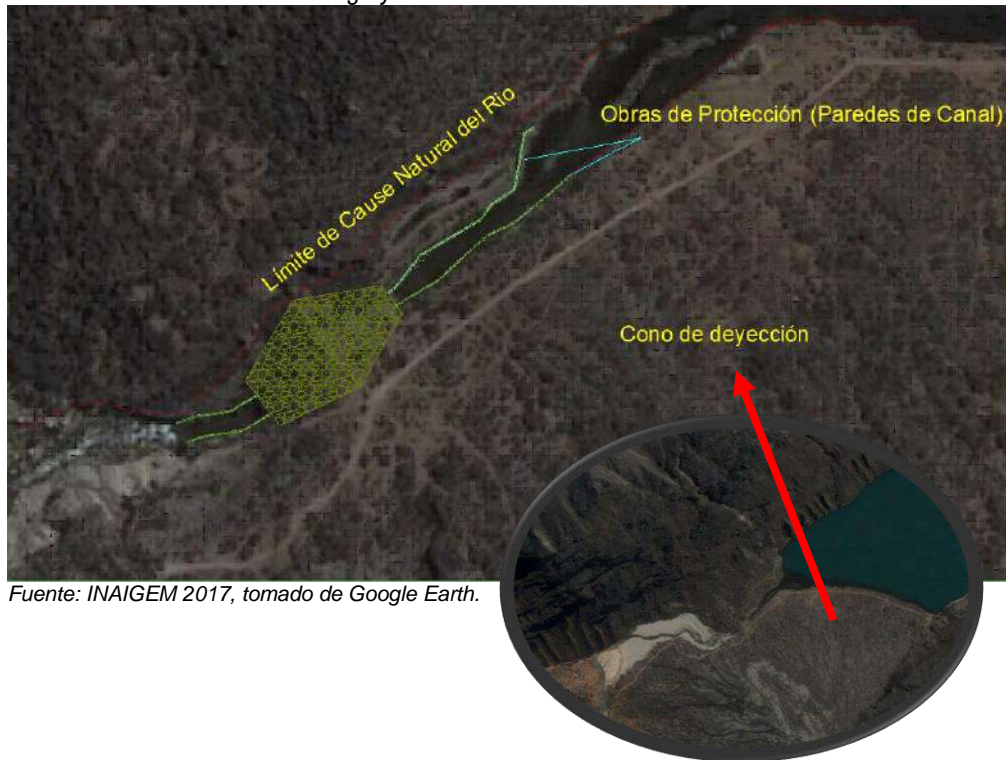


Fuente: INAIGEM, setiembre 2017

Asimismo, es de precisar que, habiéndose realizado la inspección a las obras de seguridad y su entornó, se identificó que en la zona anterior al canal de ingreso (aletas de entrada), existe una zona de filtración por erosión en su base, a consecuencia de encontrarse ubicada dentro del cauce natural de la zona de descarga de la laguna. Esta situación denotaría que la disposición actual de las estructuras de seguridad de la laguna, no sería la más adecuada, considerando que las estructuras de ingreso (canal y aletas) invaden el cauce natural de las aguas que discurren de la laguna, así como la estructura del dique se ubica en la zona central, mas no llega a la zona más competente de los depósitos glaciares laterales, según detalle siguiente:

Figura N° 259: Disposición actual de las obras de seguridad de la laguna Jatuncocha – se visualiza que se encuentran ubicadas dentro del cauce natural de la zona de descarga de la laguna.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”



Fuente: INAIGEM 2017, tomado de Google Earth.

En relación al flanco izquierdo, se identificó que, a la altura del eje del dique, margen izquierdo, se tiene un cono de deyección, el mismo que sobreyace a un depósito glaciar, identificándose una capa visible superficial de material inconsolidado de clastos subangulosos en matriz de arenas y limos; situación que denota que los depósitos que se emplazan en la zona frontal de la laguna Jatuncocha, no garantizan el adecuado comportamiento del conjunto, en caso de un evento extremo. Más aun, considerando que agua arriba se tiene la presencia de lagunas como Arhuaycocha, Taullicochoa y Artizón Alto y Bajo.

La laguna Jatuncocha, al poseer un dique que ha sufrido el impacto de un alud, requiere de una evaluación a detalle, que permita conocer el estado de su estructura interna, a fin de proponer trabajos de mejoramiento o reemplazo de dicha estructura; por ende, se requiere realizar estudios minuciosos

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

8. ANÁLISIS DEL NIVEL DE PELIGRO

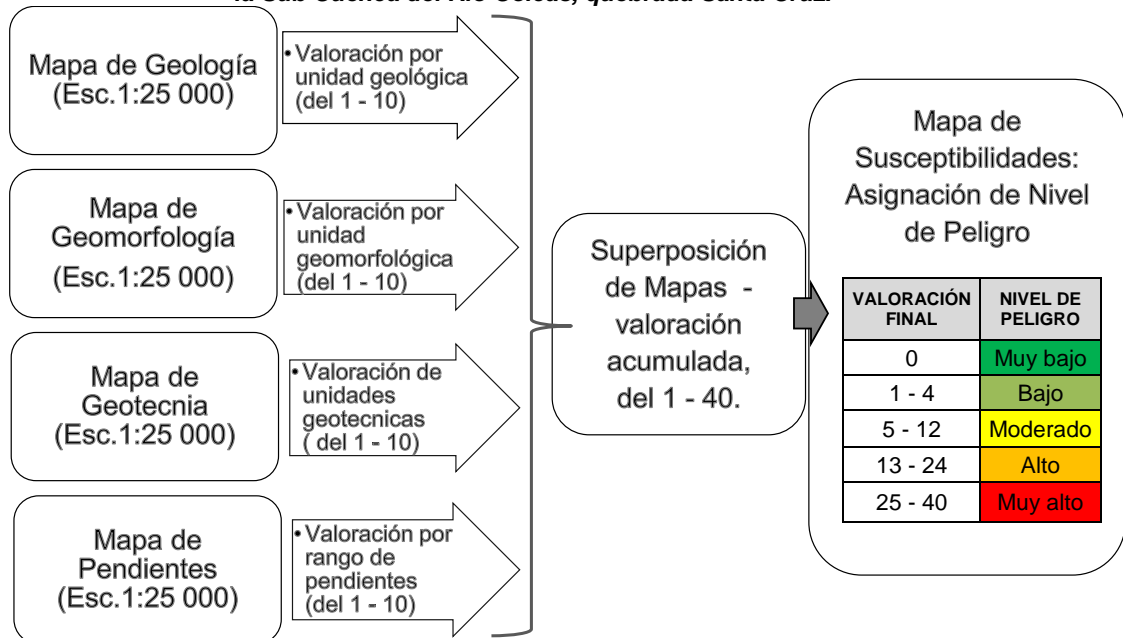
8.1. Análisis Geoespacial Multicriterio para la Determinación de Niveles de Peligro de la Sub Cuenca del Río Colcas, Quebrada Santa Cruz

En el desarrollo de esta investigación, se utilizó el método de evaluación geoespacial multicriterio para la determinación de niveles de peligro de la sub cuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, que analiza aspectos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos y de pendientes; partiendo de la creación de mapas temáticos, permitiendo realizar un análisis espacial con escalabilidad territorial de 1:25 000. Para la definición de los criterios se emplearon, diferentes variables de peligrosidad en base a opinión de especialistas, datos obtenidos en campo e imágenes satelitales.

La información base para la elaboración de los mapas por criterio, fue obtenida in situ, por los especialistas del INAIGEM; quienes caracterizaron las unidades geológicas, geoformas, unidades geotécnicas y geodinámica externa de la sub cuenca, información complementada con estudios petrográficos y mineralógicos de dicho entorno.

Una vez que se contó con toda la información base, y habiéndose elaborado los mapas por criterio, a través de herramientas GIS, asignando la valoración establecida la metodología (del 1-10), se realizó su superposición, generando una valoración acumulada, por ende, los niveles de peligro en cada área de la sub cuenca. Ver Figura N° 29.

Figura N° 30: Modelo de Análisis Multicriterio para la Determinación de Niveles de Peligro de la Sub Cuenca del Río Colcas, quebrada Santa Cruz.



Fuente: Elaborado por el INAIGEM

La metodología y tipo de análisis aplicado, permitió obtener información confiable, respecto de las características de la subcuenca, lo cual permitirá realizar un modelamiento cercano a la realidad de aluviones en ella, consecuentemente la elaboración del mapa de riesgos de la sub cuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

9. RESULTADOS

9.1. Zonificación y Niveles de Peligro

Mediante la aplicación de un análisis geoespacial multicriterio para la determinación de niveles de peligro de la sub cuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, se determinaron los niveles de peligro en toda la superficie comprendida en la subcuenca; información que fue plasmada en el “Mapa de Susceptibilidad a Movimiento de Masas de la Subcuenca del Río Colcas, Quebrada Santa Cruz” (Ver Figura N° 29), y es detallada a continuación.

Niveles de Peligro Sub Cuenca del Río Colcas, Quebrada Santa Cruz:

Altos a Muy Alto

De acuerdo a los parámetros evaluados, a lo largo de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, se identificó que, en las zonas aledañas al cauce del río principal, predominan los niveles de peligro de alto a muy alto, tratándose de depósitos cuaternarios; que además es visualizada en el entorno de la laguna Jatuncocha, que, por las características físicas de los materiales circundantes, se presenta un nivel de peligro, predominantemente muy alto.

De otra parte, se visualiza que en las laderas de la quebrada Arhuaycocha, predominan los niveles de peligro de altos (zona aledaña al cauce) a muy altos (a medida que va ganando altura); condición distinta es apreciada en las cumbres, tratándose de zonas de macizo rocoso expuesto.

En torno a la laguna Taullicocho, se visualiza un nivel de peligro alto; con áreas mínimas de niveles muy altos; cabe precisar que, en la zona anterior a la laguna predomina el nivel de peligro moderado; no obstante, en la zona de recorrido del río que discurre aguas abajo, zona denominada Taullipampa, se emplazan depósitos cuaternarios, que le otorgan un nivel de peligro muy alto.

La zona posterior a la laguna Artizón bajo, se presentan niveles de peligro muy altos, situación que es concordante con las características del material de las laderas, así como las elevadas pendientes de las mismas; condición crítica, estando la zona expuesta a eventos detonantes, y pudiendo su colapso ocasionar el embalse de la laguna.

En la quebrada Santa Cruz, se determinó que, entre los 3 900 y 4 400 m.s.n.m, se tienen niveles de peligro de alto a muy alto, siendo la zona de mayor peligro la ladera derecha aguas abajo.

Moderado a Bajo

A partir de los 4 400 m.s.n.m hasta la cima (5 100 m.s.n.m) se determinaron niveles de peligro de moderados a bajos.

Muy Bajo

Se ha determinado que, el nivel de peligro en la sub cuenca del río colcas, quebrada Santa Cruz, va descendiendo conforme se va ganado altura en los flancos laterales de las quebradas, concordando ello con la situación que en dichas zonas se tiene afloramiento rocoso, que le dan la condición de mayor estabilidad, con un peligro muy bajo.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1. Conclusiones

1. En la laguna Arhuaycocha, la presencia de humedales lacustres agua abajo, denota el flujo hídrico bajo el dique natural existente en la laguna, consecuentemente la existencia de zonas geológicamente débiles, planos de estratificación permeables, u otros; no obstante, no existen estudios detallados que muestren las características mecánicas e hidráulicas de dichos depósitos, existiendo la incertidumbre de la magnitud de un riesgo potencial de tubificación, consecuentemente riesgo de apertura de brechas o forados de flujo hídrico, que generen el desembalse de la laguna. De otra parte, las obras civiles existentes, han sufrido erosión hídrica y colapso parcial, por ende, requiere se realicen los trabajos inmediatos de reparación, a fin de evitar el incremento del daño.

Por otro lado, de los resultados obtenidos por el INAIGEM, respecto del volumen probable de avalanchas, se advierte que el glaciar Pucajirca, posee 2 glaciares colgados con un volumen probable de avalancha de 118 678,54 m³. Situación que denota que, este glaciar posee un volumen considerable de probable de avalancha, situación que sumada al elevado volumen de la laguna que se emplaza en su entorno (Arhuaycocha), no cuenta con el tipo de obra de seguridad que garantice un adecuado comportamiento ante eventos extremos. En ese contexto, ello representa un peligro inminente, más aun, considerando que la zona de ubicación de dicha laguna, está expuesta a eventos detonantes como sismos, además, el estado del macizo rocoso que subyace a dichos glaciares es desconocido.

2. La laguna de Jatuncocha, al poseer un dique que ha sufrido el impacto de un alud, requiere de estudios a detalle, que permitan conocer de manera minuciosa el estado de su estructura interna, a fin de proponer trabajos de mejoramiento o reemplazo de dicha estructura; por ende, se requiere realizar estudios minuciosos

De otra parte, la zona anterior al canal de ingreso (aletas de entrada), existe una zona de filtración por erosión en su base, a consecuencia de encontrarse ubicada dentro del cauce natural de la zona de descarga de la laguna. Esta situación denota que la disposición actual de las estructuras de seguridad de la laguna, no sería la más adecuada, considerando que las estructuras de ingreso (canal y aletas) invaden el cauce natural de las aguas que discurren de la laguna, así como la estructura del dique se ubica en la zona central, mas no llega a la zona más competente de los depósitos de ambos flancos. Asimismo, se visualiza que el margen izquierdo del dique de protección está fundado sobre un cono de deyección de material inconsolidado de clastos subangulosos en matriz de arenas y limos, el mismo que sobre yace a un depósito glaciar; situación que denota que los depósitos que se emplazan en la zona frontal de la laguna Jatuncocha, no garantizan el adecuado comportamiento del conjunto en caso de un evento extremo. Más aun, considerando que aguas arriba, se tiene la presencia de las lagunas Arhuaycocha, Taullicocha y Artizón Alto y Bajo.

3. La aplicación de una metodología, con el uso de análisis multivariable, permitió evaluar el área enmarcada en la subcuenca del río Colcas, quebrada

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

Santa Cruz, desde el punto de vista geológico, geomorfológico, geotécnico y de pendientes, determinando los niveles de peligro existentes en toda el área de la subcuenca, cuya valoración permitió diferenciar el nivel de peligro, entre, Muy Bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy alto.

- De acuerdo a los parámetros evaluados, a lo largo de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, se identificó que, en las zonas aledañas al cauce del río principal, predominan los niveles de peligro de alto a muy alto, tratándose de depósitos cuaternarios; que además es visualizada en el entorno de la laguna Jatuncocha, que, por las características físicas de los materiales circundantes, se presenta un nivel de peligro, predominantemente muy alto.

De otra parte, se visualiza que en las laderas de la quebrada Arhuaycocha, predominan los niveles de peligro de altos (zona aledaña al cauce) a muy altos (a medida que va ganando altura); condición distinta es apreciada en las cumbres, tratándose de zonas de macizo rocoso expuesto.

- En torno a la laguna Taullicocha, se visualiza un nivel de peligro alto; con áreas mínimas de niveles muy altos; cabe precisar que, en la zona anterior a la laguna predomina el nivel de peligro moderado; no obstante, en la zona de recorrido del río que discurre aguas abajo, zona denominada Taullipampa, se emplazan depósitos cuaternarios, que le otorgan un nivel de peligro muy alto.
- La zona posterior a la laguna Artizón bajo, se presentan niveles de peligro muy altos, situación que es concordante con las características del material de las laderas, así como las elevadas pendientes de las mismas; condición crítica, estando la zona expuesta a eventos detonantes, y pudiendo su colapso ocasionar el embalse de la laguna.
- En la quebrada Santa Cruz, se determinó que, entre los 3 900 y 4 400 m.s.n.m, se tienen niveles de peligro de alto a muy alto, siendo la zona de mayor peligro la ladera derecha aguas abajo; a partir de los 4 400 m.s.n.m hasta la cima (5 100 m.s.n.m) se determinaron niveles de peligro de moderados a bajos.
- Se ha determinado que, el nivel de peligro en la sub cuenca del río colcas, quebrada Santa Cruz, va descendiendo conforme se va ganado altura en los flancos laterales de las quebradas, concordando ello con la situación que en dichas zonas se tiene afloramiento rocoso, que le dan la condición de mayor estabilidad.
- El mapa final de susceptibilidades a movimiento de masas de la subcuenca del río Colcas, quebrada Santa Cruz, es puesto a disposición de la población y sus autoridades; y es base para la elaboración del mapa de riesgos a ser elaborado el presente año por nuestra institución.

10.2. Recomendaciones

- Se recomienda la ejecución de los estudios de exploración geofísica en la laguna Arhuaycocha, a una profundidad mínima 100 m, a fin de conocer



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

indirectamente la profundidad del contacto suelo-roca, zonas geológicamente débiles, planos de estratificación permeables, cobertura de materiales inconsolidados, grado de meteorización, fracturamiento y el estado probable del basamento rocoso a lo largo del eje del dique natural de la laguna; así determinar la existencia del riesgo de apertura de brechas o forados de flujo hídrico subterráneo, que generen el desembalse de la laguna, y gestionar la ejecución de las obras de seguridad correspondientes.

A corto plazo, es necesaria la realización de trabajos inmediatos de mantenimiento, a fin de evitar el incremento del daño en las obras civiles que han sufrido erosión hídrica y colapso parcial. Asimismo, es necesaria la instalación de un sistema de instrumentación con piezómetros, extensómetros y otros, necesarios para el monitoreo permanente del dique natural de la laguna.

2. Se recomienda a corto plazo, se realice en las obras de seguridad de la laguna Jatuncocha, la reparación de la estructura del canal (aletas de entrada y estructuras de salida), en aras de detener la infiltración de agua y erosión hídrica.
3. Se recomienda la ejecución de estudios a lo largo del eje de la presa con proyecciones laterales, a fin de determinar el perfil sedimentario de la subcuenca en dicho punto, y a lo largo de 500 m. aguas arriba y 500 m. aguas abajo, a fin de conocer información histórica de la geometría del cauce y proponer la ejecución de obras de seguridad que garanticen su adecuado comportamiento, considerando además el máximo nivel de embalse que alcanzará la laguna durante el paso de la “Avenida Extrema”, así como los estudios sísmicos a través de los cuales se conocerá el efecto del suelo de fundación y de la topografía, en las características del movimiento sísmico, consecuentemente las acciones sísmicas sobre la estructura.



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

11. Bibliografía

- Pouyaud. (2008). *Balace de Masa de un Glaciar. pdf, publicacion.*
- ANA.UGRH. (2011). *Batimetría de las Lagunas Arhuaycocha, Artizón Alto y Bajo.* Huaraz: UGRH.
- Andrews, J.T. (1975). *Glacial systems: An approach to glaciers and their environments.* North Scituate. Duxbury.
- Aparicio, F. (1996). *Fundamentos de Hidrología de Superficie.* México: 4ta. Edición. Limusa S.A. PP 303.
- Auboin, J.A., et. al. (1973). *Esquisse paleogeographique et structurale des Andes Meridionales.* Revue de Géographie Physique et de Geologie Dynamique. Paris.
- Bijeesh, K., Sebastián, R. F., Shanshan, W., & Pedro, T. (2016). *Un análisis comparativo del retroceso glaciar en los Andes Tropicales usando teledetección.* *Investig. Geogr. Chile.*, 51: 3 - 36.
- Burns, P., & Nolin, A. (2014). *Using atmospherically-corrected Landsat imagery to measure glacier area change in the Cordillera Blanca, Peru from 1987 to 2010.* En *Remote Sensing of Environment* (págs. 140, 165-178). <http://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.026>.
- Carey, M., Huggel, C., Bury, J., Portocarrero, C., & Haeberli, W. (2012). *An integrated socio-environmental framework for glacier hazard management and climate change adaptation: lessons from Lake 513, Cordillera Blanca, Peru.* *Climatic Change.* <http://doi.org/10.1007/s10584-011-0249-8>.
- Cobbing et al. (1981). *The geology of the Westem Cordillera of Northern Peru.* En *Overseas Memoir of the Institute of Geological Science* (pág. 143). London.
- Dávila Roller, Vilca Gómez, Inga Espinoza. (2016). *INFORME TECNICO DE LA SITUACION ACTUAL DE LA LAGUNA GLACIAR PALCACOCHA.* Huaraz.
- ELECTROPERU, UC. (1975). *Memoria Bienal del Programa de Glaciología y Seguridad de Lagunas 1973–1974.* Huaraz.
- ELECTROPERU, UC. 16. (1975). *Memoria Bienal del Programa de Glaciología y Seguridad de Lagunas 1973–1974.* Huaraz.
- FAO . (1968). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.*
- Francou, B. (2004). *Glacier shrinkage and water resources in the Andes. Meeting report of Huaraz.*
- Frank, R., Mauz, F., Singh Khalsa, S., & Raup, B. (2005). *Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual.*
- Frey, H., Machguth, H., Huss, M., Huggel, C., Bajracharya, S., Bolch, T., ... Stoffel, M. (2014). *Estimating the volume of glaciers in the Himalayan–Karakoram region using different methods.* *The Cryosphere.* <http://doi.org/10.5194/tc-8-2313-2014>.
- Haeberli, W. and, & Hoelzle, M. (1995). *Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers : a pilot study with the European Alps.* En *Annals of Glaciology* (págs. 21, 206–212).
- Hidrandina S.A. (1989). *Unidad de Glaciología e Hidrología. Inventario de Glaciares del Perú. 1ra Parte.* Huaraz, Perú: Concytec.
- IDEAM. (2012). *Glaciares de Colombia, más que montañas con hielo.* Bogotá.
- IGP. (2001). *Evaluación de la Sismicidad y Distribución de la Energía Sísmica en Perú.* En I. BERNAL, & H. & TAVERA. Lima: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú.
- INAIGEM. (2016). *“Informes de Inspección en Identificación y Georeferenciación de Áreas de Investigación en la Subcuenca del Río Blanco Quebrada Santa Cruz”.* En S. d. (DIG). Lima.



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

- INAIGEM. (2017). “Reportes Técnicos Internos de Avances de la Subcuenca del Río Santa Cruz”. En S. d. Montaña. Lima.
- INAIGEM. (2017). Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
- Ing. M Zapata L. (2002). Acta Montana.
- Ing. M Zapata L. (2002). La dinamica glaciar en lagunas de la Cordillera Blanca. *Acta Montana, Serie A, Geodynamica, 19*, (págs. 37–60).
- INGEMMET. (1967). Geología de los Cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Hojas: 17-h, 17-i, 18-h, 18-i, 19-h y 19-i. Lima: INGEMMET [Boletín N° 60. Serie A: Carta Geológica Nacional].
- INGEMMET. (1986). Estudio Geológico de los Andes del Perú Central. En Dalmayrac. Estudios Especiales, Bol. 8.
- INGEMMET. (1995). *Geología del Perú*. Lima: INGEMMET [Boletín N° 55. Serie A: Carta Geológica Nacional].
- INGEMMET. (2009). Síntesis Descriptiva del Mapa Neotectónico 2008. En C. B. José Macharé Ordóñez. Lima: INGEMMET [Boletín N° 40. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica].
- Jour. GesP. Soc . (1990). En E. S. Jaillard. London, 147.
- López Cadenas de Llano F & Mintegui Aguirre JA. (1987). Hidrología de superficie . Madrid, España: Editorial Salazar. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Mark, B. G. (2005). Evaluation of recent glacier recession in the Cordillera Blanca, Peru (AD 1962-1999): Spatial distribution of mass loss and climatic forcing. En *Quaternary Science Reviews*. 24(20-21), 2265–2280: <http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.01.003>.
- Mcfeters, S.K. (1996). The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17.
- MINAM . (2014). *Calidad de Agua en Cabeceras de Cuencas Alto Andinas en el Contexto de Cambio Climático*. Nota Técnica 2.
- MINAM. (2015). *Mapa Nacional de Cobertura vegetal*.
- Morales. (1961).
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). (2001). *Cambio Climático y Biodiversidad*.
- Paul, F., Frey, H., & Le Bris, R. (2011). A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: challenges and results. *Annals of Glaciology*. 52(59), 144–152: <http://doi.org/10.3189/172756411799096295>.
- Rabatel, A., Francou, B., Soruco, A., Gomez, J., Cáceres, B., Ceballos, J. L., ... Wagnon, P. (2013). Current state of glaciers in the tropical Andes: a multi-century perspective on glacier evolution and climate change. *The Cryosphere*. <http://doi.org/10.5194/tc-7-81-2013>.
- Racoviteanu, A. E., Arnaud, Y. ., Williams, M. W., & Ordoñez, J. (2008). Decadal changes in glacier parameters in the Cordillera Blanca, Peru, derived from remote sensing. *Journal of Glaciology*. <http://www.ingentaconnect.com/content/igsoc/jog/2008/00000054/00000186/art00013>.
- Rau, F., Mauz, F., Vogt, S., Jodha, S., Khalsa, S., & Raup, B. (2005). Illustrated GLIMS Glacier Classification Manual. http://www.glims.org/MapsAndDocs/assets/GLIMS_Glacier-ClassificationManual_V1_2005-02-10.pdf.



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

- Raup, B., Racoviteanu, A., Khalsa, S. J. S., Helm, C., Armstrong, R., & Arnaud, Y. (2007). The GLIMS geospatial glacier database: A new tool for studying glacier change. *Global and Planetary Change*. <http://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.018>.
- Salzmann, N., Huggel, C., Rohrer, M., Silverio, W., Mark, B. G., Burns, P., & Portocarrero, C. (2013). Glacier changes and climate trends derived from multiple sources in the data scarce Cordillera Vilcanota region, southern Peruvian Andes. *The Cryosphere*. <http://doi.org/10.5194/tc-7-103-2013>.
- Simon Cook. (2016). *Glacier Change and Glacial Lake outburst flood risk in the Bolivian Andes, The Cryosphere*.
- Stewart et al. (1974). *Age determinations from Andean Peru: A reconnaissance survey*. Geological Society of America Bulletin N° 85.
- TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. (1998). Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental. En L. C. F. Madrid, España: Editorial Mundi Prensa.
- Úbeda, J. (2010). *El impacto del cambio climático en los glaciares del complejo volcánico Nevado Coropuna (Cordillera Occidental de los Andes Centrales)*. Madrid.
- Vuille, M. (2013). Climate Change and Water Resources in the Tropical Andes. IDB Technical Note, (515). <http://link.springer.com/article/10.1007/s00382-014-2114-8>.
- Vuille, M., Francou, B., Wagnon, P., Juen, I., Kaser, G., Mark, B. G., & Bradley, R. S . (2008). Climate change and tropical Andean glaciers: Past, present and future. *Earth-Science Reviews*. <http://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.04.002>.
- Weberbauer, A. (1945). *El Mundo Vegetal de los Andes Peruanos*. . Lima: Ministerio de Agricultura.
- WGMS. (2008). *Global Glacier Changes : facts and figures Contents*. Zurich: (W. G. M. Service, Ed.) (UNEP).

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

GLOSARIO DE TÉRMINOS

1. Ablación: pérdida de masa de un glaciar, generalmente como fusión y descarga de agua de fusión, pero también por dispersión de nieve por ventiscas y desprendimiento de bloques de hielo.
2. Afloramiento: todo tipo de roca, mineral (filones, vetas), agua, etc. que se observa en la superficie terrestre.
3. Aglomerado: conjunto de fragmentos rocosos, heterogéneos en cuanto a forma, tamaño y composición, consolidados generalmente por materiales finos (arena, limo, arcilla).
4. Aguas abajo: el concepto de aguas arriba y aguas abajo, se utiliza para denominar la ubicación de un elemento en relación a un cuerpo de agua en movimiento; denominando aguas arriba, al sitio de donde viene, y aguas abajo, al sitio hacia dónde va.
5. Albedo: medida de la reflectividad de una superficie. Un albedo de 60 para la nieve, significa que esta refleja 60% de la radiación.
6. Aluvión: desplazamiento violento de una gran masa de agua con mezcla de sedimentos de variada granulometría y bloques de roca de grandes dimensiones. Se desplazan con una gran velocidad a través de quebradas o valles en pendiente, debido a la ruptura de diques naturales y/o artificiales o desembalse súbito de lagunas, o intensas precipitaciones en las partes altas de valles y quebradas.
7. Amenaza: peligro inminente. Peligro natural o inducido por el hombre anunciado por una predicción.
8. Análisis de Vulnerabilidad: identificación y determinación del grado de resistencia y/o exposición (física, social, económica y política) de un elemento o conjunto de elementos en riesgo, como ocurrencia de un peligro de origen natural o inducido por el hombre, en una determinada área.
9. Andesita: roca ígnea volcánica (intermedia) de textura afanítica o porfirítica, generalmente de color verde, pudiendo variar a rojizo y otros colores.
10. Anfibolita: roca metamórfica ultrabásica con predominio de minerales de anfíbol, esencialmente hornblendas. Presenta colores oscuros.
11. Anticlinal: plegamiento en el cual las rocas estratificadas buzan en sentido contrario (divergen) a partir de un plano denominado axial.
12. Arcillita: roca sedimentaria clástica, se forman en depósitos lacustres, lagunares y marinos. Producto de la alteración de las rocas preexistentes.
13. Arenisca: roca sedimentaria clástica, resultado de la consolidación y diagénesis de la acumulación de arena.
14. Arenisca Arcosa: denominación dada a la arenisca por su contenido en partículas de cuarzo.
15. Arenisca Limolítica: arenisca con cementante limonítico, se presenta en bandas, pero no coincidente con los estratos.
16. Avalancha: desprendimiento violento, en un frente glaciar, pendiente abajo, de una gran masa de nieve o hielo acompañado en algunos casos de fragmentos rocosos de diversos tamaños y sedimentos de diferente granulometría.
17. Balizas de Ablación: son estacas de madera de 2 m. de alto que se integran una a otra a través de amarres en sus extremos con alambres delgados. La unión de estas puede tener de 8 a 12 m. de largo que se introducen en perforaciones hechas en la superficie glaciar y que sirven para medir periódicamente durante un año el espesor de hielo que se ha derretido en la zona de ablación.
18. Batimetría: se realiza a fin de determinar el volumen y morfología del fondo de lagos, ríos, puertos y océanos. Se utiliza un equipo de posicionamiento GPS y un eco sonda digital con recolección de datos. Con la ayuda de un bote, se emite

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

- la eco sonda y por rebote de ondas se determina las profundidades y volúmenes respectivos.
19. Batolito: es una estructura maciza de roca ígnea plutónica cuyo afloramiento en la superficie terrestre supera los 100 Km. de largo y 20 Km. de ancho (más de 2,000 Km²).
 20. Bloques Erráticos: son los bloques transportados por las corrientes de hielo y dejadas muy lejos de los glaciares.
 21. Bofedal: es un humedal de altura y se considera una pradera nativa poco extensa con permanente humedad.
 22. Caliza: roca sedimentaria, formada por la precipitación del carbonato de calcio de los fondos marinos.
 23. Cambio Climático: cambio observado en el clima a escala global, regional o subregional, causado por procesos naturales y/o inducidos por el hombre.
 24. Carbón: sustancia natural compacta, combustible de color negro, producto de la descomposición de la materia vegetal, en algunos casos bajo la influencia del aumento de presión y temperatura.
 25. Cárcava: surcos formados por el movimiento de las aguas provenientes de lluvias torrenciales, alcanzando algunas veces proporciones espectaculares en los terrenos inclinados.
 26. Circo Glaciar: cuenca excavada por un glaciar, generalmente con paredes escarpadas en la cabecera.
 27. Colina: término usado para señalar pequeñas elevaciones de terreno con pendientes suaves.
 28. Conglomerado: roca sedimentaria compuesta de cantos rodados. Se forman en las cuencas aluvionales, fluvio-glaciales, grandes conos aluviales, áreas próximas a los litorales y en las márgenes de los ríos.
 29. Cordillera: cadena de montañas que presentan una orientación definida, siguiendo una estructura geológica principal.
 30. Cuenca: estructura geológica cóncava. Depresión de la tierra donde se realiza la sedimentación.
 31. Dacita: roca ígnea volcánica, ácida, equivalente de la granodiorita, tiene textura afanítica.
 32. Depósito Aluvial: suelen ubicarse en quebradas y superficies topográficas amplias. Tienen un espesor más apreciable y conforman terrazas más desarrolladas especialmente en los márgenes de valles fluviales.
 33. Depósito Coluvial: material fragmentario transportado y acumulado por acción de la gravedad, tienen apariencia de conos o pequeños abanicos los que no cuentan con un espesor importante ya que corresponden a acumulaciones locales sin mucho transporte.
 34. Depósito Fluvial: están constituidos por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos y los procesos de deslizamiento.
 35. Depósito Fluvioglaciar: materiales acumulados debido al trabajo realizado en forma combinada por el proceso fluvial y el proceso glaciar; los materiales conformantes de estos depósitos son heterogéneos en cuanto a la forma y al tamaño, mayormente con bloques redondeados de dimensiones diversas, cementados por materiales finos dando lugar a los conglomerados.
 36. Depósitos Glaciar: material depositado y acumulado por los glaciares, tales como las morrenas, los tills, los kames, los drumlins y los eskeres. El depósito glaciar se caracteriza por la gran heterogeneidad de sus fragmentos tanto en la forma como en el tamaño.
 37. Depósito Lacustrino: depósitos acumulados en un ambiente lagunar, cuya presencia se encuentra restringida en algunas zonas.
 38. Deslizamiento: pérdida de estabilidad, que puede ser por saturación de agua, presencia de materiales arcillosos que actúan como lubricantes, fuertes inclinaciones de las vertientes u otras causas.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

39. Desprendimiento (CALVING): proceso de desprendimiento de bloques de hielo de los bordes de un glaciar. Esto ocurre generalmente cuando un glaciar termina en una masa de agua.
40. Detritus: partículas o fragmentos desagregados de otras rocas.
41. Diorita: roca ígnea plutónica de textura granular constituida por plagioclasas y ferromagnesianos, contiene cuarzo hasta 5%.
42. Dique: es una construcción para evitar el paso del agua. Puede ser natural o construido por el hombre; de tierra, mampostería de piedra, u hormigón; y tanto paralelo como perpendicular al curso del río o al borde del mar.
43. Domo: estructura geológica de forma de una semiesfera, dando lugar a una montaña redondeada, producto de la erosión de rocas masivas.
44. Drenaje: trazo efectuado por las aguas de escorrentía o fluviales que modelan el paisaje.
45. Drumlins: montículos redondeados, generalmente de tilita depositada debajo del glaciar y alargada paralelamente en la dirección del flujo.
46. Ecosistema: vivencia de animales y plantas en comunidad, combinación y asociación con los factores medio ambientales.
47. Erosión: destrucción de los materiales de la corteza terrestre por acción de los procesos geológicos. Tiende a nivelar la superficie de la corteza terrestre, las salientes y las montañas se desgastan, disminuyendo sus dimensiones.
48. Espejo de Agua: es el nivel de la superficie del cuerpo de agua.
49. Esquisto: producto del metamorfismo de las rocas volcánicas de textura afanítica o de las rocas sedimentarias de grano fino. Generalmente presentan estructuras bandeadas.
50. Esquistos micáceos: esquisto de alto grado de metamorfismo, contiene micas (muscovita) y nódulos calcáreos y silíceos.
51. Estrías Glaciares: se encuentran en superficies de rocas que han sido aisladas por la acción erosiva del hielo en aquellas regiones afectadas en el pasado o en el presente por la deglaciación local o continental.
52. Falla: desplazamiento de un bloque rocoso con respecto a otro. Son producto de esfuerzos tectónicos. Una falla ocasiona discontinuidad de las estructuras geológicas.
53. Fenómeno “EL NIÑO”: fenómeno oceánico atmosférico caracterizado por el calentamiento de las aguas superficiales del Océano Pacífico ecuatorial, frente a las costas de Ecuador y Perú, con abundante formación de nubes cumuliformes principalmente en la región tropical (Ecuador y Norte del Perú), con una intensa precipitación y cambios ecológicos marinos y continentales.
54. Filitas: producto del metamorfismo intenso de las arcillas y lutitas.
55. Fósil: resto o vestigio de seres vivos que dejaron sus huellas en las rocas de la corteza terrestre. Los fósiles constituyen la base fundamental para la determinación de la edad de las rocas donde se encuentran.
56. Frente glaciar: constituye el límite inferior de un glaciar, cuyo control de medición representa la magnitud del retroceso glaciar anual.
57. Geodinámica: estudia los fenómenos geológicos que provocan modificaciones en la superficie terrestre por acción de los esfuerzos tectónicos internos (geodinámica interna) o esfuerzos externos (geodinámica externa).
58. Geotecnia: ciencia que estudia los procesos geodinámicos externos y la aplicación de los métodos ingenieriles para su control con el objeto de que los efectos destructivos de estos procesos sean mínimos.
59. Glaciación: proceso geológico de formación de glaciares en una determinada región y en diversas épocas de la historia de la tierra.
60. Glaciar: es un cuerpo constituido de hielo y nieve ubicado en las cabeceras de cuencas que tiene un movimiento por efecto de la gravedad, cuya superficie tiende a disminuir por efectos de la fusión de su masa debido a las altas temperaturas.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

61. Glaciar Blanco: es la parte del glaciar que está cubierta de nieve sin ninguna partícula, guijarro o polvo que la oscurezca.
62. Glaciar Colgado: glaciar generalmente pequeño que se encuentra adherido a las cumbres de los glaciares y que significan peligros glaciológicos.
63. Glaciar Muerto: están cubiertos por una importante “morrena de ablación”, sin tener casi alimentación en su parte superior; razón por la que se inmovilizan y comienzan a mermarse lentamente por toda su superficie; quedando al final una capa más o menos uniforme de detritos, y no formando en ningún caso un arco morrénico.
64. Glaciar Negro: es el glaciar que está cubierto por guijarros, polvo y rocas que oscurece al hielo que se encuentra bajo estas impurezas, no siempre es posible distinguir un glaciar de rocas o negro.
65. Gneis: roca metamórfica producto de la recristalización de las rocas ígneas sedimentarias o de las mismas metamórficas. Presenta textura bandeada.
66. Granito: roca ígnea plutónica, ácida. Formada principalmente por cuarzo, feldespato, plagioclasa y mica. Textura fanerítica.
67. Granodiorita: roca ígnea plutónica, textura fanerítica o granular.
68. Grauwaca: denominación dada a la arenisca constituida por partículas de cuarzo, feldespatos, micas y a veces fragmentos de esquistos argilosos, de color oscuro y endurecida.
69. Grietas Chevron (Sardineta): serie de grietas a lo largo de los bordes de un glaciar, producidos generalmente por una combinación de flujo compresivo y fricción lateral.
70. Horn: pico alto, subpiramidal, con taludes pronunciados formado por la intersección de varios circos glaciares, que se deshielan coetáneamente.
71. Hornfels: roca metamórfica de grano fino, producto del metamorfismo de contacto a temperaturas por encima de 650°C.
72. Huayco: descensos violentos de grandes masas de lodo, barro y fragmentos rocosos de diferentes dimensiones debido a la saturación con agua de estos materiales sueltos en superficies más o menos inclinadas.
73. Ignimbritas: tobas incandescentes, reconsolidadas en el lugar por efecto de la plasticidad de los minerales y por la acción de los gases.
74. Intrusión: penetración de rocas ígneas plutónicas o volcánicas entre rocas pre-existentes.
75. Inundación: terreno aledaño al cauce de un río, que es cubierto por las aguas después de una creciente.
76. Lahares: depósitos de flujo volcánico-glaciar poco consolidado.
77. Lava: material rocoso fluido que sale de un volcán o de una fisura de la corteza terrestre y que corre o se desliza sobre la superficie.
78. Lengua glaciar: es la superficie de un glaciar dentro de la cuenca glaciar, que tiene forma de una lengua. El área superior es la zona de acumulación y su tramo inferior más angosto es la zona de ablación.
79. Limolita: roca compuesta por fragmentos de limo, consolidados y diagenizados. Es de origen sedimentario, clástico.
80. Línea de equilibrio: es el espacio que separa al glaciar en dos partes, la zona de acumulación en el tramo superior y la zona de ablación en su tramo inferior, teniendo una cota variable de acuerdo a las condiciones climáticas, como resultado las pérdidas de masa anuales varían con esta línea.
81. Lodolitas: Roca formada por la consolidación de partículas finas, arcillas de color gris oscuro, a veces verdoso.
82. Lutita: roca formada por la consolidación de partículas muy finas (arcillas).
83. Macizo rocoso: es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de discontinuidades.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

84. Mapa de Peligros: representación gráfica de una determinada área del territorio, que se encuentra expuesta a la probabilidad de ocurrencia de un peligro(s) de origen natural o inducidos por el hombre.
85. Margas: Es una roca calcárea compuesta por minerales de calcita y arcilla.
86. Meridional: punto cardinal más conocido como Sur o también Austral.
87. Meseta: superficie topográfica acentuadamente plana y que se halla bastante elevada con respecto a los terrenos aledaños.
88. Meteorización: conjunto de factores externos que intervienen sobre una roca produciendo alteraciones mecánicas y químicas.
89. Micaesquistos: producto del metamorfismo de las rocas ígneas volcánicas con alto contenido de micas, cuarzo y feldespatos o de otras rocas sedimentarias que contienen estos minerales.
90. Mineralización: proceso mediante el cual los minerales son introducidos en la roca, dando como resultado la formación de yacimientos minerales de rendimiento económico.
91. Mitigación: reducción de los efectos de un desastre, principalmente disminuyendo la vulnerabilidad.
92. Monitoreo: proceso de observación y seguimiento del desarrollo y variaciones de un fenómeno, ya sea instrumental o visualmente, y que podría generar un desastre.
93. Montaña: gran elevación natural del terreno, constituida por una agrupación o cadena de cerros. La Orogénesis es la parte de la geología que estudia el origen y formación de las montañas.
94. Morfogénesis: es el estudio del origen, desarrollo y evolución de las formas de los paisajes terrestres.
95. Morrena: depósito glacial heterogéneo en cuanto a forma y tamaño de los fragmentos, apilados a lo largo de los costados y frente de un glaciar o debajo de este. Marca la separación de hielo sucio.
96. Morrena de Fondo: escombros rocosos depositados en el lecho del glaciar.
97. Morrena Lateral: morrena formada en el extremo o borde de un glaciar. Está constituida por derrubios, parte de los cuales cayeron como un talud procedente de las laderas montañosas, mientras que la otra habiendo sido arrastrados dentro del hielo, volvieron a la superficie por deslizamiento o fusión superficial (ablación).
98. Morrena Terminal: es una cresta de escombros al frente del glaciar, marcando sus máximos avance o posición de reavance.
99. Nevado: es una denominación que se da a una montaña cubierta de nieve y hielo de la cual se generan diversos glaciares que bajan a través de sus diferentes flancos.
100. Nódulo: concreciones que se forman en las rocas sedimentarias por acumulación de ciertas sustancias. Adquieren formas características tales como lentejas, riñones, bolas, etc.
101. Obras de Seguridad: son obras que se ejecutan para garantizar la seguridad ante posibles sobre oleajes en las lagunas, por ejemplo: diques, canales y conductos de desagüe, etc.
102. Oleada (SURGE): movimientos muy rápidos y periódicos de grandes masas de hielo en un glaciar, alternados con largos periodos de estancamiento.
103. Pelita: roca criptocristalina de origen sedimentario, clástico, formado por partículas muy finas, arcillas, lodos, fangos, etc.
104. Peligro: probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por el hombre, potencialmente dañino, para un periodo específico y una localidad o zona conocidas. Se identifica, en la mayoría de los casos, con el apoyo de la ciencia y tecnología.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

105. Peneplanización: conjunto de procesos geológicos donde predominan la erosión-sedimentación que tiende a regularizar las asperezas o salientes de una superficie topográfica y rellenar las depresiones.
106. Permafrost: son suelos congelados que se forman por efecto de las temperaturas negativas en las regiones periglaciares y que constituyen una reserva importante de agua para las cabeceras de las cuencas hidrográficas.
107. Pirita: Mineral de color amarillo limón, duro, pesado y muy frágil, opaco con brillo metálico, al golpearse produce chispas. Es común en rocas plutónicas, volcánicas, sedimentarias y metamórficas. Conocida como "oro de los tontos"
108. Piroclástica: roca resultante de la consolidación de los materiales volcánicos extruidos (piroclásticos), tales como: cenizas, lapillis, bombas, bloques, etc. También se le conoce como tufos volcánicos. Piro = fuego, caliente, clasto = fragmento.
109. Pizarra: producto del metamorfismo dinámico regional de las argilitas y lutitas. Se caracteriza por su alta resistencia a los esfuerzos perpendiculares a los planos de exfoliación o clivaje.
110. Placa tectónica: son bloques en los cuales está dividido el globo terrestre, unos de mayores dimensiones que otros y que se hallan sujetos a movimientos de acercamiento y alejamiento y que se encuentran separados y/o unidos por límites.
111. Planicie: extensión de terreno más o menos plana donde los procesos de agradación superan a los de degradación.
112. Plegamiento: deformación de las rocas estratificadas, debido a los esfuerzos de compresión, a las propiedades plásticas de éstas, tomando formas onduladas.
113. Plutón: afloramiento de roca ígnea, plutónica o volcánica de extensiones menores que el batolito.
114. Polimíctico: Roca sedimentaria derivada de varios tipos de rocas, es decir que los depósitos provienen de dos o más fuentes.
115. Pórfido: roca ígnea con minerales desarrollados.
116. Presa de regulación: es una barrera fabricada de piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río o arroyo. Con la finalidad de embalsar el agua en el cauce fluvial para derivarla mediante canalizaciones de riego, en eliminación de avenidas (evitar inundaciones de aguas debajo de la presa) o para la producción de energía.
117. Prevención: conjunto de actividades y medidas diseñadas para proporcionar protección permanente contra los efectos de un desastre.
118. Relieve Colinoso: es una elevación natural del terreno con desnivel inferior a 300 m, cuyas laderas con pendientes suaves, se inclinan en promedio con valores superiores a 16% de pendiente.
119. Relieve Montañoso: se define como una gran elevación natural del terreno y es la modificación de la superficie que propician las montañas. El relieve montañoso es de diverso origen: principalmente de origen tectónico, así como de origen erosivo y sedimentario, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas, presentan un declive promedio superior al 30%.
120. Remoción en masa: acción geológica de los agentes erosivos (agua, viento, hielo, gravedad, etc.) de remover los materiales de la superficie terrestre para posteriormente transportarlos a otro lugar.
121. Retroceso glaciar: por efectos del incremento de las temperaturas producido por los cambios climáticos globales y otros factores antrópicos, los glaciares en todo el mundo están en un franco proceso de recesión, expresado por el retroceso de los frentes glaciares.

“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

122. Riesgo: es la exposición a una situación donde hay una posibilidad de sufrir un daño o de estar en peligro. Vulnerabilidad o amenaza a que ocurra un evento y sus efectos sean negativos y que alguien o algo puedan verse afectados por él.
123. Riodacita: roca ígnea volcánica intermedia entre riolita y dacita.
124. Roca Ígnea: roca formada a partir de la consolidación del magma (rocas intrusivas y volcánicas)
125. Roca Sedimentaria: roca formada por la consolidación y litificación de materiales originados a partir de una roca pre existente.
126. Roca Metamórfica: roca resultante de las transformaciones ocurridas en los minerales y en rocas pre-existentes, por acción del proceso de metamorfismo.
127. Rumbo: dirección que sigue la línea de intersección formada entre el plano horizontal y el plano del estrato o estructura geológica, con respecto al norte o al sur.
128. Septentrional: punto cardinal más conocido como Norte o también boreal.
129. Sinclinal: es un pliegue de tipo cóncavo que generalmente forma una depresión sobre la cual se ubican los valles subsecuentes.
130. Sismología: ciencia que estudia el origen, intensidad y todos los aspectos y efectos relacionados con los temblores y terremotos.
131. Sobreescurremientos: Falla inversa de bajo ángulo donde una formación más antigua sobreyace sobre una formación más joven.
132. Stocks: estructura geológica masiva de material magmático, generalmente plutónico, cuyo afloramiento en la superficie terrestre abarca extensiones mayores de 10 Km² y menores de 100 Km².
133. Susceptibilidad: Definida como una medida relativa de probabilidad de ocurrencia o inicio de un peligro desde un sitio determinado, basada en las características y propiedades intrínsecas de aquel lugar. Tiene una relación inversa con la estabilidad, es decir, a mayor susceptibilidad, menor estabilidad del territorio y viceversa.
134. Terraza: superficie más o menos plana, horizontal o levemente inclinada, generalmente limitada por dos declives pronunciados. Las terrazas pueden ser terrazas de erosión o terrazas de sedimentación o compuestas.
135. Textura Afanítica: textura de las rocas constituidas por minerales o partículas muy finos que sólo pueden ser discriminados al microscopio.
136. Textura Porfirítica: minerales desarrollados sobresalientes dentro de una masa fina microgranular.
137. Till (Tillita): material glacial que no muestra estratificación o más bien de estratificación oscura y de carácter irregular.
138. Toba: roca ígnea volcánica, producto de la consolidación de los materiales piroclásticos con material sedimentario. Contiene muchos poros.
139. Tonalita: roca ígnea plutónica intermedia, minerales esenciales: plagioclasas, cuarzo (menos de 10%), anfíboles, biotita. Se usa como roca ornamental.
140. Traquiandesitas: roca ígnea volcánica, intermedia entre traquita y andesita.
141. Traquidacitas: roca ígnea volcánica intermedia entre traquita y dacita.
142. Travertinos: roca sedimentaria calcárea, formada por las precipitaciones de carbonato de calcio, encontrándose en un grado mayor de consolidación y diagénesis, por lo tanto, es menos porosa.
143. Valle: depresión de los terrenos de forma longitudinal, de muchos kilómetros de extensión y sobre cuyos fondos (lechos fluviales) discurren los ríos.
144. Valle en forma de “U”: valle que muestra es su perfil la forma de una U, labrada por erosión de los glaciares antiguos.
145. Yeso: mineral sedimentario, es incoloro, transparente, blanco gris amarillento. Dureza 2 en escala de Mohs, ligero, no elástico.
146. Zona de Ablación: es la zona donde no hay acumulación de nieve y donde la superficie de hielo se ablaiona o derrite durante parte del año y constituye la pérdida de masa del glaciar expresada en equivalente de m³ de agua al año.



“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

147. Zona de Acumulación: es el espacio geográfico superior del glaciar, donde la nieve que se precipita en un año perdura y representa el aporte o alimentación de un glaciar que se expresa en equivalente de m³ de agua al año.

*“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”***SIGLAS**

1. INAIGEM: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.
2. INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.
3. IGN: Instituto Geográfico Nacional
4. MINAM: Ministerio del Ambiente
5. ONERN: Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
6. ANA: Autoridad Nacional del Agua
7. UGRH: Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos
8. CENEPRED: Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
9. INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil
10. WGS: World Geodetic System
11. ELA: Altitud de la Línea de Equilibrio
12. GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space (Consortio internacional establecido para adquirir imágenes de satélite de los glaciares del mundo).
13. UTM: Universal Transverse Mercator (sistema de coordenadas transversal de Mercator).
14. USGS: United States Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos).
15. ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emisión and Reflection Radiometer.
16. SRTM: Shuttle Radar Topography Mission
17. SIG: Sistemas de Información Geográfica
18. PALSAR: Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar
19. ALOS: Advanced Land Observation Satellite
20. DEM: Modelos digital de elevación
21. Ma: Millones de años antes de ahora.
22. Max: máximo
23. Min: mínimo