



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA Y

METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO Y DE FACIES SEDIMENTARIAS
PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EVENTOS ALUVIÓNICOS EN LA
CUENCA OCCORURUNI, CORDILLERA APOLOBAMBA – PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. CRISTIAN VÉLEZ CRUZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

PUNO – PERÚ

2020



DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis dedico con todo el cariño y respeto a Dios que a lo largo de mi vida académica e intelectual me mostro muchas maneras de seguir adelante y nunca rendirme en lo que empecé.

A mis padres Alejandrina Cruz y Eusebio Vélez, que con tanto sacrificio me brindaron dedicación y esfuerzo, para mi superación para así lograr una formación ética y con principios firmes, por haber hecho de mi la persona quien soy y por darme siempre ese apoyo incondicional en los momentos difíciles y siempre mostrarme que la vida es un sinfin de posibilidades que uno mismo tiene que buscarlo.

A mis hermanos Iván Vélez y Wilber Quispe por el apoyo emocional que me brindan a diario, a mi tía Elena Humpiri y primos Fredy Cruz y Raúl Cruz por sus consejos y palabras de aliento en cada episodio de mi vida.

A mi Tío Jesús Cruz que desde el cielo me guía.

Cristian Vélez Cruz.



AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigación de Glaciares y Ecosistemas de Montañas INAIGEM por haberme permitido ser parte de la expedición científica Apolobamba 2018 y aprender sobre la investigación.

Al Ing. Oscar Vilca Gómez por brindarme la oportunidad de conocer el ámbito de los glaciares de montaña y por haberme permitido aprender e impartirme sus conocimientos y sus enseñanzas en campo, las que han sido fundamentales para la elaboración de esta tesis.

A la Universidad Nacional de Altiplano (UNA), en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica cuyos docentes me brindaron conocimientos y enseñanzas muy importantes para mi formación como profesional.

Agradezco a la Dr. Benavente Fernández, Sofía Lourdes asesora académica y los miembros del jurado de la Universidad Nacional del Altiplano (UNA), por su apoyo y sugerencias en la elaboración y culminación de esta tesis, en particular al Mg. Gonzales Aliaga Roger por su apoyo y tiempo invertido.

Agradezco a mis amigos Fredy Hualpa, Angel Aguilar, Katy Jimenez, Yakelyn Cruz, Claudia Molina, Julia Araujo, Abel Escobedo, Rodrigo Quinto, Yara Copaja, Tania Zea, Joselyn Coaguila, Ivonne Lopez, Lilibeth Yareli, Priscila Zea, Klisman Paucar, Luis Ambrocio, Marco Astete, Lucio Ramos, Eduardo Quispe, Noe Apaza.

Cristian Vélez Cruz.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRONIMOS

RESUMEN 14

ABSTRACT..... 15

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES 16

1.2. ANTECEDENTES 17

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 18

1.3.1. Formulación del problema 19

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 19

1.4.1. Objetivo general..... 19

1.4.2. Objetivos específicos 20

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 20

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS..... 22

2.1.1. Antecedentes Internacionales 22

2.1.2. Antecedentes Nacionales 24

2.1.3. Antecedentes regionales 26

2.2. MARCO TEÓRICO 29

2.2.1. Eventos Aluviónicos..... 29

2.2.2. Geomorfología..... 30

2.2.3. Geomorfología glacial 36

2.2.4. Mecanismos de sedimentación glacial 40

2.2.5. Facies 42

2.2.6. Código Miall de facies sedimentarias..... 44



2.2.7. Medios Sedimentarios	49
2.2.8. Asociación de geoforma – sedimento.....	51
2.2.9. Geología Regional	53
2.2.10. Cuaternario (Pleistoceno)	54
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	56
3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	57
3.2.1. Recopilación Bibliográfica	57
3.2.2. Trabajo de campo	58
3.2.3. Trabajos de gabinete.....	62
CAPÍTULO IV	
CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO	
4.1. UBICACIÓN Y ACCESO.....	65
4.1.2. Acceso	66
4.2.1. Paleozoico inferior.....	68
4.2.2. Tectónica local.....	72
CAPÍTULO V	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO	77
5.1.1. Geoformas	77
5.1.2. Mapa de pendientes	78
5.1.3. Geomorfología local.....	81
5.1.4. Sistemas Geomorfológicos	82
5.1.5. Unidades Geomorfológicas	86
5.1.6. Relación entre la geomorfología y eventos aluviónicos.....	106
5.2. CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARIAS	112
5.3. LITOFACIES EN EL VALLE GLACIAR.....	122
5.3.1. Descripción de facies.....	122
5.3.2. Asociación de facies	124
5.3.3. Relación de litofacies con los eventos aluviónicos	131
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES	134



REFERENCIAS.....	135
ANEXOS.....	142

Área: Geología Regional.

Línea: Geomorfología, Características sedimentarias.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 15 de setiembre 2020



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01: Acumulación de till subglaciar en la base de los glaciares rellena por till. Fuente: Fernández Paloma, Universidad complutense de Madrid.	42
Figura N° 02: Multiepisodica, Bandeada, Bandeada discilica, Asimetrica positiva y Asimetrica negativa. Fuente: Vera,1994.....	44
Figura N° 03: Los 8 elementos arquitecturales en depósitos fluviales.	48
Figura N° 04: Estrato y sus características. Fuente: Vera, 1994.....	50
Figura N° 05: Disposicion de las morrenas según la localización dentro del valle. Fuente: Paloma Fernández García.	52
Figura N° 06: Mapa de dominios geotectónicos y sistemas de fallas regionales Fuente: Carlier, 2005 & INGEMMET, 2007.....	55
Figura N° 07: Mapa de ubicación de la cuenca Occoruruni.....	67
Figura N° 08: Columna Litoestratigráfica de la formación Sandia. Fuente: INGEMMET boletín Putina 30x - la Rinconada 30y.....	69
Figura N° 09: Formación Sandía en la cabecera de la Cuenca Occoruruni.....	70
Figura N° 10: Columna Litoestratigráfica de la formación Ananea. Fuente: INGEMMET, boletín Putina 30x - la Rinconada 30y.	71
Figura N° 11: Formación Ananea en el Cerro Gunacunca	72
Figura N° 12: Afloramiento rocoso fuertemente plegado margen derecho de la Quebrada Azulcocha.....	74
Figura N° 13: Falla inversa Formación Sandia.....	74
Figura N° 14: Imagen satelital de la Cuenca Occoruruni.	75
Figura N° 15: Plano geológico local de la cuenca Occoruruni.....	76
Figura N° 16: Mapa de pendientes. Fuente: Propia.	80
Figura N° 17: Mapa Geomorfológico. Fuente: Propia.	83
Figura N° 18: Circo glaciar, nevado Vizcachani.	86



Figura N° 19: Cornisas, en el nevado Sorapata.	87
Figura N° 20: Escarpas principales en la cuenca Occoruruni.	88
Figura N° 21: Laderas fuertemente empinadas, quebrada Azulcocha.	89
Figura N° 22: Laderas de montaña moderadamente empinadas.	90
Figura N° 23: Cárcavas en la parte media de la quebrada Occoruruni.	91
Figura N° 24: Colinas altas fuertemente disectadas, quebrada Vizcachani.	92
Figura N° 25: Colinas media moderadamente disectadas, quebrada Vizcachani.	93
Figura N° 26: Valle glaciar en forma de “u”, quebrada Occoruruni.	94
Figura N° 27: Bofedales al pie del valle. Fuente: Propia.	95
Figura N° 28: Laguna Vizcachani, se observa la fusión del hielo glaciar.	96
Figura N° 29: Se observa en la laguna Vizcachani las planicies sandur.	97
Figura N° 30: Estrías glaciares en el valle glaciar. Fuente: Propia.	98
Figura N° 31: Bloques erráticos, quebrada Vizcachani y Azulcocha.	99
Figura N° 32: Sistema de polígonos pseudo-hexagonales, cerca de la laguna Sorapata.	100
Figura N° 33: Abanicos aluviales valle glaciar, quebrada Vizcachani.	101
Figura N° 34: Depósito Coluviales, margen derecho del rio Occoruruni.	102
Figura N° 35: Terrazas fluviales, margen izquierda del rio Occoruruni.	103
Figura N° 36: Terrazas diferenciadas en la planicie actual.	104
Figura N° 37: Llanura de inundación al margen de riachuelos y la parte baja del valle.	105
Figura N° 38: vista panorámica desde el centro poblado Koriwara a la Cordillera Apolobamba.	106
Figura N° 39: Morrenas de fondo de valle glaciar, quebrada Vizcachani.	107
Figura N° 40: Identificación de zonas que evidencian desprendimientos de bloques de hielo en el ámbito de la cordillera Apolobamba.	108
Figura N° 41: Laguna Sorapata zona de desagüe, se observa las huellas de los eventos de desborde ocasionado por una avalancha.	109



Figura N° 42: Laguna Sorapata parte arriba de la zona de desagüe, se aprecia el contacto entre hielo y material morrenico.	109
Figura N° 43: Fotografía aérea de la laguna Sorapata, con huellas del evento aluviónico.	110
Figura N° 44: Fotografía aérea de la zona de desagüe, laguna Sorapata, signos de desprendimiento de rocas y flujo constante.	110
Figura N° 45: Fotografía aérea de la zona de desagüe, laguna Vizcachani, morrenas en movimiento.	111
Figura N° 46: Fotografía aérea de la zona de desagüe laguna Vizcachani, presencia de bloques erráticos.	111
Figura N° 47: Muestra de roca tipo arenisca, Formación Sandia.	112
Figura N° 48: Muestra de roca tipo pizarra, Formación Sandia.	113
Figura N° 49: Mapa de facies en formato Kmz. Fuente: propia.	114
Figura N° 50: Zona 1 cercana a los glaciares. Fuente: propia.	115
Figura N° 51: Zona 2 en el valle glaciar morrena lateral. Fuente: propia.	116
Figura N° 52: Zona 3 lecho de río en el valle glaciar. Fuente: propia.	117
Figura N° 53: Zona 4 lecho del río. fuente: propia.	118
Figura N° 54: Zona 5 cerca al centro poblado Koriwara. Fuente: propia.	119
Figura N° 55: Puntos de muestreo de suelo en la cuenca de Occoruruni.	120
Figura N° 56: Perfiles estratigráficos de las zonas estudiadas.	124
Figura N° 57: Perfil estratigráfico de la zona 1. Fuente: propia.	125
Figura N° 58: Perfil estratigráfico de la zona 2. Fuente: propia.	126
Figura N° 59: Perfil estratigráfico de la zona 3. Fuente: propia.	128
Figura N° 60: Perfil estratigráfico de la zona 4. Fuente: propia.	129
Figura N° 61: Perfil estratigráfico de la zona 5. Fuente: propia.	130
Figura N° 62: Retroceso glaciar en el ámbito de la cordillera Apolobamba, Mapa del retroceso glaciar de 1962 a 2016. Fuente: INAIGEM.	131
Figura N° 63: Se observa en el inicio del fondo glaciar. Fuente: Elaboración propia.	132



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Nomenclatura geomorfológica caracterización de unidades geomorfológicas de acuerdo al paisaje. Fuente: ZEE Cajamarca - 2011.	34
Tabla N° 02: Colores para unidades de Mapeo de las Geoformas Fuente: (Carbajal, 2004).	35
Tabla N° 03: Clasificación y códigos de facies y su respectiva interpretación.	46
Tabla N° 04: Clasificación de los medios sedimentarios. Fuente: Cecilia L; Universidad Nacional Autónoma de México.	49
Tabla N° 06: brigada de estudio.	51
Tabla N° 07: Equipos y herramientas.	56
Tabla N° 08: Vías de acceso y tramos a la Cordillera Apolobamba.....	56
Tabla N° 09: Distancia entre la Cordillera y los Centros Poblados.....	66
Tabla N° 10: Categorías de pendiente para la geomorfología Tabla N° 11: Unidades geomorfológicas.....	79
Tabla N° 12: Coordenadas de los puntos de muestreo.	84
Tabla N° 13: Resultados de laboratorio, clasificación de suelos en AASTHO Y SUCS y propiedades físicas del suelo.....	120
	121



ÍNDICE DE ACRONIMOS

INAIGEM: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña.

INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales.

INGEMMET: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico.

GLOF: Inundación de desborde violento de lago glaciar.

DEM: Modelo de Elevación Digital

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

TIN: Red de Triangulación Irregular

UNIDAD DE MEDIDA

Km: Kilometro.

%: Porcentaje.

ABREVIATURAS GEOLÓGICAS

Os-s: Formación Sandia.

SD-an: Formación Ananea.

UTM: Sistema de Coordenadas universal transversal de Mercator.

DC-ca: Sistema Denudacional Colina Alta.

DC-cm: Sistema Denudacional Colina Media.

DP-ta: Sistema Denudacional Terrazas Aluviales.



- DP-tk:** Sistema Denudacional Terrazas Kame.
- DP-li:** Sistema Denudacional Llanura de Inundación.
- DP-aa:** Sistema Denudacional Abanico Aluvial.
- DP-cc:** Sistema Denudacional Cono Coluvial.
- ML-es:** Sistema Montañoso Escarpa.
- ML-la:** Sistema Montañoso Laderas Altas.
- ML-lm:** Sistema Montañoso Laderas Medianas.
- ML-ca:** Sistema Montañoso Cárcavas.
- MM-cg:** Sistema Montañoso Circos Glaciares.
- MM-co:** Sistema Montañoso Cornisas.
- FV-vu:** Sistema Fluvioglacial Valle “U”.
- FV-bo:** Sistema Fluvioglacial Bofedales.
- FG-it:** Sistema Fluvioglacial Lagunas Tarn.
- FG-ps:** Sistema Fluvioglacial Planicies Sandur.
- FG-eg:** Sistema Fluvioglacial Estrías Glaciares.
- FG-be:** Sistema Fluvioglacial Bloques Erráticos.
- FG-gd:** Sistema Fluvioglacial Grietas de Desecación.
- AU-ph:** Sistema Antrópico Población Humana.
- Gmm:** Grava masiva, matriz soportada.
- Gmg:** Grava matriz soportada.



Gci: Grava clasto soportada.

Gcm: Grava masiva clasto soportado.

Gh: Grava con estratificación gruesa clasto soportada.

Gt: Grava estratificada, estratificación en artesas.

Gp: Grava estratificada, estratificación cruzada planar.

St: Arena, fina a muy gruesa, estratificación por artesas solitarias

Sp: Arena, fina a muy gruesa, puede ser guijarrosa

Sr: Arena, fina a muy gruesa, ondulitas

Sh: Arena fina a muy gruesa, laminación Horizontal

Sm: Arena, fina a muy gruesa

Fl: Arena, limo, fango

Fsm: Limo, fango



RESUMEN

La cuenca de Occoruruni se encuentra ubicada en la Región de Puno, Provincia de San Antonio de Putina y Distrito de Sina. Esta cuenca junto a los Nevados Salluyo, Vizcachani y Sorapata, son los principales aportantes de material detrítico compuesto por fragmentos de rocas metamórficas y metasedimentaria, cuyos depósitos de origen glaciar tienen un comportamiento caótico; por esta razón se tuvo como objetivo identificar la cantidad de eventos aluviónicos que sucedieron en la cuenca, para esto se hizo un estudio sobre las características geomorfológicas y sedimentológicas, la metodología de investigación corresponde al método no experimental, descriptivo y exploratorio; con lo cual se identificó las características geomorfológicas y eventos aluviónicos utilizando imágenes satelitales e imágenes de drone, para la caracterización sedimentológica se hicieron calicatas en nueve sectores en donde se determinó la granulometría del sedimento y en cinco zonas con afloramientos sedimentarios visibles se determinó el tipo de estratificación, los componentes litológicos y mineralógicos; a correlación de los estudios geomorfológicos y sedimentológicos ayudo a identificar los eventos aluviónicos ocurridos en la cuenca, en donde dos de ellos son recientes con características visibles y otros cinco son reconocidos por indicios en depósitos morrenicos, estos últimos muestran cambios de dirección y deposición de sedimentos formados por la pérdida de energía en la parte baja de la cuenca, esto indica riesgo en los centros poblados aledaños.

Palabras Clave:

Aluvión, Ambiente glaciar, Facies sedimentarias, Geomorfología, Morrena.



ABSTRACT

The Occoruruni basin is located in the Puno Region, San Antonio de Putina Province and Sina District. This basin, together with the Salluyo, Vizcachani and Sorapata mountains, are the main contributors of detrital material composed of fragments of metamorphic and meta-sedimentary rocks, whose deposits of glacial origin have a chaotic behavior; For this reason, the objective was to identify the amount of alluvial events that occurred in the basin, for this a study was carried out on the geomorphological and sedimentological characteristics, the research methodology corresponds to the non-experimental descriptive and exploratory method, with which the Geomorphological features and alluvial events using satellite images and drone images. For the sedimentological characterization, pits were made in nine sectors where the granulometry of the sediment was determined and in five zones with visible sedimentary outcrops the type of stratification, the lithological and mineralogical components were determined. The correlation of geomorphological and sedimentological studies helped to identify the alluvial events that occurred in the basin, where two of them are recent with visible characteristics and another five are recognized by indications in moraine deposits, the latter show changes of direction and sediment deposition formed by the loss of energy in the lower part of the basin, this indicates risk in the neighboring populated centers.

Keywords:

Alluvium, Geomorphology, Glacial environment, Moraine, Sedimentary facies.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

El estudio de los glaciares en el Perú es de mucha relevancia para la estimación y mitigación de riesgos en los centros poblados o ciudades aledañas. El Perú es considerado un país montañoso, aquí se encuentra el 71% de los glaciares tropicales del mundo, con 18 cordilleras nevadas en las últimas 5 décadas por el efecto del cambio climático, los glaciares tropicales andinos se han reducido en un 54%. Debido a su latitud geográfica son particularmente sensibles al aumento de temperatura.

El origen de la dinámica de los glaciares tropicales ha traído serios efectos primero, el incremento de los aluviões de origen glaciar; y segundo, pérdida de reservorios naturales (lagos y lagunas) debido a un desborde natural que con lleva a la disminución de reservas de recursos hídricos para los centros poblados aledaños.

La Cordillera Apolobamba, forma parte de las 18 cordilleras glaciares del Perú, es la única cordillera binacional, y la que menos ha sido estudiada en nuestro país, se extiende a lo largo de 80.5 Km entre los países de Bolivia y Perú, posee una superficie glaciar total de 39.63 km² (lado peruano) drenando sus aguas a las cuencas de Inambari (Amazonas) y Suhez (Titicaca). El retroceso glaciar evidenciado en todas las cordilleras glaciares tropicales, también la cordillera



Apolobamba no fue ajeno a esto, y a esto se suma los impactos antrópicos producidos por la industria de la extracción del oro.

Por estas razones se ha realizado el estudio geomorfológico y sedimentario en la cordillera Apolobamba denominado “estudio geomorfológico y de facies sedimentarias para la identificación de eventos aluviónicos en la cuenca de Occoruruni Cordillera Apolobamba - Puno”, en el presente trabajo de investigación primero se realizó una recopilación de estudios anteriores sobre los glaciares, geomorfología glaciar y eventos aluviónicos también apoyado de imágenes satelitales, fotografías aéreas y en dicha estadía de investigación se estudiaron la características geomorfológicas y sedimentarias presentes en la cuenca. Luego se describió la metodología que se utilizaron para el trabajo de campo, después se obtuvo resultados de los estudios para luego tener los resultados y finalmente dar las conclusiones.

1.2. Antecedentes

Para la elaboración del presente trabajo de investigación, se tiene como información base los siguientes estudios realizados:

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM, 2018) informe técnico de la expedición científica Apolobamba 2018, es la única institución que ha realizado estudios sobre el glaciar y la topografía en el ámbito, con publicaciones como “Estudio de Peligros de Origen Glaciar en la Cuenca Occoruruni” (INAIGEM, 2018). En este informe técnico se muestran



estudios topográficos e identificación de peligros realizados en zonas de interés, con el objetivo de conocer las características glaciares y la topografía del lugar, para que de acuerdo a estos resultados podamos definir posibles usos.

Instituto Nacional de Recursos Naturales, 2006 (INRENA). Informe de inspección a la Laguna Chaupi Orcco (Sorapata) 2006. En marzo del año 2006 se registró un evento de desborde de una laguna glaciaria en la cabecera de la quebrada Occoruruni (INRENA, 2006) producto de una avalancha mixta (roca y hielo) de la cumbre del nevado Vizcachani causando daños materiales en los centros poblados en Koriwara y Lusuni.

1.3. Planteamiento del problema

Individualmente los temas de peligros, eventos aluviónicos o GLOF (Inundación por desborde violento de lago glaciario), hoy en día son de mucha relevancia, es el motivo que instituciones públicas y privadas estudian el caso y ven su posible remediación o prevención; este tema también está presente en la región de Puno.

El desconocimiento de estos temas en las poblaciones aledañas a la cordillera Apolobamba, sobre los peligros existentes y la composición de suelos (Sedimentología) hacen que habiten en zonas potencialmente vulnerables a peligros por inundaciones, como consecuencia de los desbordes generados por avalanchas que desestabilizan los cuerpos de agua en las lagunas ubicados en la cabecera, eventos que podrían ocasionar desastres y pérdida de vidas



humanas. Con el fin de contribuir con información geológica a la sociedad y prevenir los desastres ocasionados por peligros de origen natural como, avalanchas mixtas, eventos aluviónicos e inundaciones, es conveniente la generación de información técnico-científico y uso de procedimientos técnicos de análisis para la prevención de desastres.

1.3.1. Formulación del problema

Frente a esta problemática se plantea las siguientes interrogantes de investigación:

- a) ¿Cómo es la geomorfología en la cuenca Occoruruni de un ambiente glaciario?
- b) ¿Qué características sedimentarias hay en la cuenca Occoruruni?
- c) ¿Qué tipo de litofacies hay en la cuenca Occoruruni?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Identificar la cantidad de eventos aluviónicos que sucedieron en la cuenca Occoruruni de la cordillera Apolobamba, mediante el estudio de las evidencias geomorfológicas y sedimentarias.



1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la geomorfología y geoformas glaciares de la cuenca Occoruruni.
- Determinar las características sedimentarias.
- Reconocer las distintas litofacies que existen en la cuenca y realizar la estratigrafía.

1.5. Justificación de la investigación

El problema actual en la cuenca Occoruruni es que no existe a la fecha investigaciones científicas sobre el tipo de suelo, la secuencia en el que se depositó los suelos y las modificaciones que tuvo la cuenca debido a los agentes glaciares.

Según estudios del Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM), el ámbito de la cordillera Apolobamba es hasta la fecha la cordillera glacial menos estudiada en el país, debido a esto no se cuenta con información referente a la dinámica y el comportamiento de los frentes glaciares, lagunas en formación, aspectos relevantes que debemos tener en cuenta en tiempos donde el cambio climático y el calentamiento global son motivo de discusión en la comunidad científica.

La importancia del presente proyecto es generar información geológica valiosa, que a la fecha no existe, de la cuenca de Occoruruni, por ejemplo: planos



geomorfológicos, planos litológicos a detalle. La información geológica generada en el presente proyecto también podrá ser utilizada por instituciones públicas y privadas para la prevención de desastres naturales que afecten a poblaciones aledañas.

Este proyecto incide en el estudio de eventos aluviónicos que ocurrieron en diferentes etapas del retroceso glaciar y que posiblemente podrían ocurrir en el futuro. Existen evidencias, documentadas y no documentadas, de eventos aluviónicos ocasionados por la caída de avalanchas de hielo y roca que afectaron a las lagunas en formación en la cabecera de la cuenca Occoruruni (informe de inspección Chaupi Orcco, INRENA, 2006) estos eventos causaron daños en la infraestructura vial de acceso al centro poblado de Koriwara, así como la alarma en las poblaciones ubicadas aguas abajo como son: Potoni y Sina.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Esper, M. (2016). Morfometría de cuencas como base en la evaluación de la susceptibilidad peligrosidad por aluviões, caso de estudio Cuenca del rio del Agua, San Juan, Argentina. La cuenca del río del Agua nace en el extremo sur de la sierra del Tontal, departamento Sarmiento en la provincia de San Juan. En el presente trabajo se analizan diversas características morfométricas de la cuenca y se calculan algunos parámetros básicos (área, perímetro, longitud, altitud y pendiente del cauce principal, entre otros), en términos de su incidencia en el comportamiento y respuesta hidrológica del sistema. Los resultados indican que el comportamiento de la cuenca está determinado principalmente por las fuertes pendientes del sector montañoso, el orden 7 de la red de drenaje, una relación de bifurcación media de 5,14 y una alta torrencialidad, que, ante la presencia de lluvias excepcionales, la convierte en una zona potencialmente peligrosa con posibilidades de altos niveles de destrucción.

Herrera, M. (2005). Geomorfología de la cuenca del glaciar chico, campos de hielo sur, Chile Austral. Se presentan los resultados del análisis de la cuenca del Glaciar Chico (Campos de Hielo Sur), en función de sus características morfológicas, para lo cual, se ha realizado una zonación que permite identificar las



relaciones existentes entre las partes del sistema glacial y las derivaciones morfogénicas de cada componente identificado, así como también, una evolución del sistema glacial durante 50 años y una clasificación morfológica del valle del Glaciar Chico. Para el logro de los propósitos establecidos, se realizaron análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales; revisión bibliográfica de antecedentes del área; campañas de terreno; levantamiento geomorfológico en la zona y confección de perfiles en los dominios terminal y supraglaciar. La morfología de la cuenca del Glaciar Chico presenta características de glaciar de exutorio del campo de hielo, asociada a la existencia de un amplio desarrollo y consolidación de formas en los dominios pro glacial y terminal. Se evidencian dos épocas diferentes de operación del Glaciar Chico, la primera, asociada a la Última Glaciación representada por el dominio infraglacial antiguo localizado sobre el dominio yuxtaglacial y la segunda, asociada al último avance del Glaciar Chico, que deja como testimonio las formas de los dominios yuxtaglacial, terminal y proglacial.

Quinzio, L. (2019). Estratigrafía y facies sedimentarias en la formación Zapata, sector este del glaciar Tyndall, Parque Nacional Torres del Paine, Región de Magallanes, Chile. La zona de estudio se emplaza en el límite este del Glaciar Tyndall en el Parque Nacional Torres del Paine, Región de Magallanes y la Antártica Chilena, Chile. Corresponde a una sucesión de estratos pertenecientes a la Formación Zapata, de granulometría principalmente fina, de ambiente marino profundo, cuya depositación fue interrumpida episódicamente por corrientes turbulentas. En el área se identifican 2 miembros cuya sedimentación ocurrió probablemente muy cerca de la línea de costa, en un paleo relieve abrupto como el de un cañón submarino. El primer miembro contiene abundantes



fósiles de diferentes especies de ictiosaurios, acompañados de belemnites, ammonites, peces y bivalvos (inoceramidos). El segundo miembro, probablemente producto de cambios en las condiciones tectónicas regionales, indicaría una profundización en la cuenca y un ligero aumento en el volcanismo de la región. Por la abundancia y las extraordinarias condiciones de conservación de los ictiosaurios, es posible clasificar esta zona o área como una localidad “Lagerstätte”.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

INAIGEM (2016). Informe técnico N° 04 Laguna 513, Cochca y Rajupaquinan. El retroceso de los glaciares ha producido la formación de lagunas nuevas, que de acuerdo a su evolución características aledañas y la presencia de la población aguas abajo permiten definir como lagunas peligrosas. Estas lagunas fueron el origen de aluviões en cuencas glaciares del Perú, ocasionando flujos de escombros con gran alcance y poder destructivo. El INAIGEM ha programado la inspección técnica de glaciares y lagunas, con el objetivo de caracterizar las condiciones actuales de glaciares y lagunas, estimando el nivel de peligrosidad de estos. Los trabajos de campo, se sustentan en la toma de datos insitu, resaltando los aspectos físicos de lagunas y glaciares en el nevado Hualcan, mediante el uso de imágenes de satélite y toma de fotografías. Además, se usó modelos digitales de elevación de otros estudios en la subcuenca Chucchun. En base a las características físicas y condiciones de los alrededores observadas en campo se estimó el nivel de peligrosidad (calificación cualitativa) de las lagunas en la subcuenca Chucchun. La laguna 513 fue definida con moderado



nivel de peligrosidad, porque se identificó glaciares colgantes que podrían generar avalanchas sobre la laguna y a su vez oleajes con desborde, pero tiene un dique de roca con borde libre de 20-23 m, que protege y da estabilidad en condiciones normales a esta laguna.

Moreno, T. (2019). Facies sedimentarias de las formaciones Carhuaz y Farrat en los sectores de San Cirilo, Callacpuma – Chilete. Se elaboró columnas lito-estratigráficas de las Formaciones Carhuaz y Farrat en los sectores de San Cirilo, Callacpuma y Chilete, en los alrededores de Cajamarca, que fueron digitalizadas e interpretadas luego en gabinete, con el fin de estudiar las facies sedimentarias de dichas Formaciones e interpretar sus ambientes sedimentarios de formación. En la Formación Carhuaz, se encontraron facies de llanura mareal con episodios de ambiente lacustrito, con gruesos bancos de lutitas, y de llanura de inundaciones con presencia de areniscas de grano fino y limonitas con estratificación planar, pertenecientes a un ambiente deltaico controlado por acción de mareas; mientras que en la Formación Farrat se encontraron facies de areniscas de grano grueso con estratificación cruzada de canal indicando la presencia del canal o la barra de desembocadura (mejor marcada en el sector de Callacpuma, donde también se evidencia etapas de derrames laterales) pertenecientes a un ambiente deltaico controlado por acción fluvial. El cambio de régimen se debió, a un levantamiento continuo de la cuenca, desde la Formación Santa (infrayacente a la Formación Carhuaz), hasta la transgresión marina en la Formación Inca (suprayacente a la Formación Farrat).



Vergara, M. (2017). Caracterización de las unidades geomorfológicas en el distrito de Jesús, Cajamarca, La Tesis se realizó en el distrito de Jesús entre el Cerro Cashorco al N y al S por el cerro Hormillo y las quebradas Trinca y Llumbamba, a una altitud de 2645 m.s.n.m al Sur Este de la ciudad de Cajamarca y consistió en el cartografiado en el plano topográfico base, Para los resultados se basó en el ambiente de formación y el paisaje dominante tomando en cuenta la cota, pendiente, litología y el tiempo Geológico. Los resultados se plasmaron en el plano geomorfológico a escala 1:15000, elaborando cuatro perfiles, los estudios permitieron determinar los factores que influyeron en el modelamiento actual: en primer lugar los endógenos actuando mediante fuerzas distensivas formando el sinclinal y fallas normales, como resultado las Unidades Geomorfológicas (UG) de Ambiente Estructural (Montañoso); en segundo lugar actuaron los procesos exógenos, los cuales erosionaron la superficie formándose las Unidades Geomorfológicas de Ambiente Denudacionales (Colinoso, Planicie, altiplanicie), sumado a ello aún siguen estos procesos formando las Unidades Geomorfológicas de Ambiente Fluvial (Cauce actual, y valle) la actividad humana ha dado la formación de Unidades Geomorfológicas de Ambiente Antrópico (Construcciones).

2.1.3. Antecedentes regionales

Castro, M. (2017). Evaluación de riesgos geológicos de la zona urbana, distrito de Ollachea – Carabaya. El presente trabajo de investigación se realizó en el Distrito de Ollachea, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno, el cual comprende el estudio de los niveles de riesgos geológicos hallados en la zona a



fin de conocer los peligros y zonas vulnerables a los que está expuesto la población, el objetivo principal es determinar el nivel de riesgo geológico de la zona urbana de Ollachea. Establecer los criterios adecuados para poder prevenir a la población de posibles desastres naturales, finalmente se realiza una contribución textual de recomendaciones medidas de prevención para los habitantes del Distrito de Ollachea que puedan minimizar las vulnerabilidades halladas con medidas de prevención.

Gonzales & López (2015). Proceso de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE). Indican que la zona de estudio está constituida principalmente por pizarras grises con piritita y cuarcitas con meta arenisca de las formaciones Ananea y Sandia. Se circunscriben a los sectores central, este y sur del departamento y guardan una cierta alineación al Noroeste, sus pendientes en estos sectores van de moderadamente inclinado hasta fuertemente inclinado (8% - 75%). En algunos casos sobrepasa las pendientes mayores a 75%, tienen procesos de erosión moderadamente avanzados. Otra peculiaridad de esta unidad geomorfológica es que se encuentra circunscrita completamente en la Provincia Morfológica de la Cordillera Oriental.

INGEMMET (2006). Riesgo de desprendimiento de farallón rocoso en C.P. Rinconada distrito de Ananea, provincia San Antonio de Putina – región Puno. En el macizo rocoso del cerro Lunar de Oro, se ha detectado una grieta que compromete la seguridad del sector Ritipata. Para el sostenimiento del macizo rocoso, se pensó en primera instancia realizar un empernado de anclaje sistemático, pero al comprobar in situ las condiciones geomecánicas de la roca



como grietas muy abiertas y fracturamiento, este tipo de sostenimiento no tendría los resultados óptimos. Por lo cual se recomienda hacer una voladura controlada, la actividad debe ser dirigida por un especialista de alto nivel en voladuras en rocas. Estas generarían una avalancha (desestabilizando el glaciar), la avalancha posiblemente llegue hasta la laguna Lunar de Oro y provocar inundaciones en el centro poblado Menor Lunar de Oro. Los habitantes de Ritipata deben ser reubicados en áreas libres de peligro geológicos y la población de Lunar de Oro educarla acerca de los peligros geológicos como avalanchas, derrumbes deslizamientos y caídas de rocas que les puedan afectar y no permitir la expansión urbana en las partes bajas del glaciar.

Mamani, E. (2018). Geomorfología y su relación con yacimiento minerales de San Antonio de Esquilache – Puno, El presente trabajo de investigación se realizó en el Distrito de San Antonio de Esquilache, en la Provincia y Departamento de Puno, en la margen oeste de la Cordillera Occidental de los Andes en el sur del Perú. Con el objetivo de conocer la geomorfología de San Antonio de Esquilache y su relación con la presencia de yacimientos minerales. En el área de estudio se encuentra una secuencia de procesos endógenos volcánicos que van desde Paleógeno al Neógeno entre las que destacan los grupos Volcánicos Tacaza, Maure y Barroso, así como la presencia de los eventos intrusivos y domos resurgentes, eventos estructurales, tectónicos, que corresponden a las últimas manifestaciones de la evolución de la cordillera occidental de los Andes del Sur. Los procesos exógenos que consisten de meteorización, erosión, transporte y sedimentación, finalmente se manifiesta el resultado de las geoformas que tienen altitudes desde 4,400 hasta los 5,150



m.s.n.m. Como resultado se tienen dos áreas mineralizadas que están relacionados principalmente a la intrusión de composición diorita - microdiorítica en el cerro Crestón y cerro Mamacocha geomorfológicamente considerados como domo Crestón y domo Mamacocha – Mercedes, que están orientados estructuralmente por fallas tensionales de dirección NE-SO (evidenciados por los valles), rellenas por soluciones hidrotermales con sulfuros primarios como calcopirita, blenda, galena, pirita, argentita, cuarzo, calcita que formaron el yacimiento, expresada mediante vetas, vetillas, venillas y stockworks, lo que se tiene como mineral dominante la plata, plomo, cobre, y zinc.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Eventos Aluviónicos

Los eventos aluviónicos son el efecto de la erosión producidas por la dinámica fluvial ya sea en un valle o cauce, esto fenómeno natural se da donde existe fuerte desnivel y por la erosión y socavamiento lateral que originan los colapsos del material y la aparición de estos eventos aluviónicos, estos movimientos de material detrítico son movimientos rápidos de rocas escombros y suelos saturados de agua (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2006).

- **Inundación por desborde violento de lago glaciar (Glof):** Es un tipo de inundación violenta que se produce cuando los elementos de contención hielo glaciar o una morrena de un lago glaciar colapsa, el colapso puede ocurrir debido a la erosión, acumulación de presión de agua, y si una



porción suficiente de un glaciar se desprende y masivamente se desplaza a las aguas de un lago glaciar y se origina el Glof.

- **Movimientos Complejos:** Los movimientos complejos se agrupan a procesos combinados de dos o más tipos de peligros los más comunes los deslizamientos – flujo y derrumbes – flujos, y son relativamente frecuentes en zonas caóticas y de gran pendiente: flujo de detritos, caída de rocas, derrumbes – vuelcos sus dimensiones van desde pocas decenas a centenas de metros.

2.2.2. Geomorfología

Según (Gregori, 1978 en Kéller y Rockwell, 1984; Roberston, 1990, Carvajal, 2004). La geomorfología es la expresión morfológica del terreno depende de los tipos de materiales, la disposición estructural, los procesos naturales que interactúan de acuerdo con el ambiente o condiciones externas e internas dominantes y el tiempo de duración de los mismos.

La interpretación de la geomorfología tiene por finalidad la descripción de las formas del terreno, y la explicación de su génesis (origen), evolución a través del tiempo geológico, la definición de la naturaleza de los materiales, la clasificación de los paisajes según el proceso o agente natural dominante, composición, edad y explicación de la magnitud de los agentes y procesos geomorfológicos modeladores. Al comprender cada uno de los elementos y procesos naturales que le dan origen al paisaje, es posible deducir o pronosticar el comportamiento



del terreno con relación a diversos procesos naturales y antrópicos. De igual manera se puede lograr reconocer y deducir la resistencia de los materiales litológicos relacionados a los procesos y a las condiciones degradacionales y denudacionales. El análisis de las condiciones geomorfológicas conduce a:

- ✓ Entender la influencia y control de las estructuras geológicas regionales sobre las geoformas (Ej.: escarpes y drenajes asociados).
- ✓ La génesis de las geoformas, que reflejan la dinámica de los procesos naturales actuales: endógenos y exógenos (denudación, acumulación).
- ✓ Relacionar la geometría de los terrenos (las formas de las laderas) a tipos de movimientos antiguos o activos de remoción en masa, deducir situaciones críticas o potenciales.
- ✓ Establecer la magnitud de la dinámica de los procesos denudativos que están actuando sobre una geoforma en particular.
- ✓ Las relaciones espaciales de las geoformas, debido a que determinan zonas homogéneas con características litológicas y geomecánicas similares.

2.2.2.1. Cartografía Geomorfológica

Según (Carvajal, 2004). La cartografía geomorfológica va más allá, la fisiografía de una región es fundamental para entender los procesos geomorficos correspondientes, pero los mapas resultantes requieren de una mayor cantidad de elementos para poder ser considerados como mapas geomorfológicos.



2.2.2.2. Fundamentos de la cartografía geomorfológica

La geomorfología involucra y relaciona al paisaje con todos los procesos que originaron y sus condiciones ambientales. Para lograr una descripción y caracterización adecuada es necesario representarla en forma gráfica o de mapas, para lograr una adecuada cartografía geomorfológica se deben incluir tres aspectos principales (Carbajal, 2004).

- **Morfología:** Aquí se incluyen los atributos morfométricos y morfográficos se aplican principalmente al componente externo de la geoforma, son esencialmente descriptivos y pueden ser extraídos de documentos derivados de modelos digitales de elevación (DEM) (Carvajal, 2004).
- **Morfografía:** Corresponde a aspectos relacionados a la geometría y descritos según adjetivos descriptivos y representativos, los atributos morfográficos son esencialmente descriptivos. Describen la geometría de las geoformas en términos topográficos y planimétricos. Se utilizan corrientemente para la identificación automatizada de ciertos rasgos de las geoformas a partir del DEM (modelo digital de elevaciones) (Zinck, 2012)
- **Topografía:** La topografía se refiere a la sección transversal de una porción de terreno. Puede visualizarse en dos dimensiones mediante un corte topográfico o perfil de la topografía y en tres dimensiones mediante un modelo tridimensional de terreno o forma de la topografía, la



caracterización de este rasgo es particularmente importante en áreas de pendiente. La forma y el perfil de la topografía están relacionados entre sí, pero se describen a niveles categóricos diferentes. Los atributos de la forma topográfica se utilizan a nivel de paisaje, mientras que los atributos de perfil topográfico se utilizan a nivel de relieve y de forma de terreno. También indica la orientación del relieve en las cuatro direcciones cardinales y sus subdivisiones (Zinck, 2012)

- **Relieves Estructurales:** Estas dependen de la litología, que les proporciona su volumen superficie desnivel topografía y orientación. La permanencia y conservación de los relieves estructurales esta pues, en estrecha vinculación con su constitución litológica. En consecuencia, la litología ha de ser el entramado básico de un mapa geomorfológico; en realidad el mapa geomorfológico proyectado por el IGA es una variante del litológico.
- **Red Hidrográfica:** Se superpone por igual a los relieves estructurales a partir de las grandes arterias fluviales. Según el IGA debe ser representada en su extensión completa, hasta con los barrancos más pequeños. Red de cauces constituye el negativo de la trama estructural y de las superficies aplanadas de los glacis.

2.2.2.3. Clasificación de unidades geomorfológicas

Las unidades geomorfológicas son clasificadas de manera jerárquica y estable una leyenda temática, a partir de sistemas y unidades geomorfológicas de acuerdo al análisis de pendientes, donde localmente se identificaron sistemas y unidades geomorfológicas.

Tabla N° 01: Nomenclatura geomorfológica caracterización de unidades geomorfológicas de acuerdo al paisaje. Fuente: ZEE Cajamarca - 2011.

Unidades geomorfológicas	Subunidades geomorfológicas	Pendiente en grados	Simbología
Montaña	Empinada	>50	ME
	escarpada		MEs
	Fuertemente disectada		MFd
	Fuertemente empinada		MFe
	Moderadamente empinada		MMe
Pendientes laderas	Montaña empinada	25-50	LMe
	Montaña escarpada		LMEs
	Montaña fuertemente empinada		LMFe
	Montaña moderadamente empinada		LMMe
Colina	Alta empinada	10-25	CAe
	Alta fuertemente empinada		CAFe
	Alta moderadamente empinada		CAMe
	Baja fuertemente inclinada		CBFi
	Baja moderadamente inclinada		CBMi
Altiplanicie	Altiplanicie fuertemente inclinada	5-10	Afi
	Altiplanicie moderadamente inclinada		AMi

	Altiplanicie moderadamente empinada		AMe
	Altiplanicie plana		AP
Planicie	Complejo de terrazas inundables y no inundables	0-5	CT-ini
	Llanura o planicie inundable		LLp-i
	Piedemonte aluvial		P-a
	Piedemonte aluvio lacustre		P-al

2.2.2.4. Notación cartográfica

Corresponde a una abreviatura de hasta cinco caracteres; el primero en mayúscula el primero y el segundo se utilizan para identificar el ambiente morfogenético principal (Denudacional: D, Volcánico: V, Estructural: S, Fluvial y deltaico: F, Kárstico: K, Marino y costero: M, Glacial: G, Eólico: E, Antropogénico: A. (Carbajal, 2011). En cuanto a la notación de colores correspondiente a la metodología del I.T.C son:

Tabla N° 02: Colores para unidades de Mapeo de las Geoformas

UNIDADES DE MAPEO POR GÉNESIS DE LAS GEOFORMAS	COLOR	
	SISTEMA ITC	CARBAJAL 2011
Formas de origen morfoestructural	Púrpura	Púrpura
Formas de origen volcánico	Rojo	Rojo
Formas de origen denudacional	Marrón	Marrón
Formas de origen fluvial y lagunar	Verde	Azul
Formas de origen costero y marino	Azul oscuro	Verde
Formas de origen glacial y periglacial	Azul Claro	Grises
Formas de origen eólico	Amarillo	Amarillo
Formas de origen Kárstico	Naranja	Naranja
Formas de origen Antropogénico / biológico	Negro – gris	Tramas en negro

Fuente: (Carbajal, 2004).



2.2.3. Geomorfología glacial

El hielo glacial ha tenido un importante papel en el desarrollo de la morfología en extensas áreas de latitudes medias y en las regiones subárticas.

Los glaciares son producto del clima y están permanentemente intercambiando masa con otras partes del sistema hidrológico. A la adición de masa de un glaciar se le llama acumulación y a la pérdida ablación. Las principales formas de acumulación son la precipitación directa de nieve, el congelamiento de agua líquida, paso directo del vapor de agua del aire al estado sólido por las bajas temperaturas de los glaciares, nieve transportada por vientos, nieve y hielo traídos por avalanchas, cencelladas y el congelamiento de agua en las capas basales.

El hielo acumulado se comprime y ejerce una presión considerable sobre el hielo más profundo. A su vez, el peso del glaciar ejerce una presión centrífuga que provoca el empuje del hielo hacia el borde exterior del mismo donde se derrite; a esta parte se la conoce como zona de ablación.

Los glaciares pierden masa por fusión de hielo en agua y el desmembramiento de témpanos de hielo. La diferencia entre ganancias y pérdidas de masa de un glaciar se llama balance de masa. Cuando el balance de masa da negativo el glaciar pierde masa y cuando es positivo gana masa creciendo.



2.2.3.1. Dinámica Glacial

El sistema glaciar produce erosión, transporte y sedimentación, tendiendo a una morfología que le permita alcanzar el equilibrio, de forma que si aumenta la acumulación se producirá el avance del glaciar, y si disminuye, se producirá retroceso y abandono del material transportado.

Los conocimientos sobre erosión glaciar no son muy profundos, normalmente deducimos los procesos por métodos indirectos mediante experimentación en laboratorio o aplicando el método deductivo, tan frecuente en las ciencias de la tierra, en el que a partir de los efectos intentamos clasificar los procesos que han producido las formas de erosión, en este caso glaciares (Goudie, 2004).

2.2.3.2. Modelo de erosión glacial

El proceso de erosión glaciar trae como consecuencia la generación de diferentes formas debidas a la acción de las masas de hielo. estas aparecen reflejadas en la clasificación de las formas de erosión glaciar,

Según (Sugden y Jhon, 1976). Es difícil llevar a cabo una clasificación de este modelado, en la que se hace necesaria una cierta dosis de subjetividad. En esta clasificación se tiene en cuenta los tipos de procesos actuales en el que se diferencia el flujo área del hielo en el que este discurre sin ningún tipo de confinamiento, flujo lineal en canales rocosos y una tercera diferenciación de procesos corresponde a la interacción de la actividad glaciar y peri glaciar. Otra



variable que se utiliza para la diferenciación se basa en que la forma resultante este en posición elevada o deprimida.

También se emplea como norma de clasificación la morfología alineada o parcialmente alineada de la forma generada.

2.2.3.3. Transporte y sedimentación glacial

Según (Boulton, 1978; Small, 1987; Kirkbride, 1995; Benn y Evans, 1998). Los glaciares son capaces de transportar grandes cantidades de material rocoso a distancias considerables, pero no todos los detritos movilizados se deben a la actividad erosiva glacial. Puede haber otras muchas fuentes de procedencia, tal como los clastos que resultan de los procesos de gelifracción de las rocas que enmarcan las masas glaciares. Otro tipo de suministro viene dado por avalanchas de nieve en roca, deslizamientos y cursos extra glaciares que desembocan en el conjunto glacial. Finalmente, la acción eólica puede suministrar partículas al conjunto glacial. La abundancia relativa de detritos constituye un control importante de los procesos y características glaciares sedimentarias. La producción de sedimentos varía substancialmente entre dos casquetes y dos valles glaciares. Estos detritos pueden transportarse dentro del glaciar en tres ambientes distintos.

- **Detritos Supraglaciares**, son angulosos y están poco o nada modificados por la actividad glacial. Son abundantes sobre los glaciares de valle, ya que sus flancos rocosos alimentan a la superficie del hielo,



mientras que en los casquetes la única alimentación que reciben es de las paredes de los nunataks. En la zona de acumulación los detritos supra glaciares pueden quedar tapados por nieve y por otra parte en algunas áreas de montaña estos detritos llegan a recubrir la casi totalidad de la superficie del hielo.

- **Detritos Endoglaciares:** Pueden encontrarse diseminados en la masa de hielo y su proporción con respecto al hielo raramente excede el 15%, o bien se presentan en bandas planares de hasta 5 m de potencia separadas por hielo limpio, pudiendo alcanzar en ellas hasta un 80% de la masa total. estas bandas son rellenos de grietas, aunque en la mayoría de los casos son detritos subglaciares movilizados hacia arriba a lo largo de planos de cizallamiento. Este transporte se lleva a cabo en zonas de flujo compresivo del valle glaciar y otras veces la compresión resulta de morrenas terminales que obstruyen el avance del hielo (Goldthwait, 1951; Boulton, 1970).
- **Detritos Subglaciares:** Puede derivar del propio lecho o de material que penetra a favor de grietas y túneles estos detritos de fondo experimentan abrasión y roturas, y su redondez es mayor y más elevado el porcentaje de finos. El transporte tiene lugar por tracción (Sharp, 1988), en el que las partículas deslizan y ruedan empujadas por el glaciar o si el lecho es deformable las partículas oprimirán el fondo o se incrustarán en el mismo. La forma de los clastos y su orientación afectan al modo de deslizamiento,

de tal manera que los que son alargados se orientan en la dirección del flujo (Price, 1973).

2.2.4. Mecanismos de sedimentación glacial

Los detritos existentes en la masa de hielo pueden transportarse al margen glaciar, depositarse en el lecho, incorporarse al agua de fusión glaciar o perderse en los icebergs. Existen un conjunto de procesos primarios ligados a la sedimentación del material transportado por los glaciares y otros posteriores que modifican el sedimento depositado (Whiteman, 1995). Según Boulton (2006) existen tres formas principales de sedimentación de till: fusión o deshielo supraglaciar (*melt – out*), subglaciar (*lodgement*) y por deformación.

- **Deshielo Supraglaciar:** Es la principal forma de ablación y caracteriza a los glaciares templados, ya que los glaciares fríos presentan una escasa fusión. Así, en los primeros el deshielo puede alcanzar valores de 12 m/año, mientras que en la Antártida se limita a pocos centímetros al año este deshielo supraglaciar es muy superior al que tiene lugar en la base del glaciar. Como consecuencia de la fusión los detritos se liberan para dar origen al till supraglaciar, que pueden conservar estructuras desarrolladas durante el transporte glaciar. El till empapado de agua se desplaza por gravedad, influyendo en su movimiento el gradiente de la superficie, la rugosidad y el porcentaje de agua. Se reconocen flujos de varios metros por minuto y los detritos movilizados alcanzan distancias de decenas o incluso centenas de metros (Sudgen y Jhon, 1976).



- **Deshielo Subglaciar:** Pueden actuar tres fuentes de calor: el flujo geotérmico, el calor de fricción debido al deslizamiento del hielo y el resultante del aumento de presión por obstrucciones de un substrato irregular. Todos estos aportes caloríficos traen consigo la fusión del hielo subglaciar y la deposición de los detritos existentes. La sedimentación subglaciar implica el deshielo bajo presión en un glaciar en movimiento y la liberación continua de partículas produce una acreción, que da origen al till basal. Las irregularidades existentes en el lecho se rellenan de till paulatinamente, suavizando el perfil del fondo (Boulton, 1971), el till subglaciar presenta estructuras de cizallamiento que resultan de esfuerzo desarrollados durante el movimiento del hielo.

- **Descarga Marginal:** Da origen a cordones morrenicos que indican posiciones marginales. El till no suele presentar fábrica. Si el glaciar avanza se produce el empuje del material suelto depositado en el margen frontal dando origen a morrenas de empuje. El till se pliega y se fractura formando estructuras imbricadas. La fábrica resultante tiene una orientación paralela a la dirección del movimiento del hielo.

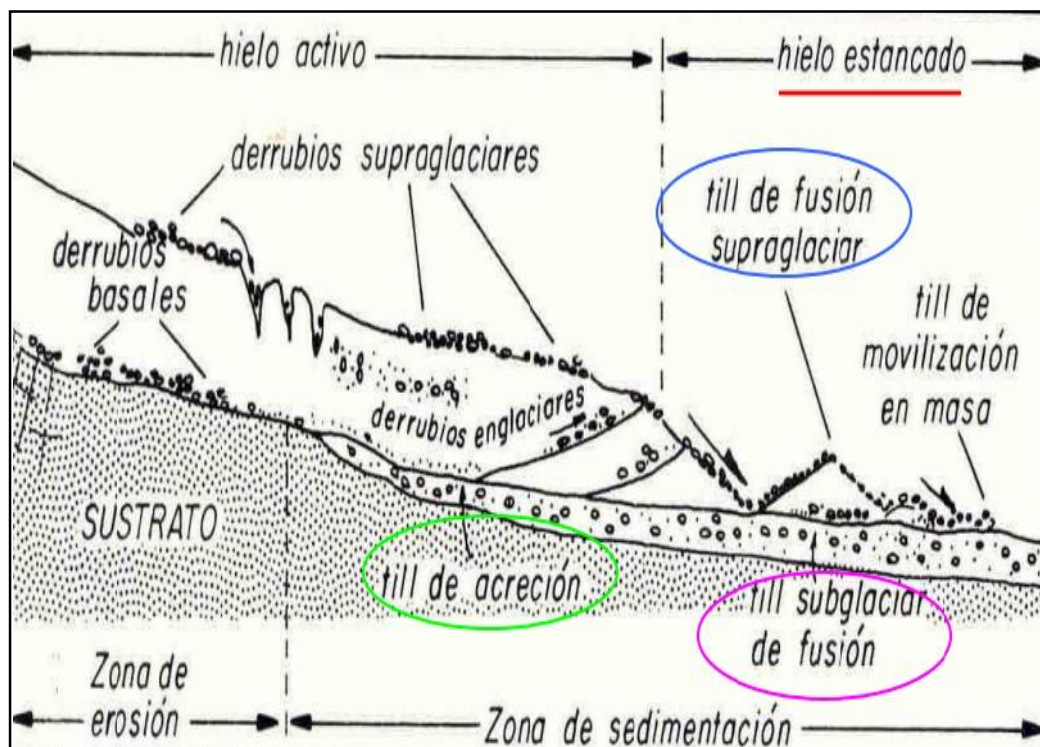


Figura N° 01: Acumulación de till subglaciar en la base de los glaciares rellena por till. Fuente: Fernández Paloma, Universidad complutense de Madrid.

2.2.5. Facies

Lo introdujo formalmente Gressly, (Wegmann, 1963). Las facies individuales son el elemento inicial de toda interpretación sedimentológica y se deben agrupar en asociaciones de facies, que tienen una génesis común, es decir, que se interpretan como el producto de un medio o proceso sedimentario concreto y bien definido, actualmente disponemos de asociaciones de facies bien definidas para muchos medios sedimentarios cuyo principio básico es:

Los parámetros de las facies antiguas de origen desconocido pueden compararse con los de depósitos actuales de los que conocemos el medio



sedimentario y los procesos que los originaron y, de aquí, deducir los que actuaron entonces.

Es una forma diferente de enunciar el principio del actualismo. Si además suponemos que en el pasado, medios y procesos sedimentarios han actuado como en la actualidad (principio de uniformismo). Las facies deben ser totalmente objetiva y debe basarse en los datos obtenidos en el campo al observar las rocas, (Walker & of Canadá, 1979). Desde el punto de vista de sus propiedades o de la escala de observación se distingue:

- **Litofacies:** Se refiere a los aspectos litológicos de un conjunto de estratos y sus condiciones físico – químicas (no biológicas) que reinaron durante un deposito.

- **Biofacies:** Es el complemento ya que se refiere a los aspectos paleontológicos (no los litológicos) y a las condiciones biológicas reinante durante el deposito.

- **Microfacies:** Se refiere a las características litológicas y paleontológicas observables al microscopio y sus condiciones genéticas en su formación (Vera,1994).

2.2.5.1. Asociación de Facies

Es la distribución ordenada de varias facies elementales (Vera,1994), genéticamente asociadas; se debe de cumplir dos condiciones.

- Que se trate de facies que se encuentren juntas.
- Que estén genéticamente (ambientalmente) relacionadas entre sí.

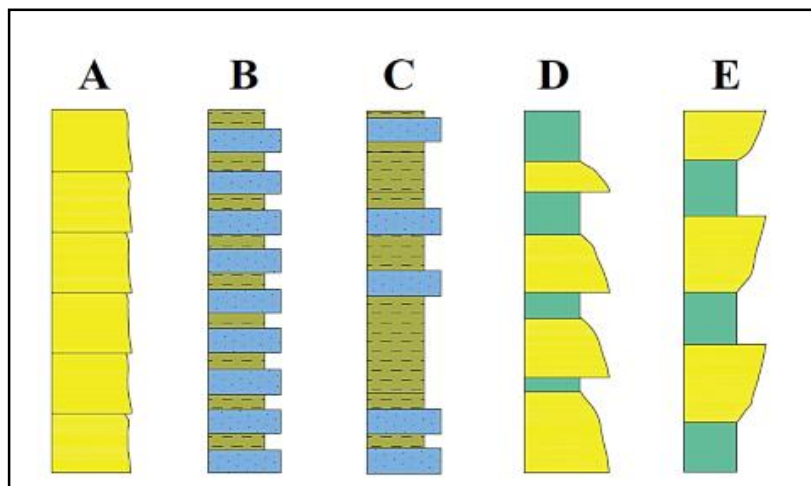


Figura N° 02: Multiepisodica, Bandeada, Bandeada discilica, Asimetrica positiva y Asimetrica negativa. Fuente: Vera,1994.

2.2.6. Código Miall de facies sedimentarias

Para los estudios de los medios fluviales, actuales y antiguos, Miall (1978) propuso una clasificación de facies que ha sido utilizada muy frecuentemente, esta clasificación se basa en el tamaño de grano, diferenciando facies de ruditas (con sigla G), de arenitas (con sigla S) y de lutitas (con sigla F) y dentro de ellas diferentes litofacies Grava masiva soportada (Gms), grava masiva (Gm), grava estratificada festoneada (Gt) y grava estratificada planar (Gp) en función a unas



características genéticas concretas en medios fluviales. Miall estableció un significado genético para cada uno de estos tipos de facies.

Para el análisis de litofacies, el punto principal debe ser el reconocimiento de las asociaciones de propiedades que están repetidas a lo largo de la cuenca. las litofacies pueden ser diferenciadas por la presencia de unidades estratigráficas con una o varias estructuras sedimentarias, por un rango limitado en el tamaño de grano, por un cierto espesor en la estratificación, y quizás hasta por alguna textura o color.

Las litofacies se agrupan juntas en asociaciones, ya que así representan varios tipos de eventos deposicionales que frecuentemente ocurren juntos en el mismo ambiente de depositación. Estas litofacies se apilan en unidades estratigráficas, ya que los ambientes cambian a través del tiempo, permitiendo que diferentes litofacies se acumulen a lo largo de cualquier eje vertical.

La naturaleza de estos cambios ambientales es muchas veces predecible, lo que significa que la sucesión de litofacies resultante es igualmente predecible. Esta es la base para el principio de sedimentación cíclica; el cual interpreta las relaciones laterales de las facies pueden ser predichas estudiando sus sucesiones verticales. Secciones estratigráficas, como afloramientos, acantilados medibles o secciones de pozo, comprimen la mayoría de la información base necesaria. Las relaciones laterales de facies son mucho más difíciles de estudiar, ya que tienden a ser graduales y se extienden por distancias considerables.



Tabla N° 03: Clasificación y códigos de facies y su respectiva interpretación.

Código de facies	Facies	Estructuras sedimentarias	Interpretación
m	Grava masiva, matriz soportada	Gradación pobre	Flujo de detritos (alta resistencia, viscoso)
g	Grava matriz soportada	Gradación inversa a normal	Flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia)
	Grava clasto soportada	Gradación inversa	Flujo de detritos rico en clastos (alta resistencia)
n	Grava masiva clasto soportada	Ninguna	Flujo de detritos pseudoplástico (carga crítica)
	Grava con estratificación gruesa	Estratificación horizontal	Estructuras sedimentarias longitudinales
	Grava estratificada	Estratificación en artesas	Colmatación de canales menores
	Grava estratificada	Estratificación cruzada planar	Estructuras sedimentarias transversales
	Arena, fina a muy gruesa, guijarrosa	Estratificación artesas solitarias	Dunas de crestas sinuosas
	Arena, fina a muy gruesa, guijarrosa	Estratificación cruzada planar	Estructuras sedimentarias transversales
	Arena, fina a muy gruesa	Estratificación, Ondulitas	Ondulitas (régimen de flujo bajo)
	Arena, fina a muy gruesa, guijarrosa	Laminación H, de corriente	Flujo de estratificación planar (flujo crítico)
	Arena, fina a muy gruesa, guijarrosa	Estratificación C, ángulo (15°)	Llenado de estructuras erosivas, humpl
	Arena, fina a muy gruesa, guijarrosa	Estructuras erosivas de fondo	Llenado de estructuras erosivas
	Arena, fina a muy gruesa	Laminación masiva a poco clara	Depósitos de flujo de sedimentos gravitacionales
	Arena, limo, fango	Laminación fina, ondulitas	Llanura de inundación, canales abandonados
	Limo, fango	Masiva	Pantano o canal abandonado
	Fango, limo	Masiva, grietas de secamiento	Llanura de inundación, canales abandonados



Fango, limo	Masiva, raíces, bioturbacion	Capas de raíces, suelo incipiente
Carbón, fango carbonaceo	Improntas de plantas en el fango	Depósitos de pantanos ricos en vegetac
Carbonato paleosol (calcita)	Características pedogenicas	Suelo con precipitación química

Fuente: Miall, 1996.

2.2.6.1. Facies de elemento arquitectural fluvial

Término empleado para agrupar la geometría y arreglo interno de los cursos fluviales y de las llanuras de inundación en una secuencia fluvial (Miall, 1996). Se entiende como un elemento arquitectural fluvial como el componente de un sistema deposicional equivalente en tamaño no mayor que un canal lleno, y no menor que una unidad de facies (Miall, 1996). Se caracteriza por poseer un distintivo conjunto de facies, geometría interna, forma externa y en algunas instancias un perfil vertical (Miall, 1996). Similar al caso de las litofacies, Miall (1996) propone un sistema de códigos para catalogar los distintos tipos de elementos arquitecturales.

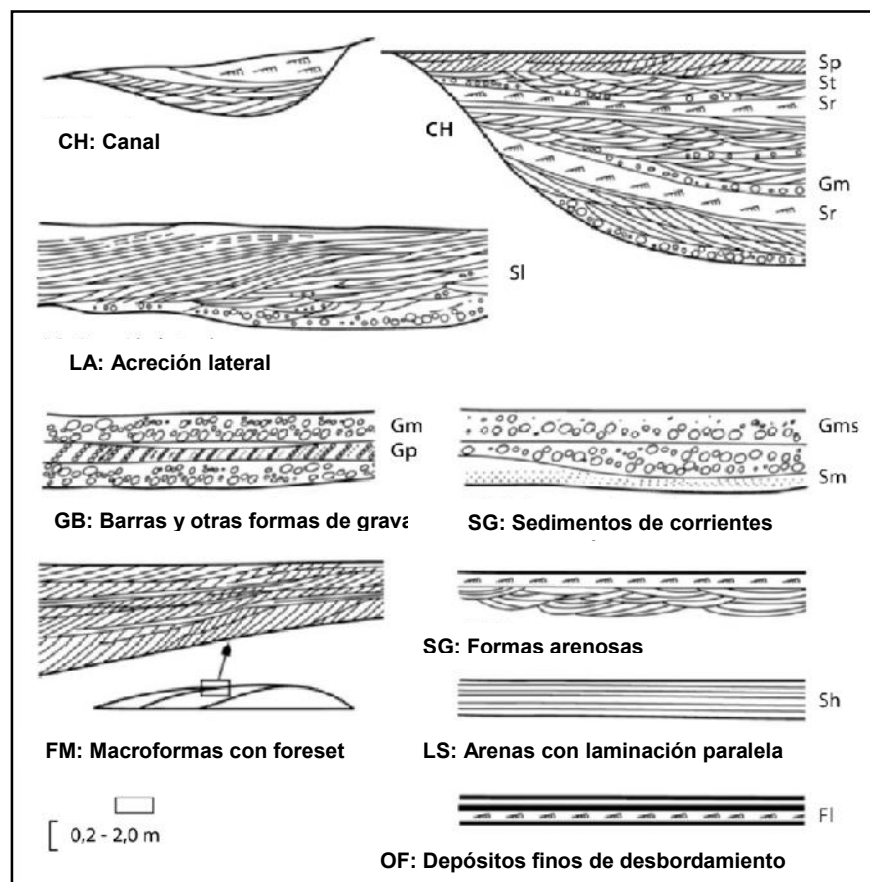


Figura N° 03: Los 8 elementos arquitecturales en depósitos fluviales.

2.2.7. Medios Sedimentarios

Un medio sedimentario puede definir como una parte concreta de la superficie terrestre donde se acumulan sedimentos y que se diferencia física, química y biológicamente de las zonas adyacentes (Selley,1970). Los sedimentos se acumulan de tamaño variable denominadas cuencas sedimentarias, cuyo relleno registra la evolución paleogeográfica de las mismas. Este relleno está formado no solo por los sedimentos, sino por las superficies de omisión de hiatos, reflejo de etapas de no deposición y por las discordancias, que registran etapas de erosión, acompañadas o no de actividad tectónica.

Tabla N° 04: Clasificación de los medios sedimentarios.

Continental:	Subaéreo:	Eólico Glacial
	Subacuático:	Fluvial Lacustre
De transición:		Deltaico Playero Estuario Isla barrera - lagoon
Marino:		Plataforma Talud Borde Precontinental Llanura Abisal

Fuente: Arche, 2010

2.2.7.1. Estrato

El estrato ha sido definido con una doble acepción: limitada por superficies horizontales con continuidad lateral y que equivale a una unidad de tiempo de depósito. geométrica y genética. Desde un punto de vista geométrico (Campbell, 1967) lo definió como "un nivel de roca o sedimento más o menos distinguible de forma visual o física, separado de los niveles superior e inferior por superficies denominadas superficies de estratificación".

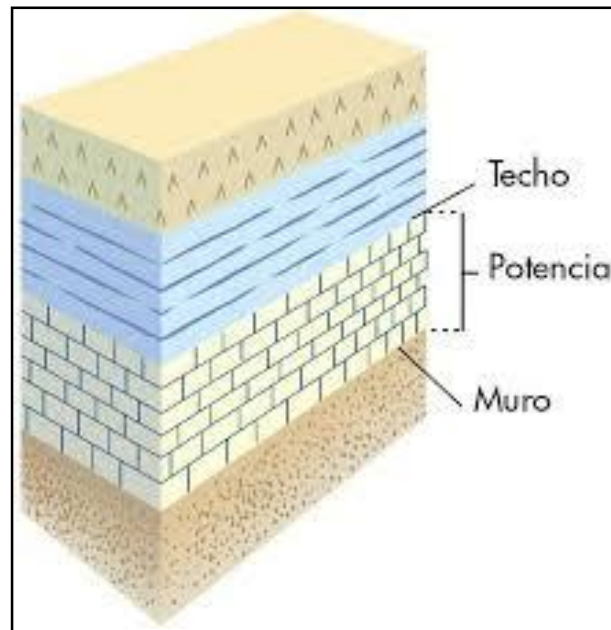


Figura N° 04: Estrato y sus características. Fuente: Vera, 1994.

2.2.7.2. Estructuras sedimentarias

Son la disposición geométrica de los elementos que constituyen un sedimento, con ellas se pueden deducir los procesos, las condiciones de depósito, la dirección del corriente y los estratos que les dieron origen. Son formadas a través de procesos físicos y/o químicos (inorgánicos) antes, durante y después del depósito. Las estructuras sedimentarias, a diferencia de los fósiles o la litología, siempre se forman in situ y no pueden ser transportadas ni reelaboradas: también son el elemento clave en la comparación de sedimentos antiguos con medios sedimentarios actuales debe destacarse que ningún tipo de estructura sedimentaria es exclusivo de un medio, por lo que deben de emplearse en conjunto con otros criterios en la interpretación sedimentológica. Las estructuras sedimentarias pueden dividirse en tres categorías: pre-, sin- y post sedimentarias.

Tabla N° 05: Clasificación de estructuras sedimentarias

Pre-deposicionales	Sin-deposicionales	Post-deposicionales
Grietas de desecacion	Estratificacion	Estructuras de carga (load structures)
Gotas de lluvia	Estratificacion cruzada	Almohadillas
Impresiones de cristales y moldes	Estratificacion cruzada lenticular	Estratificacion de deslizamiento
Alineacion primaria	Estratificacion cruzada lenticular	Slumping
Marcas de resaca	Estratificacion flaser y lenticular	Estratificacion convoluta
Marcas de corriente	Estratificacion gradada	Inyecciones e intrusiones
Marcas tipo flauta	Estratificacion intercalada	
Estructuras de corte y relleno	Rizaduras: -crestas rectas -crestas onduladas -crestas discontinuas	
Marcas de arroyo (rill marks)	Rizaduras de oleaje	
Marcas de objetos (tool marks) -estacionarias -movimiento	Rizaduras de corriente	
	Rizaduras de viento Rizaduras conbinadas Rizaduras aisladas	

Fuente: Cecilia L; Universidad Nacional Autónoma de México.

2.2.8. Asociación de geoforma – sedimento

La asociación geoforma – sedimento (Según Benn y Evans, 1996). Es equivalente al concepto de asociación de facies. Una asociación de facies es un conjunto de facies que fueron depositadas en continuidad espacial una al lado de la otra o en sucesión vertical (Walker, 1992). Los límites de las asociaciones de facies están marcados por la superficie de erosión o no depositacion, que representan quiebres en la depositacion. Discontinuidades similares, pero de mayor jerarquía son utilizadas para separar sistemas deposicionales. También

representa una asociación de facies que tienen una expresión morfológica en la cual la forma esta genéticamente relacionada con las facies que conforman su estructura interna. estas le dan un contexto particular a las facies, indicando la estratigrafía local y las relaciones genéticas y estructurales entre las facies cercanas. A partir de la correcta identificación y mapeo de las diferentes geoformas, debido a que son el resultado de procesos únicos generados en un rango de condiciones climáticas que los gobiernan.

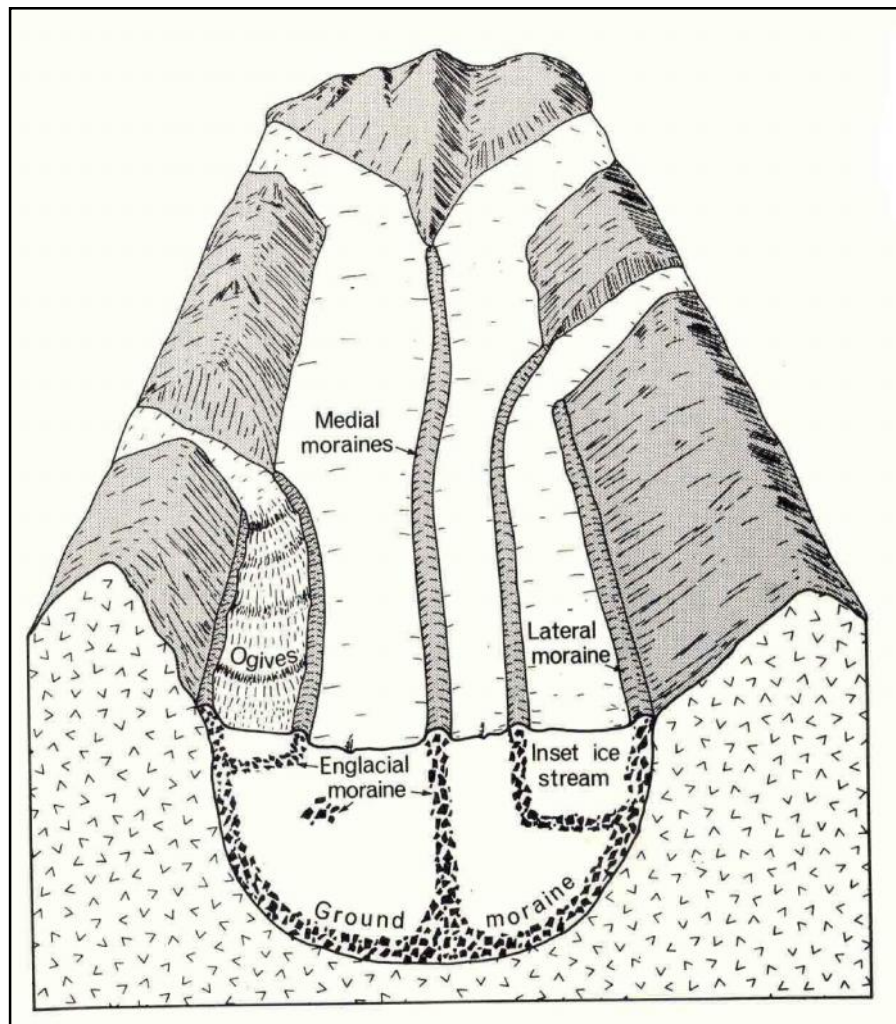


Figura N° 05: Disposición de las morrenas según la localización dentro del valle. Fuente: Paloma Fernández García.



2.2.9. Geología Regional

La zona presenta tres superposiciones de cadenas: cadena Eohercinica (Paleozoico inferior), cadena Tardihercinica (Paleozoico superior) y cadena Andina (Cretáceo), cada uno de los sistemas o dominios estructurales tienen diferente composición litológica y al ser afectadas por una o más fases tectónicas, presentan diferentes respuestas a la deformación.

- **Fase Tectónica Eohercinica:** Según (Newell, 1949 y Laubacher, 1978). Afecta al Paleozoico inferior conformado por la Fm. Sandia del Ordovícico superior (Caradociano) y la Fm. Ananea (Siluro-Devoniano). Esta fase produjo un plegamiento acompañado de un metamorfismo regional. La asociación mineralógica encontrada consiste en muscovita, clorita y sericita que sugieren un metamorfismo de tipo epizonal. Existen dos esquistosidades afectando estos terrenos: la primera (S1), es subparalela y está ligada a la asociación mineralógica arriba citada. La S2 no está muy desarrollada, generalmente está asociada a fallas. Se presenta como pliegues en chevron centrimétricos. En el Paleozoico superior existe la misma relación esquistosidad – falla; esto sugiere entonces que S2 podría haberse formado posteriormente a la fase Eohercinica.
- **Fase Tectónica Tardihercinica:** Según (Laubacher, 1978). Existe una discordancia entre el paleozoico inferior y superior. El contacto entre estas dos unidades litológicas es por falla. El dominio estructural en el Paleozoico superior se encuentra afectado por un plegamiento abierto,



fallas inversas y una esquistosidad asociada a zonas de falla. La discordancia está presente en el borde NE de Putina, al NE del nevado San Francisco de Quenamari, entre el río Carabaya y la frontera boliviana.

- **Paleozoico Inferior:** Representado por la Formación Sandia, son afectadas por un sistema de anticlinales y sinclinales de dirección NO-SE con su plano axial, ligeramente inclinado al NE, que coinciden con la dirección tectónica de la Cordillera Oriental. El sinclinal de Lusuni situado en la quebrada Izcaycruz, es asimétrico. Su plano axial tiene un azimut N 120°. Su eje está interrumpido por dos fallas que buzanan ligeramente al NE y SO. Su flanco Oeste está cortado por una falla. Están mejor desarrolladas en la unidad Sandia. En su mayoría, son fallamientos inversos de alto y bajo ángulo con una dirección preferencial NO y SE. Los buzamientos de los flancos de las fallas se inclinan al SE.

2.2.10. Cuaternario (Pleistoceno)

Fase Quechua 3: En el Plioceno, un tectonismo vinculado a la fase quechua afecta la secuencia del lado oriental, dando lugar a un buen desarrollo de la región subandina, desde los 12° Latitud Sur hacia el Norte. Durante el Pleistoceno, el levantamiento de la cordillera de los andes continuo activo. Se mencionan deformaciones locales como producto de estos movimientos. La glaciación afecta la mayor extensión de las regiones altas de la Cordillera Occidental y Oriental, imprimiendo una acción erosiva en las cabeceras de los valles que delimitan el paisaje actual. Las corrientes fluviales profundizaron los valles formando cañones, arrastrando y transportando al mismo tiempo

materiales de grandes volúmenes los que se han ido acumulando en las estribaciones bajas, formando los pies de monte, los abanicos aluviales, etc. El resultado final es la fisiografía abrupta que caracteriza el territorio peruano.

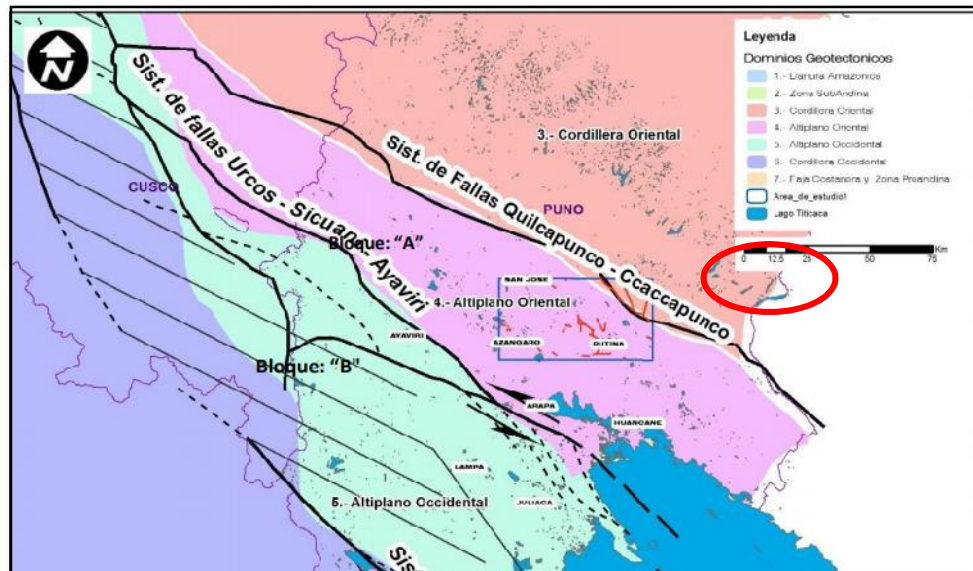


Figura N° 06: Mapa de dominios geotectónicos y sistemas de fallas regionales
Fuente: Carlier, 2005 & INGEMMET, 2007.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

Para realizar el proyecto de investigación, se necesito contar con imágenes satelitales procesadas e impresas, información catastral con planos catastrales de la zona, modelo de elevación digital de terreno (DEM), drone, puntos topográficos guías y mapas preliminares de geología, así mismo se usó:

Tabla N° 06: brigada de estudio.

Brigada de estudio		
Número	Equipo técnico y especialista	Labor
01	Ingeniero Geólogo	Mapeo geológico, y reconocimiento geológico de la cuenca Occoruruni.
03	Personal de apoyo	Ayuda a muestreos y transporte de muestras de suelo y roca en diferentes puntos de alto interés.
03	Personal de Guía	Indica lugares de fácil acceso al lugar.
01	Chofer	Para movilizar en la zona de estudio.

Tabla N° 07: Equipos y herramientas.

Equipos y herramientas a utilizar		
01	GPS marca GARMIN	Toma de coordenadas en puntos de muestreo.
01	Cámara fotográfica marca CANON.	Toma de fotografías de la cuenca, muestreo y realización de trabajo.
01	Martillo geológico	Para rasgar el suelo o golpear una roca estimando su grado de dureza.
01	Brújula	Toma de dirección de buzamiento y rumbo de los estratos encontrados.
01	GPS Diferencial (216 canales universales, modelo GR5, marca top con)	Proporciona correcciones de datos recibidos de los satélites GPS, para una mayor precisión.



01	Vehículo Aéreo no tripulado (Dron).	Para observar zonas de difícil acceso, y comprender más la morfología de la zona.
03	Radio Comunicadores	Para que el otro equipo este pendiente y la comunicación constante ya que la zona es agreste y peligroso.
20	Bolsa de muestreo	Un recipiente donde se llevara las muestras de suelo y su conservación llegue casi idéntica a laboratorio.
01	Lupa	Para la observación de rocas que se encuentren en la cuenca.
03	Escalímetros	Para un fácil mapeo geológico en campo.

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación corresponde al método no experimental transversal exploratorio. Es un diseño que consiste en analizar una situación en una fase indagatoria, la investigación que se realiza sin manipular variables y que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural, para después analizarlo. Su propósito es describir variables y su incidencia de interrelación en un momento dado y se recolectan datos de un tiempo determinado sin intervenir en el ambiente en que se desarrolla por lo que no habrá manipulación de variables (el número de variables lo decide el investigador).

3.2.1. Recopilación Bibliográfica

La recopilación bibliográfica, se hizo una revisión y análisis de información, (artículos, revistas publicaciones del INRENA u otras instituciones afines, páginas sobre cuencas glaciares en el ande peruano y cuencas glaciares en el mundo y tesis publicadas) así también, todo aquello que se pudiera relacionar, ya sea directa o indirectamente, con la Cordillera Apolobamba. De esta manera,



se recopiló información que involucra la dinámica de las cuencas en ambientes glaciares.

- ✓ A partir de las cartas topográficas se hizo un análisis para facilitar la identificación de los puntos clave a observar. Esto se basó en localizar los puntos de mayor aporte morrenico de la cuenca, alimentación constante del glaciar con nuevo material y otros sitios en los cuales se pudieron realizar las características litológicas posibles.
- ✓ Se realizó la descarga de modelos de elevación digital (DEM) de libre acceso como son los (Alos Palsar) que ofrecen una aproximación aceptable de las altitudes.
- ✓ También se preparó imágenes satelitales del lugar plano topográfico y planos de pendientes con la ayuda de software Google earth y Arc gis 10.3.

3.2.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo se dividió en 4 campañas de 12 días, las salidas al campo se realizaron en los meses de abril y setiembre del 2019. En esta etapa se realizó un análisis previo del ámbito a partir de información cartográfica oficial del instituto Geográfico Nacional (IGN), se establecieron puntos de control Horizontal y Vertical en el área de la cuenca, de tal manera que estos puntos sean visibles entre sí y que a partir de estos puntos se pueda calcular el azimut



de partida para realizar los levantamientos topográficos respectivos, los puntos de control se establecieron por el método post proceso estático fijo con apoyo del GPS Diferencial de doble frecuencia, el mismo que consiste en colocar un receptor GPS (BASE), en un punto geodésico de coordenadas conocidas, para el estudio se utilizó el punto denominado KWRA-1, el mismo que se encuentra ubicado en la comunidad campesina de Koriwara.

- ✓ A partir de los puntos de control geodésicos establecidos en el ámbito de la cuenca Occoruruni, se procedió a densificar otros puntos auxiliares de tal manera que sea visible entre sí, una vez establecidos los puntos auxiliares se procedió a realizar el levantamiento topográfico con apoyo del Escáner Laser GLS 2000, por el método directo, este método nos facilitó una nube puntos a partir del escaneo y a partir de estos puntos se obtuvo las superficies topográficas y se identificó diferentes zonas de interés para el estudio geológico, de este modo se ha obtenido resultados preliminares que ayudaron en la identificación de geoformas y para el muestreo y el análisis respectivo en laboratorio.

- ✓ Se realizó el cartografiado geológico mediante la localización de puntos de control con GPS, identificando las principales características litológicas y sedimentológicas, usando el método de travers así controlando el progreso del cartografiado de modo que no es necesario trasladarse hacia el inicio por cada vez que se hace una observación del área ya sea para un basamento rocoso o depósitos cuaternarios. Para la obtención de los planos, se basó en la observación directa e indirecta con el uso de brújula,



GPS, el método *travers* consistió en caminar en línea recta (dibujado la línea en el plano) y trazar observaciones geológicas y geomorfológicas a lo largo del tramo. Se hizo la caracterización de las unidades geomorfológicas de la cuenca Occoruruni, e interpretación del mapa geomorfológico que permite definir el contenido litológico y los eventos que ocurrieron en la cuenca. Preliminarmente se observó el substrato rocoso en el ámbito de la cuenca Occoruruni que está comprendido principalmente de rocas metamórficas de la Formación Sandia, en menor grado por rocas sedimentarias aflorantes y depósitos cuaternarios.

- ✓ Para la geomorfología se utilizaron ciertos criterios para identificar a las diferentes geoformas o elementos del paisaje. Basadas en la interpretación de observación de campo y criterios del DEM y fotografías aéreas. Los criterios de identificación están agrupados en 3 categorías principales, dependiendo de la fuente de información que se utilizó; (1) morfología general (fotografías aéreas); (2) estructura textura y color; (3) características internas y superficiales (datos de campo). Se indican posibles errores de interpretación o conflicto con otras geoformas, la forma en que se representa dicho elemento en el plano se diferencia de acuerdo a un color dado para cada tipo de geoforma. En el mapa geomorfológico también se presenta, junto con los elementos del paisaje identificados, la red drenaje actual y los lagos y lagunas presentes en la zona. Para identificar y mapear los ríos usamos parámetros de entrada utilizados para dibujar la red hidrográfica de canales en el mapa fueron, canales más largos de 1 Km; y con un orden mayor a 3, con este umbral



alto de orden se obtiene una red de drenaje, pero que incluye los ríos principales. Las mismas permite ver el resto de los elementos del paisaje, sin embargo, muchos de los arroyos que nacen de los glaciares no son representados por esta red (son de orden 1 o 2).

- ✓ Para caracterización sedimentaria se identificó zonas donde se podía apreciar el cambio granulométrico y así interpretar una asociación de facies según sus elementos arquitecturales que tienen una expresión morfológica en la cual la forma esta genéticamente relacionada con las facies que conforman su estructura interna. estas le dan un contexto particular a las facies, indicando la estratigrafía local y las relaciones genéticas y estructurales entre las facies cercanas. para la denominación exacta del material litológico se hizo un estudio de granulometría que se llegó a tomar nueve muestras de suelo en distintos puntos de la cuenca Occoruruni, los cuales fueron ubicados convenientemente y con profundidades suficientes de acuerdo a la intensidad y resistencia del terreno. La Primera muestra se llegó a obtener a escasos metros de la laguna Vizcachani, la segunda muestra se obtuvo en una pequeña quebrada donde la laguna Vizcachani desembocaba, la tercera muestra lo obtuvimos a escasos metros de la laguna Sorapata, la cuarta muestra, se obtuvo en el inicio de valle arriba de la catarata, la quinta muestra extrajo debajo de la catarata a unos 100 m aproximadamente, la sexta muestra se obtuvo en un deslizamiento cercana al rio Occoruruni, la séptima muestra se extrajo en una falla inversa a unos 200 m de la comunidad de Koriwara, la octava muestra se obtuvo en la comunidad de



Koriwara y la novena muestra se obtuvo cercana a la comunidad de Lusuni.

3.2.3. Trabajos de gabinete

- **Mapa de pendiente, análisis SIG (sistema de información geográfica):** El análisis de pendiente consiste en la clasificación del relieve del área de estudio por ángulos y porcentajes de inclinación de la topografía del terreno, el resultado vectorial nos muestra polígonos dispersos y desordenados en los cuales no se visualiza la unidad de relieve para esto se realiza ciertos filtros que permiten afinar estas unidades para así puedan ser interpretables según el cuadro de sistemas de unidades geomorfológicas. Utilizamos curvas de nivel en formato shapefile, para poder generar un TIN de la zona de estudio, utilizamos las herramientas de arc gis (créate TIN), y obtenemos el resultado en formato raster, así mismo se obtiene la información de altitudes, luego generamos un DEM, con la herramienta (raster to DEM), el cual lo usamos para la clasificación de pendientes de inclinación del relieve topográfico de la zona de estudio. Realizamos el filtro de pendientes con la herramienta slope, luego con la herramienta de reclasificación obtenemos la información de pendiente en formato shapefile.
- **Clasificación de unidades geomorfológicas:** Para la clasificación de unidades geomorfológicas se establece de una manera jerárquica una leyenda temática, a partir de sistemas y unidades geomorfológicas de



acuerdo al análisis de pendientes, donde localmente se identificaron sistemas y unidades geomorfológicas.

- **Información recopilada en campo:** Luego de reconocer y caracterizar y plasmarlo en un mapa base, observamos características homogéneas que nos servirán para la fácil elaboración del mapa geológico, geomorfológico y de facies sedimentarias en ARCGIS (pueden ser separadas bajo criterios geomorfológicos, de drenaje, tipo de suelo).
- **Elaboración de planos geológico y geomorfológico:** Con todo lo realizado anteriormente se empezó a realizar la digitalización, y generamos shapefile de polígonos de unidades geomorfológicas y geológicas, de acuerdo a la clasificación de sistemas y unidades geomorfológicas. Acompañadas de imágenes satelitales y fotografías en dron, se le asignó e interpretó las unidades apoyadas con los ángulos de pendientes según como lo analizamos. El cartografiado geomorfológico sirvió para corroborar, las unidades geomorfológicas y que son categorizadas de manera jerárquica y establece una leyenda, mediante Arc Gis en formato vectorial esta estructura de datos da mayor entendimiento al momento de la edición nos servirá como guía para elaborar nuestro mapa geomorfológico y geológico con software arc gis 10.3.
- **Información recopilada de columnas estratigráficas:** Para la obtención de las columnas se pasó por un proceso de registro geológico en un afloramiento sedimentario visible lecho de ríos o corte de carreteras y su identificación, asociada a la litología permite entender la serie de cambios



sedimentológicos no solo en un nivel aislado. Se pasó a medir de un punto a –a´ donde se observó la granulometría, el espesor y litología.

- **Elaboración de columnas estratigráficas:** Para el levantamiento de una columna se pasó la información obtenida a el programa SEDLOG donde unificamos de acuerdo al tamaño granulométrico obtenido en la zona.
- **Información obtenida de laboratorio para muestras de suelo:** Los ensayos de laboratorio se realizó en la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, en el laboratorio de geotecnia & mecánica de rocas. El primer ensayo de laboratorio a realizarse fue para la clasificación de suelos, también se realizó el ensayo de corte directo en suelo donde La resistencia al corte de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo y por ultimo realizó ensayos de las propiedades físicas de muestras de suelo. el cuadro de resultados se muestra en la tabla N° 13.
- **Redacción de la tesis:** Realización del trabajo de investigación



CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

4.1. UBICACIÓN Y ACCESO

El ámbito de estudio se ubica en la Cordillera de Apolobamba al sur del país y tiene una extensión aproximada de 40 km² en dirección NO desde la frontera con la República de Bolivia.

La cuenca Occoruruni forma parte de la cabecera de la cuenca Huari Huari, perteneciente a la cuenca de Inambari, ubicada entre los nevados Salluyo, Vizcachani y Sorapata, según el Instituto Geográfico Nacional (IGN) la zona se encuentra en la hoja Rinconada (30y) de la zona 19 sur UTM del sistema de posicionamiento WGS84.

Políticamente se ubica en el distrito de Sina, Provincia de San Antonio de Putina del Departamento de Puno. Hidrográficamente abarca parte de las cuencas Azángaro y Suches las drenan hacia la vertiente endorreica del Titicaca.

La Cordillera de Apolobamba se ubica en el ramal oriental de la cordillera de los Andes, al SE del país, esta divide la región del altiplano con la selva Amazónica. Se extiende a lo largo de 85 Km² emplazada en dirección SE desde el departamento de Puno en Perú hasta la República de Bolivia, geográficamente se encuentra entre los paralelos 14° 13' 42" y 14° 52' 35" de latitud sur y entre los meridianos 69° 40' 10" y 69° 4' 33" de longitud oeste.

4.1.2. Acceso

El acceso se realiza desde la ciudad de Puno, con dirección N hacia el distrito de Sina por la carretera que une Juliaca, Huancané, Vilquechico, Cojata, desde allí se toma el desvío hacia Sina hasta llegar al centro poblado Koriwara, esto tiene un recorrido total de 551 Km.

Tabla N° 08: Vías de acceso y tramos a la Cordillera Apolobamba.

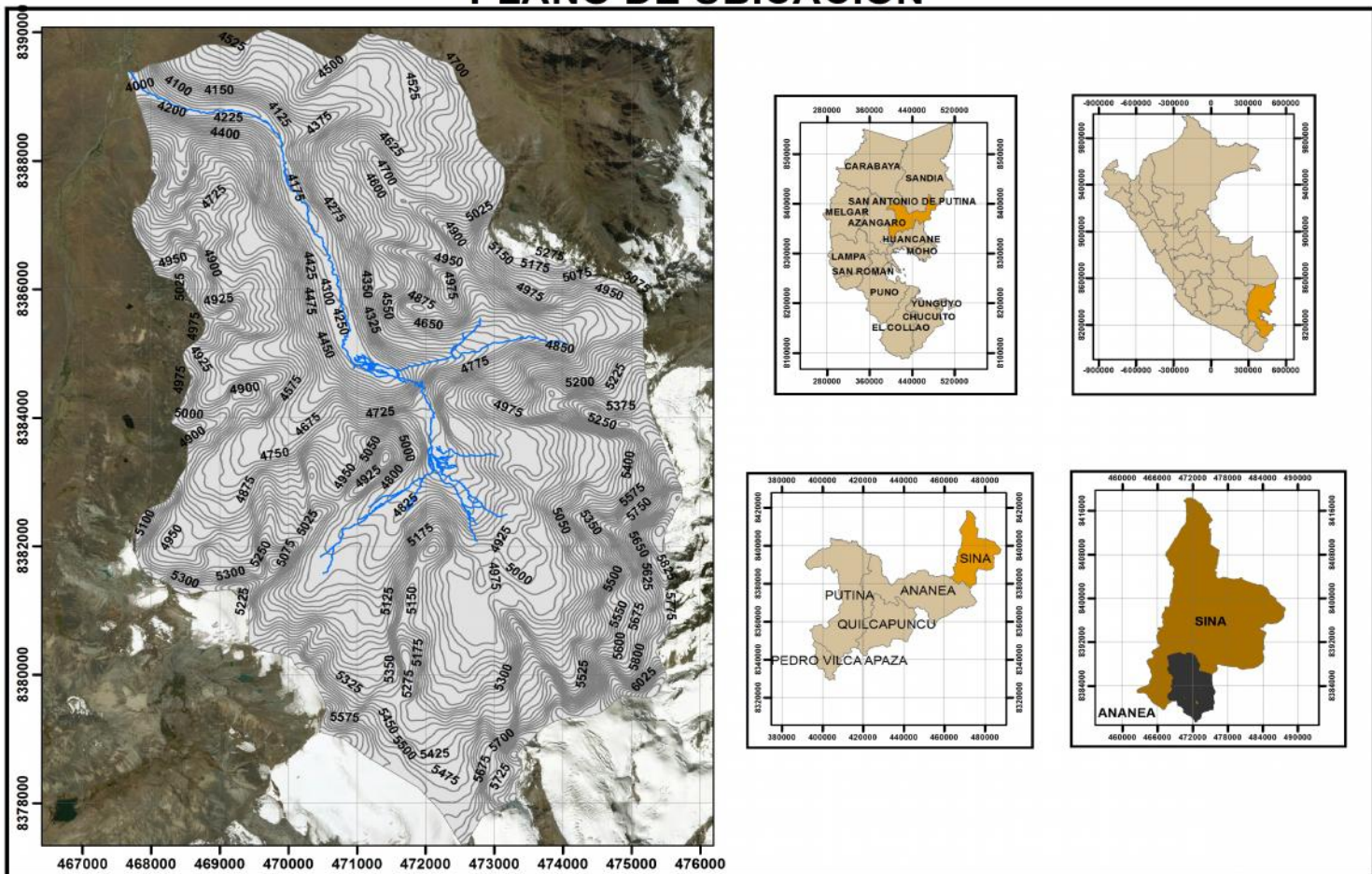
Carretera	Tiempo	Km
Carretera Puno – Juliaca	50 min.	43
Carretera Juliaca – Huancané	1 h. 15 min.	59
Carretera Huancané – Koriwara	2 h. 15min	137

Los pueblos mas cercanos a la zona de estudio se encuentran en un radio de 20Km cerca a la Cordillera Apolobamba, como muestra la tabla N° 09:

Tabla N° 09: Distancia entre la Cordillera y los Centros Poblados.

Centros ´ poblados	Distancia entre la cordillera y centros poblados
Sina	20 - 25km
Koriwara	10 - 12km
Potoni	14- 16 km
Lusuni	13 - 15 km

PLANO DE UBICACION



ra N° 07: Mapa de ubicación de la cuenca Occoruruni.



4.2. CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

La secuencia estratigráfica de la zona de estudio muestra variedades litológicas entre unidades metamórficas y sedimentarias, las mismas que tienen edades diferentes, así el proyecto se ubica dentro de una pequeña parte del flanco este de la Cordillera Oriental en el cual la predominancia litológica es metamórfica.

4.2.1. Paleozoico inferior

Formación Sandia (Os-s): Fue definida por Laubacher (1978) con edades del Ordoviciano medio. Esta formación ocupa una gran extensión en el área de trabajo, la litología en general consta de una alternancia monótona de pizarras de diferentes espesores finamente laminadas con foliación penetrativa.

En la cuenca de Occoruruni afloran en su mayor parte rocas metamórficas, tanto en la parte media y en el entorno de los nevados, el cual representa una ancha faja de pizarras gris oscuras a negras, con foliación paralela y entrelazada; también se presentan areniscas cuarzosas de grano fino, con una tonalidad clara, esto se repite en la microcuenca Sina, laguna Vizcachani y Sorapata, que están dentro de la cuenca Occoruruni. La secuencia de pizarras y areniscas son cubiertas por depósitos cuaternarios de origen glaciar. En inmediaciones del centro poblado de Koriwara parte baja de la cuenca sobresalen lutitas grises intercaladas con areniscas y rocas metasedimentarias, todas estas cubiertas por sedimentos cuaternarios de origen aluvial, fluvio-glaciar y glaciar.

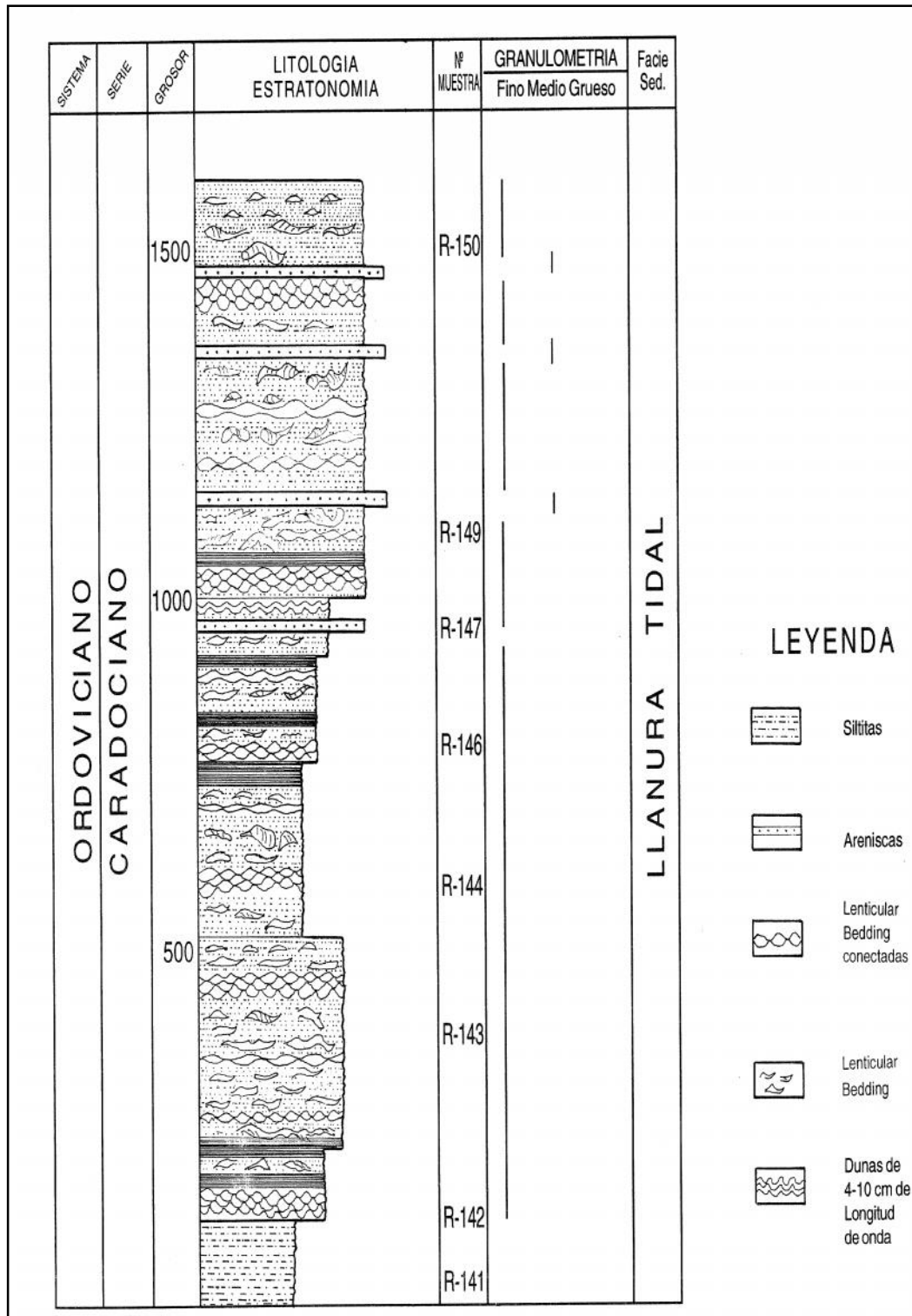


Figura N° 08: Columna Litoestratigráfica de la formación Sandía. Fuente: INGEMMET boletín Putina 30x - la Rinconada 30y.



Figura N° 09: Formación Sandia en la cabecera de la Cuenca Occoruruni.

Formación Ananea (SD-an):

Fue denominada así por Laubacher (1978) con edad de Silúrico – Devoniano, esto en la Cordillera Oriental. Consiste en una gruesa serie de esquistos epimetamórficos y esta litología corresponde a una sucesión de pizarras negras. Sus afloramientos están en los cerros Ccalaccumu, Condorquiña, la quebrada de Izcaycruz, los nevados Riti Urmasca y Caballune.

En el sector SO de la cuenca en inmediaciones del nevado Riti Urmasca y en los cerros Gunacunca, Huecco, Yanalaom y el Qananane afloran rocas metamórficas con tonalidades grises pertenecientes a la Formación Sandia, esta presenta pizarras muy fracturas y en el cual sobresalen bloques angulosos de 0.5 a 1 m de diámetro. Además, estos afloramientos rocosos se intercalan con areniscas cuarzosas, filitas con pequeños niveles de cuarcitas y conglomerados con clastos de cuarcitas.

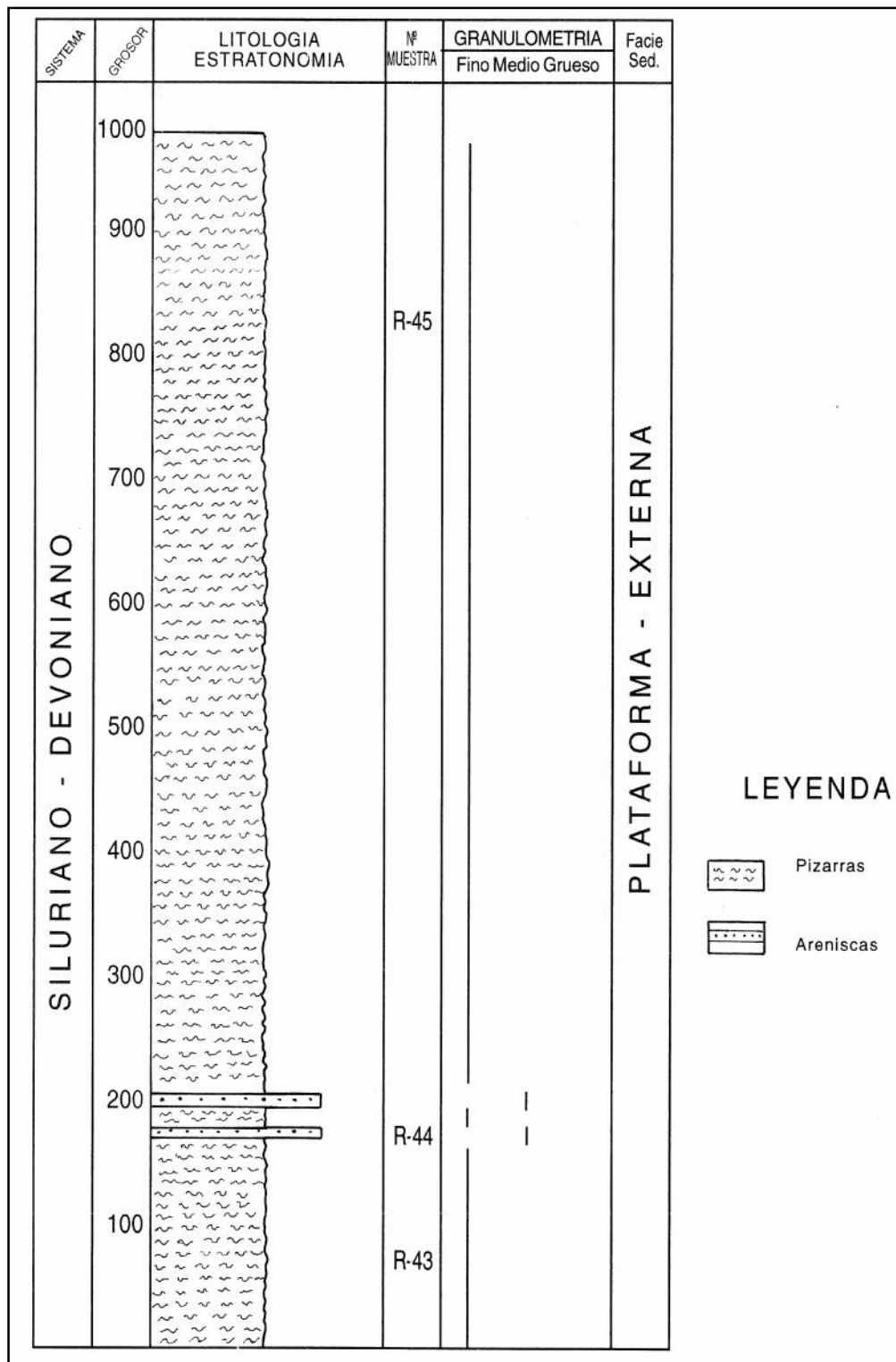


Figura N° 10: Columna Litoestratigráfica de la formación Ananea. Fuente: INGEMMET, boletín Putina 30x - la Rinconada 30y.



Figura N° 11: Formación Ananea en el Cerro Gunacunca

4.2.2. Tectónica local

La zona de estudio se encuentra enmarcada en la Cordillera Oriental en el cual afloran rocas metasedimentarias del Paleozoico inferior que corresponde a una cuenca distensiva en un contexto de trasarco, que evoluciona a un régimen compresivo.

Según Carlotto (2006), estos sistemas controlan la evolución de las cuencas y el emplazamiento de cuerpos intrusivos durante todo el Paleozoico. En el Permo-Triásico actuaron como fallas normales asociados al rift Permo-Triásico, y durante la evolución andina sufren la inversión tectónica y actúan como fallas inversas, lo que ha producido el fuerte levantamiento y erosión de la actual Cordillera Oriental. Estas fallas son interpretadas de transformación desarrolladas durante el proceso de rifting Permo-Triásico.



En la cuenca de Occoruruni las unidades más antiguas corresponden a la Formación Sandía, toda esta secuencia de rocas metamórficas fue afectada por intrusiones y pulsaciones de la Orogenia Andina (Tectónica Quechua probablemente), la naturaleza de los componentes litológicos corresponden leuco granitos que se emplazan en el basamento meta-sedimentario, generando zonas de metamorfismo de contacto y su consecuente mineralización en las rocas metamórficas con minerales de pirita, calcopirita y presencia de patinas con óxidos de hierro. La cuenca de Occoruruni muestra sectores con plegamientos fuertes en afloramientos de la Formación Sandía en la quebrada Azulcocha, sus contactos estratigráficos con la Formación Ananea están relacionados a un fallamiento inverso. Por la litología rígida que presentan los afloramientos de la Formación Sandía produce bloques estructurales que repercuten en las geformas reconocidas en el área de estudio, estos desplazamientos de tipo vertical no son fácilmente estimables debido a escasos niveles estructurales guías. Los sistemas de fallamiento que ocurren en la cuenca de Occoruruni tiene orientación de NE-SO, a estos le acompañan grandes fallas y micropliegues de arrastre con una dirección de sus ejes NE. En la Formación Ananea ocurre lo mismo, pero varía la magnitud de la deformación por el tipo de litología. La deformación de las dos unidades litoestratigráficas se muestran en la figura N° 12.



Figura N° 12: Afloramiento rocoso fuertemente plegado margen derecho de la Quebrada Azulcocha.



Figura N° 13: Falla inversa Formación Sandia.

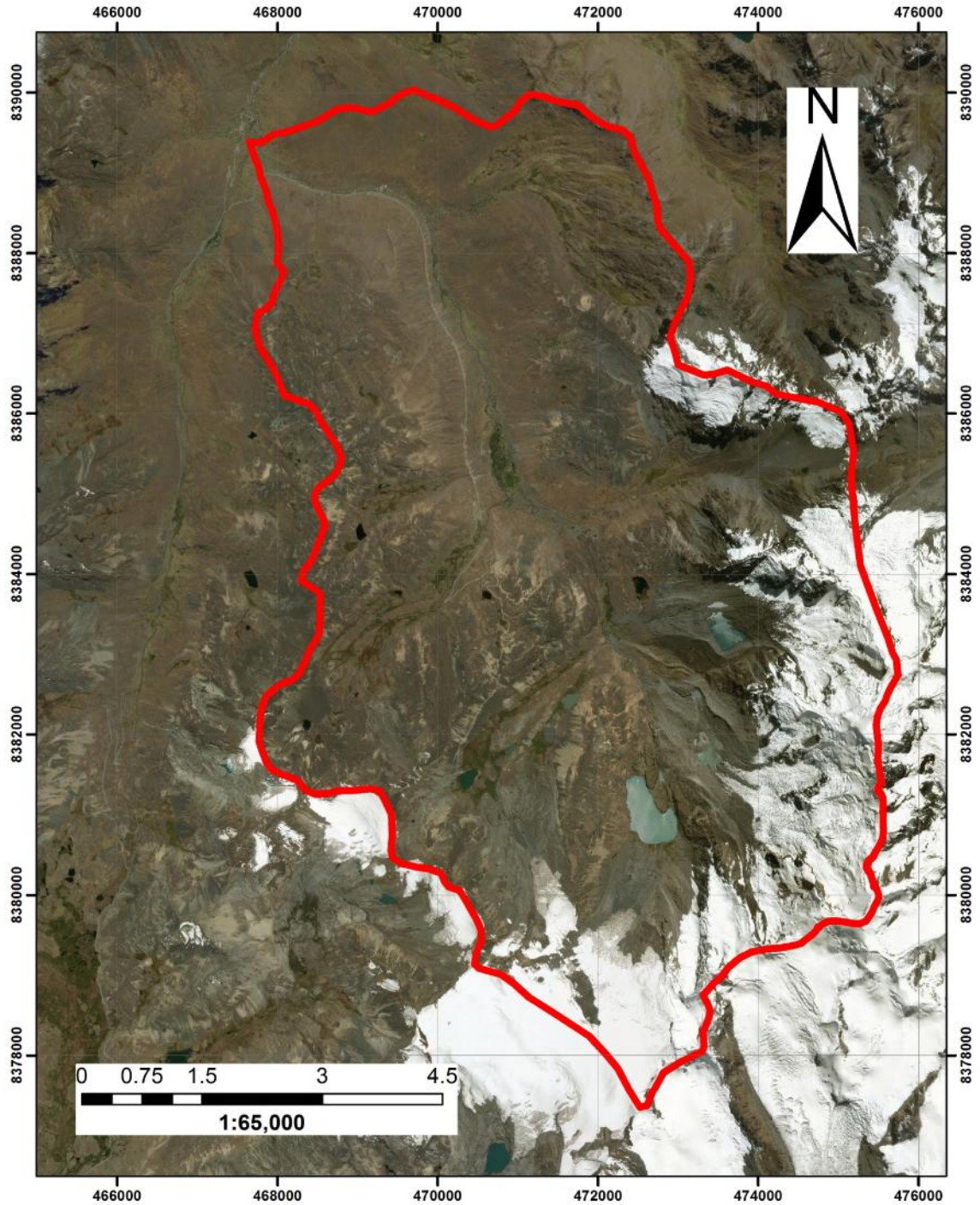


Figura N° 14: Imagen satelital de la Cuenca Occoruruni.

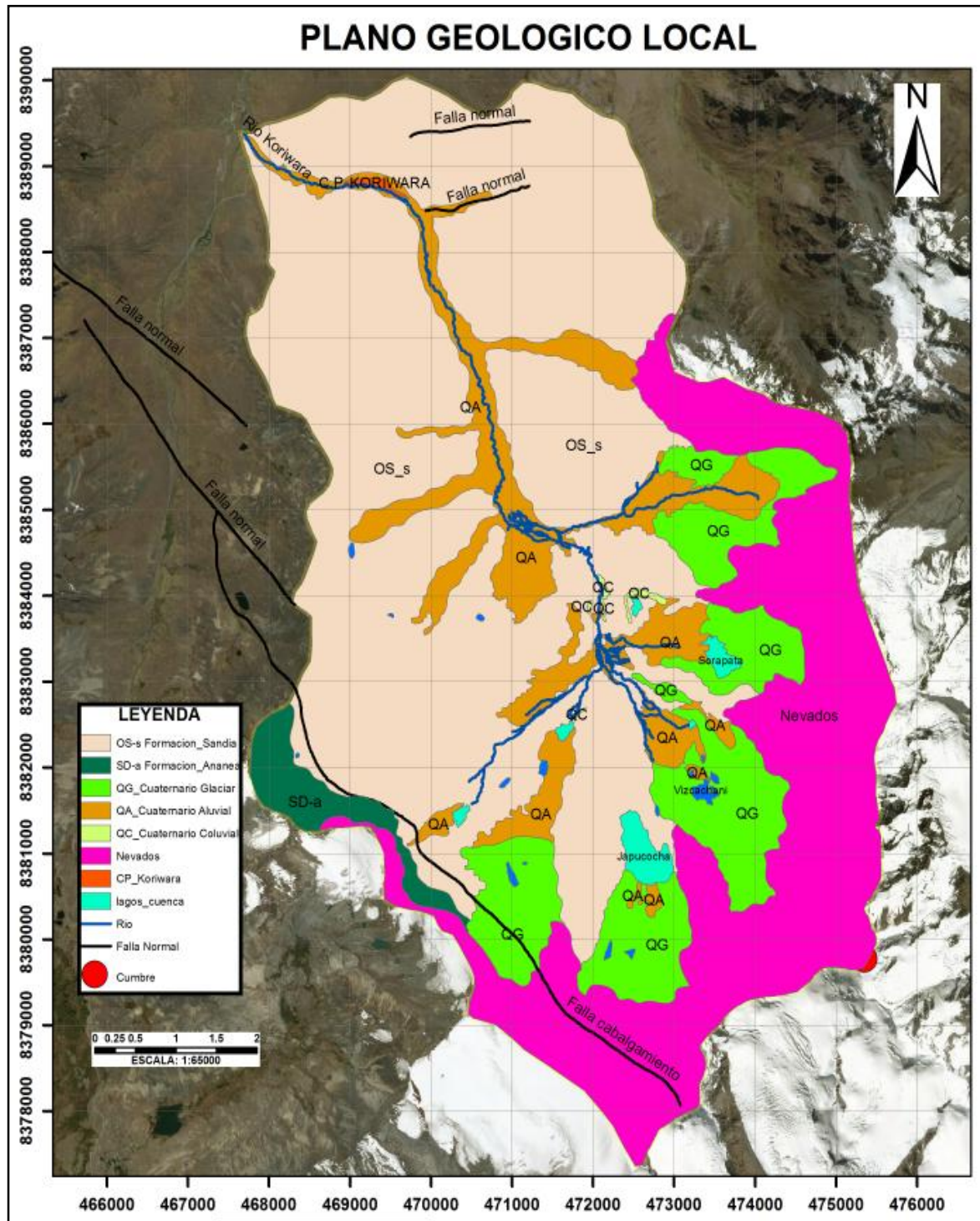


Figura N° 15: Plano geológico local de la cuenca Occoruruni



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ESTUDIO GEOMORFOLÓGICO

El resultado del estudio geomorfológico de la zona mostrara primero las geoformas reconocidas en la etapa de campo esto siguiendo los criterios establecidos por el MINAM e INGEMMET. A su vez se mostrará otro insumo importante en este tipo de estudios que es el mapa de pendientes.

5.1.1. Geoformas

Los rasgos geomorfológicos en la Cuenca Occoruruni, fueron analizamos desde la cabecera de las Quebradas Azulcocha, Vizcachani y la Quebrada Izcaycruz hasta el centro poblado de Koriwara. Se encontró que los rasgos morfológicos de esta cuenca, fueron el resultado de procesos erosivos de origen glaciar, que han disectado afloramientos compactos de la Formación Sandia y parte la Formación Ananea, dando lugar a formas topográficas muy accidentadas con diferentes pendientes.

El mapa de geomorfológico elaborado, se representa la distribución de las geoformas separadas según los sistemas de paisaje el cual tomo como base la geología que fue interpretada sobre una imagen satelital mediante polígonos y líneas.



Las geoformas y su significado indican un sistema de paisaje reconocidos y los elementos que componen a cada sistema, los subtipos representan variaciones menores de cada sistema de paisaje. Estas se deben principalmente, a características únicas asociadas con el lugar o región donde se desarrolla cada geoforma.

En esta parte se describe cada uno de los sistemas geomorfológicos identificados, mediante su relación espacial y temporal y sus elementos morfológicos más resaltantes.

La codificación para las geoformas reconocidas proceden con un código alfabético combinado. Esta codificación se realiza con el objetivo de que se haga más fácil la lectura del texto. el código alfabético esta de la siguiente manera, las dos primeras letras corresponden al tipo de sistema y subsistema, la siguiente letra corresponde al tipo de unidad geomorfológica.

5.1.2. Mapa de pendientes

En la cuenca de Occoruruni se llegó a obtener 9 categorías de pendiente de las cuales se describirán a continuación:

En la categoría 0%-8% y 8%-14% están ubicados las unidades geomorfológicas como valles glaciares, planicies sandur, llanuras de inundación, abanicos aluviales, terrazas kame, terrazas aluviales, bofedales y parte de los conos coluviales; cuya área superficial dentro de la cuenca es de 728.61 Ha.

La categoría 14%-20% y 20%-25% están ubicados las unidades geomorfológicas como colinas altas y colinas medias; cuya área superficial dentro de la cuenca es de 778.08 Ha.

La categoría 25%-30% y 30%-36%, están ubicados las unidades geomorfológicas, laderas altas y laderas medias y cárcavas, que a su vez por ser una zona montañosa se extiende en toda la cuenca de Occoruruni, cuya área superficial dentro de la cuenca es de 2,739.66 Ha.

Las categorías 36%-41%, 41%-47% y 47%->61% predominan medianamente ya que los circos glaciares, escarpas y cornisas se observan en la cabecera de la cuenca de Occoruruni en el flanco de la cordillera Apolobamba, cuya área superficial dentro de la cuenca es de 2,311.31 Ha.

Tabla N° 10: Categorías de pendiente para la geomorfología

Rango	Nombre	Características generales	Geoformas comunes
0-8	Muy baja	Terrenos asociados con encharcamiento y pantanos	Llanuras de inundación, pie de monte y conos aluviales
8-14	Levemente moderada	terrenos con sedimentos variables incluyendo material arcillo-limoso (till)	Conos Coluviales,
14-20	Moderadamente fuerte	Terrenos con depósitos pedregosos	Colinas medias
20-25	Moderadamente fuerte	Terrenos con depósitos pedregosos	Colinas altas
25-30	Moderadamente fuerte	Terrenos con depósitos pedregosos	Laderas medias, Laderas altas
30-36	fuerte	Terreno son substrato rocoso superficial	cárcavas
36-41	fuerte	Terreno son substrato rocoso superficial	escarpas
41-47	fuerte	Terreno son substrato rocoso superficial	Circos glaciares
47- >61	Muy fuerte	Terrenos con afloramiento rocosos superficiales	Cornisas

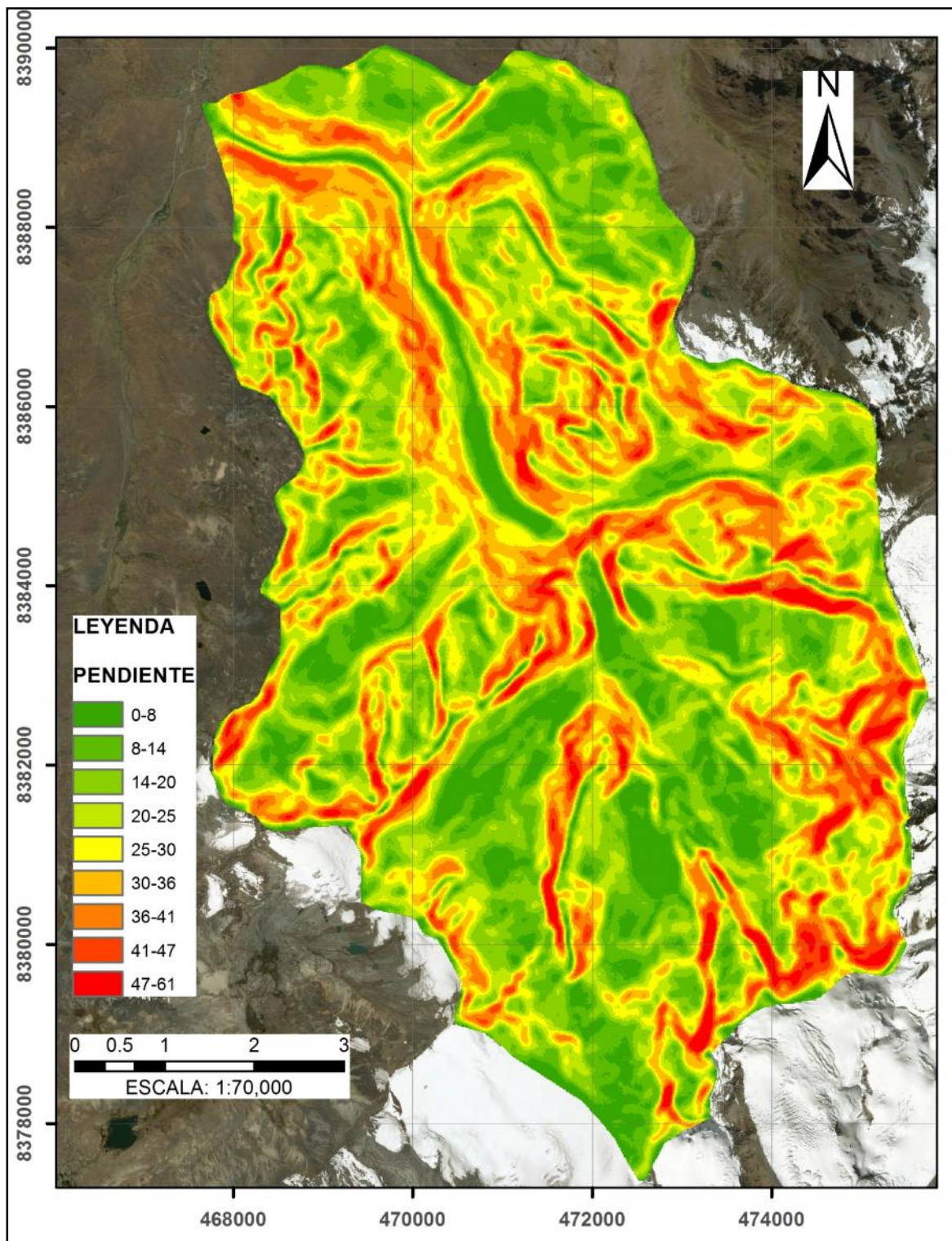


Figura N° 16: Mapa de pendientes. Fuente: Propia.



5.1.3. Geomorfología local

La geomorfología local del área de estudio, es el resultado de la acción de los glaciares de montaña producto de la geodinámica externa, que ha determinado los rasgos morfológicos actuales, parte de la morfología también se debe a la actividad fluvial. las altitudes en la zona de estudio varían desde los 4200 a 5400 m.s.n.m. en el cual las geoformas presentes dentro de la cuenca está conformada por paredes de manera circular, valles fluvio glaciares y laderas altas, todos estos aparentemente producidas por la última glaciación pleistocena. Los modelados finales de las geoformas son causados por los procesos exógenos de geodinámica externa, la cual deja un relieve final a partir de la última glaciación del Pleistoceno.

Los procesos de meteorización, erosión, transporte y sedimentación son diferenciados de acuerdo a las características que presentan los sedimentos durante su transporte en dirección perpendicular al eje del río, formando terrazas fluviales los cuales posteriormente son transportados por el Río Koriwara, el proceso de transporte de los materiales morrenicos también desarrolla un proceso erosivo en las laderas formando finalmente valles tipo U.

La forma de la cuenca su parte superior o inicio está limitada por los nevados y escarpas abruptas empinadas con grandes abanicos morrenicos, remarcados por cornisas escalonadas que muestran los resaltos de sus pendientes irregulares.



5.1.4. Sistemas Geomorfológicos

La cuenca Occoruruni tiene 2 sistemas geomorfológicos:

- ✓ Denudacional
- ✓ Agradacional

Para la identificación de estos sistemas geomorfológicos o geoforma se pasó a la observación de una forma con un tamaño, volumen y topografía en el terreno, estos son los elementos que generan un relieve y está compuesta por materiales que son característicos como arenas gravas arcillas o cuerpos masivos que tiene una génesis y por lo tanto una dinámica que lo explica los materiales que la forman. Como geoforma las rocas son lechos rocosos; abanicos terrazas y llanuras de inundación, son materiales transportados.

Para la identificación de unidades geomorfológicas difíciles de ser observadas se utilizó fotografías aéreas se puede inferir que el tono y la textura depende de la vegetación y que el uso del suelo permite hacer asociaciones con aptitudes, que las formas de erosión anuncian si el material es arenoso o rocoso. La topografía a su vez, está relacionada con la pendiente, y puede ser plana, ondulada quebrada o escarpada.

El drenaje por su parte es un patrón modelo, donde el índice de erosión o remoción es muy importante y la textura es el grado de espaciamiento entre los canales de drenaje y la vegetación.

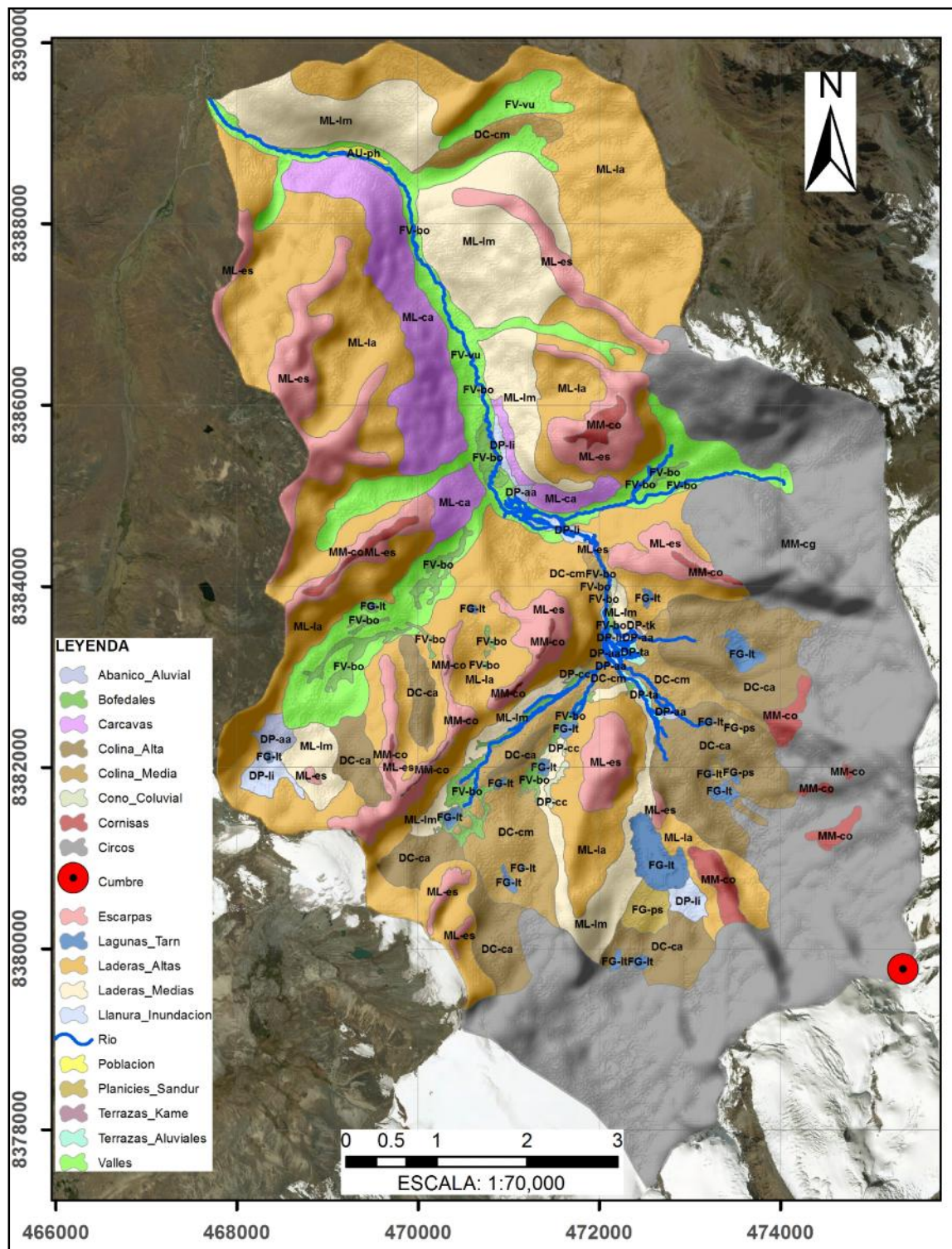


Figura N° 17: Mapa Geomorfológico. Fuente: Propia.



a N° 11: Unidades geomorfológicas

SISTEMAS	SUBSISTEMAS	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	DESCRIPCION	LITOLOGIA DOMINANTE
RADACIONAL	Valle	Valles en "u"	Forma típica en "u" que ha circulado un glaciar de dimensiones importantes de acciones erosivas y retroceso.	Crestas morrenicas, rocas metamórficas, sedimentarias, tills, gravas y arenas.
		Bofedales	Formas en planicies donde almacenan aguas provenientes de precipitaciones pluviales, deshielo de glaciares.	Arcillas, arenas y gravas.
	Glaciar	Lagunas Tarn	Lago de montaña formado por retroceso glaciar, formado en un circo excavado por un glaciar.	Rocas metasedimentarias Morrenas y tills.
		Planicie sandur	Formada por sedimentos fluviales finos, provenientes de fusión glaciar en la porción superior de las cuencas.	Arenas gravas morrenas y tills.
		Estrías glaciares	Marcas y surcos alargados y paralelos hechos sobre una roca por el paso de un glaciar por encima, producto de una abrasión de roca y hielo.	Rocas metamórficas, rocas metasedimentarias.
		Bloques erráticos	Fragmento de roca relativamente grande que difiere por su tamaño y tipo de roca.	Roca metamórfica
		Grietas de desecación	Formada al secárselos sedimentos de grano fino humedecidos.	Tills y arcillas.
	Pie de monte	Abanico aluvial	Con una forma de abanico y una pendiente suave de 1° - 10° con una carga de sedimentos que son depositados al disminuir la pendiente.	Sedimentos no consolidados provenientes de la cordillera.
		Cono coluvial	Zona de acumulaciones rocosas apariencia de conos pequeños o pequeños abanicos no cuentan con un espesor importante.	Arenas y gravas y detritos de granulometría inferior
	Planicie	Terrazas aluviales	Zonas de erosión en el lecho del rio presentan con pequeñas plataformas de sedimentos de detritos.	Arenas y gravas
		Terrazas kame	Zonas de erosión de forma irregular acumulada en una depresión en una retirada de procesos fluviales y/o glaciares, margen lateral de glaciares	Arenas, grava y till.



		Llanura de inundación	Zona adyacente a ríos sujeta a inundaciones recurrentes, área inundable.	Detritos y morrenas caóticas.
	Urbana	Población humana	Zona de mayor concentración de población.	
MUDACIONAL	Montaña	Circos glaciares	Depresión con erosión glaciaria en las paredes montañosas, son bicóncavas, zona de acumulación o de alimentación glaciaria.	rocas metamórficas, morrenas, tills y bloques de detritos.
		Cornisas	Afloramiento de roca más resistente de la parte superior de la cumbre que actúan diversos procesos erosivos que producen su retroceso.	Rocas metamórficas, pseudoestratificadas muy diaclasadas.
	Ladera	Escarpas	Cumbre alta ángulo e inclinación mayor a 45°, que corta el terreno abruptamente	Roca compacta de pizarra esquistosa y arenisca con granos de cuarzo.
		Laderas altas	Se ubica a faldas de las cumbres con pendientes que fluctúan entre los 35% y los 50%, ruptura de pendientes de primer orden.	Relieves, derrubios residuales.
		Laderas medias	Se ubica a la mitad de las cumbres, con pendientes relativamente bajas con un ángulo de inclinación de 15° que van de 20% a 25% de inclinación, desprendimiento de rocas.	Roca metasedimentaria, arenas y gravas.
		Cárcavas	Formada en el terreno por la erosión de las corrientes de agua relacionados con factores climáticos y litológicos.	Detritos, arenas gravas y depósitos cuaternarios.
	Colinoso	Colina alta	Son compuestos de laderas con una pendiente mayor asociado en rocas metasedimentaria de la formación sandia subangulares fuerte mente inclinada.	Sedimento no consolidado de detritos silicificadas.
		Colina media	Colinas compuesto por laderas moderadamente suaves que gradualmente pasan a perder su pendiente, medianamente angostas.	Sedimento no consolidados provenientes del glaciario, con pizarras foliadas.

nte: *Elaboración propia.*

5.1.5. Unidades Geomorfológicas

5.1.5.1. Sistema Denudacional

En el sistema denudacional están clasificadas las geoformas producidas por procesos erosivos las cuales se diferencian por su altura y se dividen según el grado de disección de sus laderas producto de la geodinámica externa.

a). Montaña

Circos glaciares(MM-cg)

Esta geoforma se reconoce por la forma de las crestas agudas y por la presencia de pequeños lagos de altura en el fondo de los circos. Estos circos glaciares en la cuenca de Occoruruni comprenden los nevados Sorapata, Vizcachani, Caballune y Riti Urmasca con 5,900 msnm y 5,950 msnm respectivamente, el circo glaciar de los nevados mencionados, se encuentran sujetos a deglaciación ocasionada por las variaciones climatológicas regionales. La pendiente de los circos es $>61\%$ con un área total de 533.56 Ha. (ver figura N° 18).



Figura N° 18: Circo glaciar, nevado Vizcachani.

Cornisas (MM-co)

Esta geoforma tiene conjunto de rocas resistentes que se forman en la parte superior un escarpe, en el cual actúan y actuaron diversos procesos erosivos que producen su retroceso de tipo glaciar, en la zona de estudio actúa esencialmente la acción glaciar, la precipitación pluvial y el viento. El tipo de litología juega un papel importante en esta geoforma, al que también se tiene que añadir las formas dejadas por las estructuras geológicas (fallas y diaclasas). La litología de la zona de estudio está compuesta por rocas metamórficas pseudoestratificadas y muy diaclasadas, cuya rotura originan las cornisas, estas presentan una pendiente de 45%-61% y tienen un área de 100.27 Ha.



Figura N° 19: Cornisas, en el nevado Sorapata.

b). Ladera

Escarpas (ML-es)

Esta unidad geomorfológica tiene sectores de topografía muy accidentada conformada por laderas montañosas moderadamente ramificadas en estructuras

geológicas plegadas, donde aún se pueden observar rasgos de las estructuras originales que fueron sometidas a procesos de denudación. Están constituidos por afloramientos metamórficos y meta sedimentarios que presentan erosión claramente visible por el tipo de roca; la erosión en el área es de proceso lento, y es de tipo diferencial predominantemente. esta unidad se encuentra parcialmente cubiertas por depósitos de origen coluvial y aluvial. Tienen una pendiente de 41%-45%, con un área de 1677.47 Ha. (ver figura N° 20).

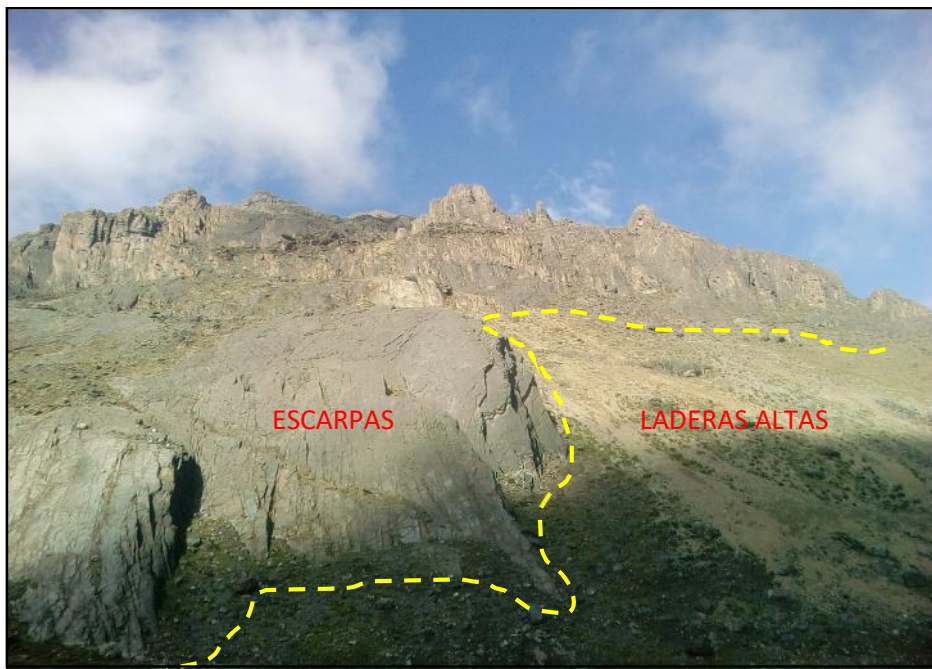


Figura N° 20: Escarpas principales en la cuenca Occoruruni.

Laderas altas(ML-la)

La geoforma se ubica en las faldas de las cumbres escarpadas, su pendiente va de 30%-36%, generalmente se ubican en la cabecera de la cuenca y a lo largo de ambos márgenes del río Occoruruni. Los fenómenos erosivos que se presentan son a menudo desprendimiento en material coluvial

metasedimentario, algo típico en esta unidad morfológica es que se distinguen drenajes paralelos y disectados; tiene un área de 1846.41 Ha. (ver figura N° 21).



Figura N° 21: Laderas fuertemente empinadas, quebrada Azulcocha.

Laderas medias(ML-Im)

Esta geoforma se encuentra en gran parte de la cuenca Occoruruni y especialmente en los dos márgenes del Río Koriwara, el material geológico que lo compone en su mayoría son derrubios de cobertura que predominantemente se presentan en altitudes de los 4200 m.s.n.m. y en altitudes menores se observan depósitos residuales que posee relieves con pendiente que fluctúan entre los 25% y los 30% aproximadamente y tienen un área total dentro de la cuenca de 618.40 Ha. (ver figura N° 22).



Figura N° 22: Laderas de montaña moderadamente empinadas.

Cárcavas(ML-ca)

Esta geoforma es generada por la pendiente del terreno y el coeficiente de torrencialidad (constante de flujo hídrico), en la zona de estudio estas producen la erosión remontante, que se relacionan a los factores climáticos y tipo de litología. Los fenómenos climáticos en estas unidades producen el escurrimiento superficial, que destruye, lava y transporta sucesivamente la capa superior del suelo en forma de lámina continua, este escurrimiento genera surcos y cárcavas que se evidencian en la parte media y baja de la cuenca Occoruruni. Su pendiente es 25%-30% y 30%-36%, presenta un área total dentro de la cuenca de 274.83 Ha. (ver figura N° 23).

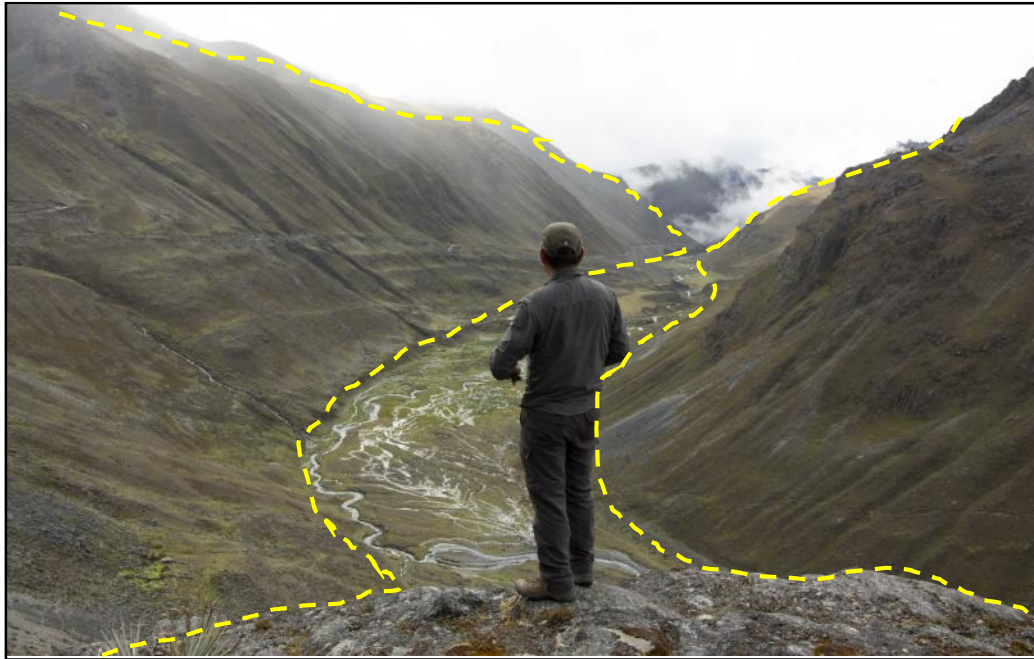


Figura N° 23: Cárcavas en la parte media de la quebrada Occoruruni.

c). Colinoso

Colina alta (DC-ca)

Esta geoforma se evidencia en la parte alta del Rio Occoruruni (naciente de la cuenca), cuyas características principales son las pendientes fuertes que llegan a más de los 25% se encuentran sobre laderas empinadas y que presentan ondulaciones que corresponden a procesos denudacionales. Están constituidas por depósitos glaciarios (morrenas), material de deslizamientos productos de movimiento en masa y afloramiento de rocas metasedimentarias en menor proporción, en estos sectores los procesos erosivos son más intensos y tiene un área total de 526.35 Ha. (ver figura N° 24).

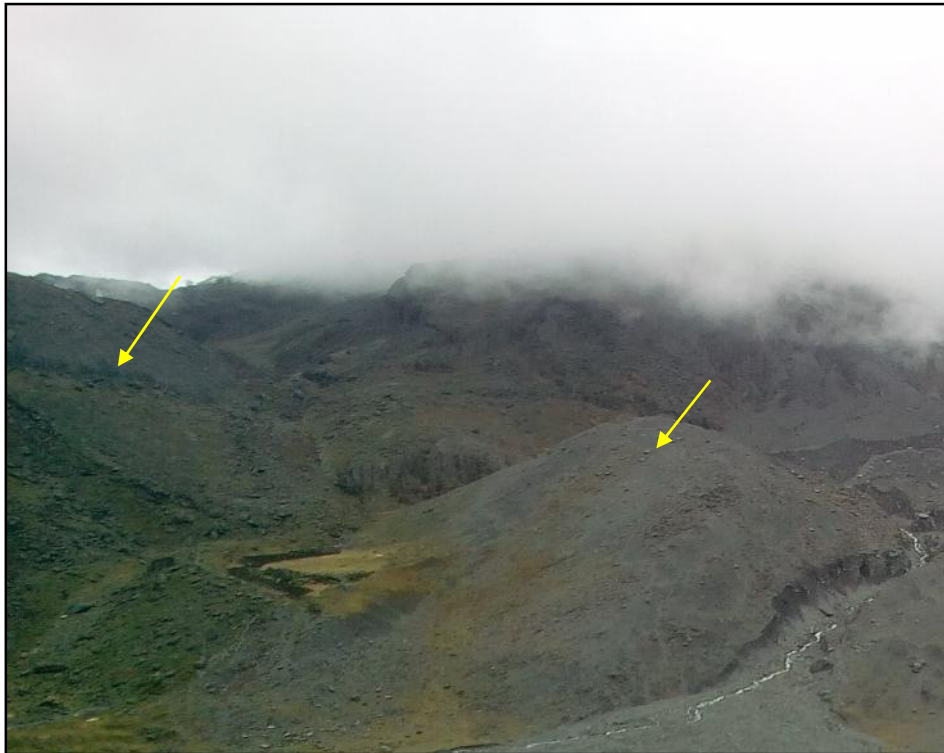


Figura N° 24: Colinas altas fuertemente disectadas, quebrada Vizcachani.

Colina media(DC-cm)

En esta unidad geomorfológica se han identificado zonas de moderada extensión, se encuentran en la cabecera de la cuenca Occoruruni y está conformado en su mayoría por depósitos morrenicos glaciarios y fluviales en donde su topografía presenta ondulaciones, debido a procesos ocasionados por escorrentía superficial y tienen pendientes que van de 14% a 20% aproximadamente. Las disecciones ocurren mucho más en esta unidad morfológica, en donde se distinguen quebradas intermitentes poco profundas donde afloran rocas metasedimentarias. Parte de esta unidad está sometida a procesos erosivos. Tiene un área total dentro de la cuenca de 251.71 Ha. (ver figura N° 25).

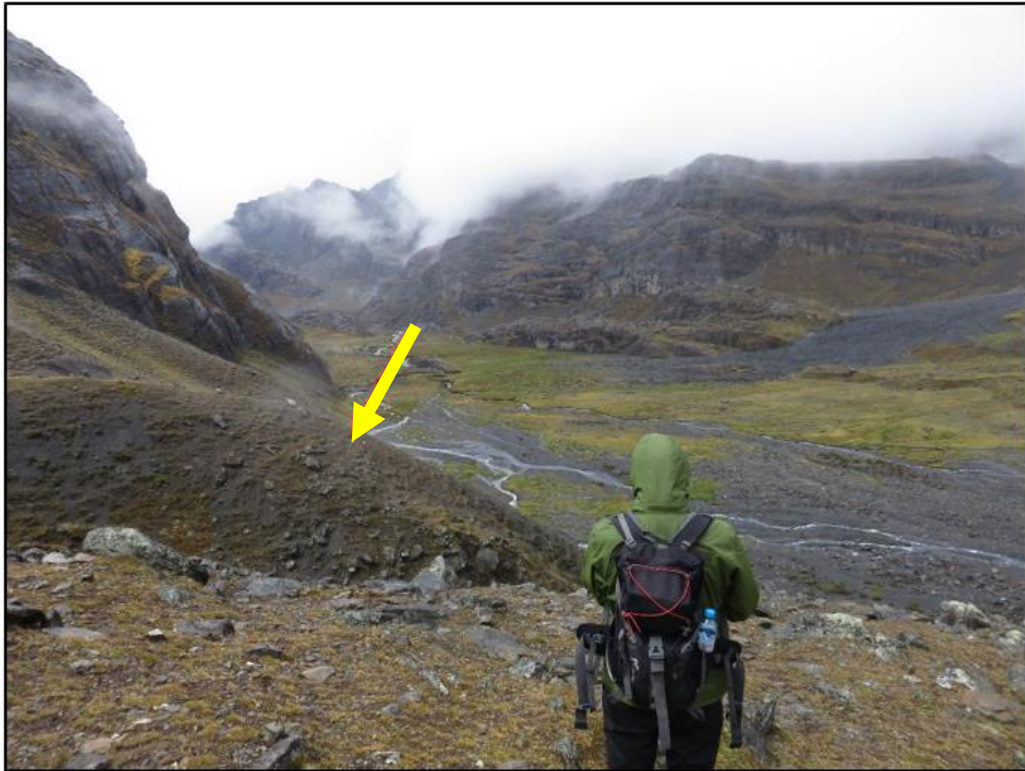


Figura N° 25: Colinas media moderadamente disectadas, quebrada Vizcachani.

5.1.5.2. Sistema Agradacional

En el sistema agradacional están clasificadas las geoformas producidas por procesos acumulativos las cuales se diferencian por su altura y se dividen según el grado de disección producto de la geodinámica externa.

a). Valle

Valle en “u” (FV-vu)

Esta geoforma tiene una típica forma en “u”, originado por la acción erosiva y retroceso de los glaciares, las pendientes de las laderas varían de un lugar a otro que tienen relación directa por el tipo de litología. Los valles glaciares que se

encuentran en la quebrada Occoruruni tienen pendientes moderadas de 5%-8%; normalmente ocurren en el pie de las morrenas de fondo de valle glaciar, tiene la predominancia con fragmentos de rocas metamórficas, así en la parte media del valle glaciar predominan rocas metasedimentarias y al término del valle glaciar, tenemos rocas metamórficas foliadas, todas estas litologías pertenecen a la Formación Sandia y tiene un área total dentro de la cuenca de 495.21 Ha. (ver figura N° 26).

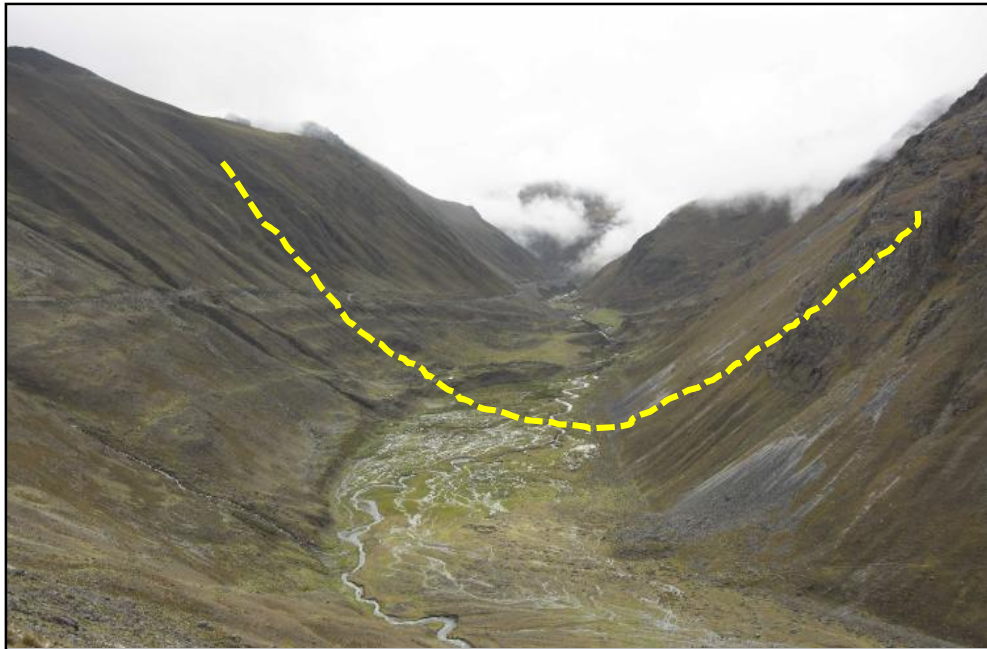


Figura N° 26: Valle glaciar en forma de “u”, quebrada Occoruruni.

Bofedales(FV-bo)

Es una geoforma típica de valles de origen glaciar cuyo fondo se caracterizan por estar conformados por materiales arcilloso finos de coloración negra por la presencia de restos orgánicos. Son geoformas preexistentes de antiguos cuerpos de agua (están en extinción) cuya superficie tiene una baja pendiente y están

conformados por suelos hidromorficos es decir suelos saturados con agua que son alimentados por los principales drenajes de las aguas subterráneas (principalmente) y superficiales, originándose por el deshielo de la masa glaciar. En algunas zonas de las quebradas Occoruruni y Azulcocha, el fondo del valle glaciar presenta superficies con pendientes suaves <7% conformado principalmente por sedimentos palustres de origen lacustrino extinto y pueden ser considerados los principales vestigios del retroceso glaciar a través del tiempo geológico posee un área dentro de la cuenca de 105.54 Ha.



Figura N° 27: Bofedales al pie del valle. Fuente: Propia.

b). Glaciar

Lagunas tarn(FG-It)

Los lagos tarn o lagunas glaciares son superficies moderadas donde el agua producto del deshielo sufre un estancamiento el cual forma en un circo excavado por un glaciar. Se origina por el retroceso de los frentes glaciares de los nevados

Sorapata y Vizcachani, estos formaron a las lagunas del mismo nombre con cuerpo de agua diferente, asentados sobre potentes “capas” de morrenas con material fino impermeable. Las partes altas de ambas lagunas tienen un frente glaciar donde se observa fusión del hielo el cual descarga sedimentos a la laguna Japuccocha que se encuentra en un proceso de eutrofización por la poca alimentación de agua, está laguna está asentada sobre roca, tanto en su parte frontal como en sus lados laterales, mientras que su parte posterior está asentado sobre material mixto compuesto por roca, depósitos pleistocenos y cuaternarios, posee un área total dentro de la cuenca de 73.17 Ha.



Figura N° 28: Laguna Vizcachani, se observa la fusión del hielo glaciar.

Planicies sandur(FG-ps)

Es una geoforma que está constituida por sedimentos fluviales finos provenientes de la fusión de glaciares y está ubicado en la parte superior de la

cuenca Occoruruni, en donde poseen depósitos formados por grava y arena trasladada por el agua que brota al disolverse el hielo de un glaciar, estas planicies contienen grandes cantidades de till glaciar y otros sedimentos, incorporados durante el lento proceso de erosión de las rocas que conforman la cuenca, son observables cercanas a la Laguna Vizcachani, y también visibles en la laguna Japucchocha, conversan un área de 25.82 Ha. (ver figura N° 29).

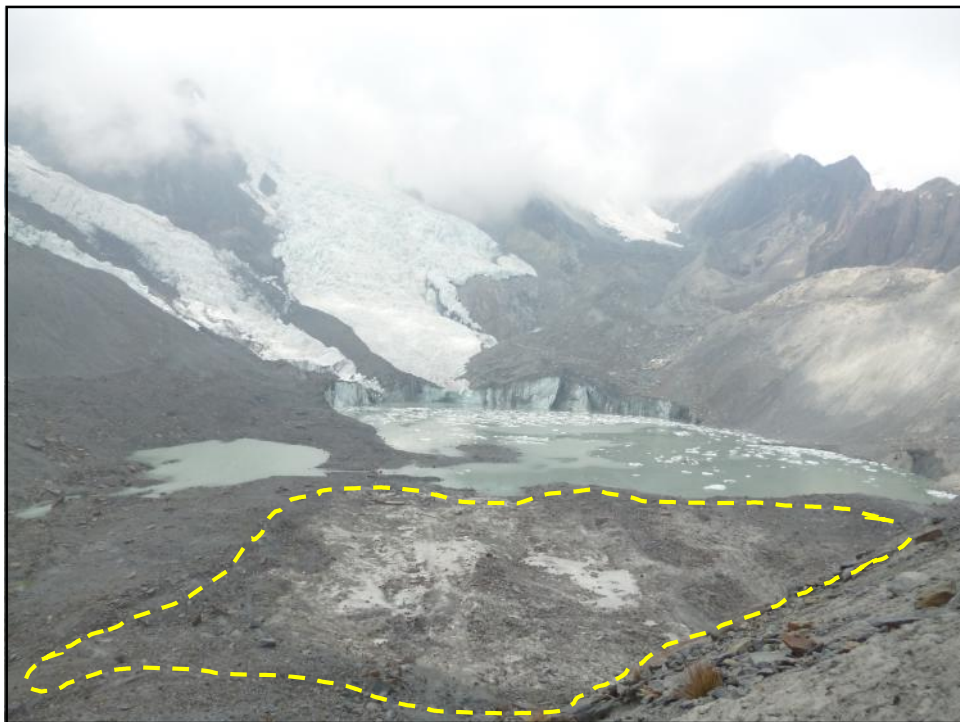


Figura N° 29: Se observa en la laguna Vizcachani las planicies sandur.

Estrías glaciares(FG-eg)

Son geoformas que presentan finos surcos alineados no superiores al metro de longitud y de pocos milímetros de anchura y profundidad. Las estrías se desarrollan más fácilmente en rocas de grano fino, como es el caso de la Formación Sandia compuesta por rocas de tipo pizarras y areniscas de grano

fino. En la quebrada de Occoruruni se observa la existencia de cantos estriados, producto de aluviones antiguos, los que se formaron (estrías) a partir de movimientos en masa es así que no solamente el substrato rocoso presenta estrías sino también los materiales transportados. (ver figura N° 30).



Figura N° 30: Estrías glaciares en el valle glaciar. Fuente: Propia.

Bloques erráticos(FG-be)

Son bloques situados en superficies rocosas o sobre material depositado por la actividad glaciar, en la zona de estudio se visualizan en la confluencia de la quebrada Vizcachani y la quebrada Azulcocha, en las que generalmente sus litologías son distintas a las del material sobre las que se asientan. Las dimensiones de los bloques son heterométricos y pueden llegar a alcanzar 2m de diámetro. Las distancias del desplazamiento de estos bloques se pueden

interpretar de acuerdo al tipo de litología y su ubicación espacial dentro de la cuenca. (ver figura N° 31).



Figura N° 31: Bloques erráticos, quebrada Vizcachani y Azulcocha.

Grietas de desecación(FG-gd)

Son unidades geomorfológicas, que se originan al secarse los sedimentos de grano fino humedecidos, esto sucede cuando los sedimentos llegan a alcanzar el límite de contracción, a causa de la evaporación de agua, es aquí donde se produce la rotura superficial. Estos agrietamientos al agruparse forman sistemas poligonales y en la zona de estudio se visualizan en la Quebrada Azulcocha, por la presencia de sectores con coloración marrón a negro pertenecientes a sedimentos finos. Estas geoformas están en relación con la morfología y génesis de ciclos de hielo – deshielo, presenta pendientes <7%, no obtuvo su extensión

superficial por la escala de trabajo, pero se consideran muy importantes para la interpretación geomorfológica.

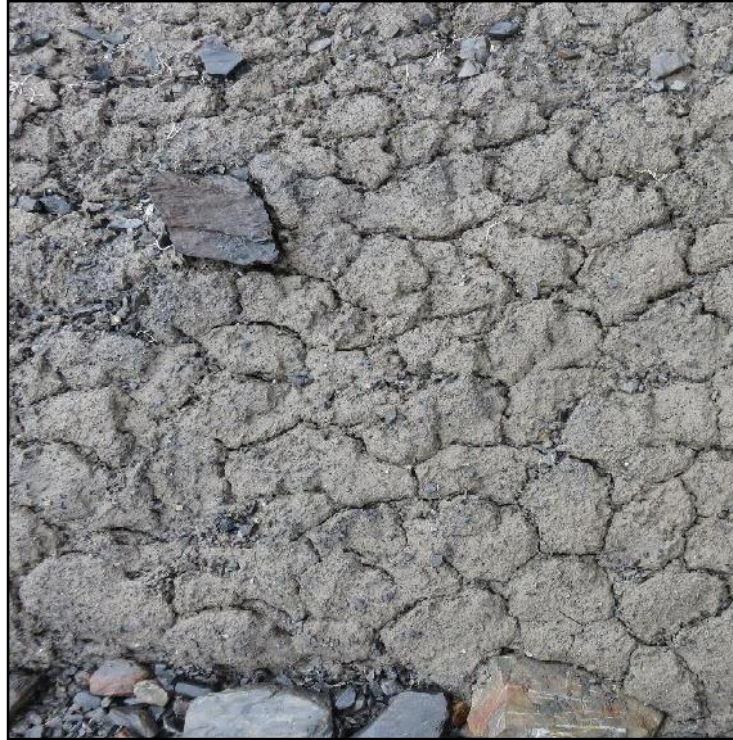


Figura N° 32: Sistema de polígonos pseudo-hexagonales, cerca de la laguna Sorapata.

c). Pie de Monte

Abanico aluvial(DP-aa)

También conocido como cono de deyección ocurre debido a procesos fluviales permiten la desembocadura de sus torrentes en forma de abanico (conos), corresponden a depósitos no consolidados con una pendiente moderadamente inclinada de 7%. Se caracteriza por la presencia de una cuenca de recepción las cuales son arroyos que reciben el agua fluvial y la canalizan, este presenta también un canal de desagüe que son las quebradas que transportan al torrente

fluvial, en la zona de estudio son el límite entre el paisaje de montaña y el paisaje de piedemonte, en la cuenca tiene un área total de 20.93 Ha. (ver figura N° 33).



Figura N° 33: Abanicos aluviales valle glaciar, quebrada Vizcachani.

cono coluvial(DP-cc)

Es una pequeña unidad geomorfológica que consta de una acumulación rocosa en superficie en forma de cono, tiene apariencia de conos o pequeños abanicos los que no cuentan con un espesor importante ya que corresponden a acumulaciones locales sin mucho transporte dando la apariencia de un depósito. Esto se encuentra en la parte superior de la cuenca de Occoruruni en su mayoría con un área total de 7.51 Ha. (ver figura N° 34).



Figura N° 34: Depósito Coluviales, margen derecho del rio Occoruruni.

d). Planicie

Terrazas aluviales(PC-ta)

Esta geoforma contiene depósitos aluviales recientes y presenta pendiente menor a 8%, son susceptibles a cambios morfológicos por fenómenos hidroclimáticos que produce inundación; estos suelos en su mayoría son utilizados como terrenos de pastoreo. Los sedimentos que se originan por procesos denudacionales y que se encuentran en la parte baja de la cuenca; estas conforman las terrazas aluviales constituidas por sedimentos gravosos de formas subredondeadas, posee un área total dentro de la cuenca de 12.24 Ha. (ver figura N° 35).



Figura N° 35: Terrazas fluviales, margen izquierda del rio Occoruruni.

Terrazas kame(PC-tk)

Esta geoforma tiene una superficie llana poco ondulada con suave pendiente, se encuentra muy alejada de los depósitos morrenicos y dan el paso al dominio del glaciar, tiene una forma larga en bancos paralelos al eje del valle; está limitada por una escarpa de erosión, con una superficie con bloques y clastos sub – redondeados. La estructura interna de unidad geomorfológica está dominada por depósitos a manera de conglomerados y arenas finas con partículas de pizarras, en ciertos tramos presentan estratificación cruzada, tiene un área total de 0.80 Ha. (ver figura N° 36).



Figura N° 36: Terrazas diferenciadas en la planicie actual.

Llanura de inundación(PC-Ii)

Las llanuras de inundación son áreas de superficie adyacentes a ríos o riachuelos los cuales están sujetos a inundaciones recurrentes. Debido a la naturaleza climatológica siempre cambiante, las llanuras de inundación y otras zonas inundables deben ser examinadas para precisar la manera en que estas pueden afectar al desarrollo de pastoreo auquénido. Estas geoformas mantienen alimentación constante de aguas procedentes del deshielo glaciar y se caracteriza por tener una pendiente menor a 5%, litológicamente está conformada por sedimentos de diferentes granulometrías de origen morrenico como arcillas, limos y bloques de rocas, presenta un área total de 55.73 Ha. (ver figura N° 37).



Figura N° 37: Llanura de inundación al margen de riachuelos y la parte baja del valle.

d). Sectores Antrópicos

Aquí se consideran los lugares que son intervenidos por la mano del hombre, siendo uno de los modificadores del relieve natural, casi todas las acciones que realiza y desequilibran el paisaje natural; el cual está integrado por una serie de elementos construidos, aquí están enmarcados los centros poblados de Koriwara, Lusuni y Potoni. También consideramos en esta unidad a los accesos y caminos que desestabilizan las pendientes naturales (trocha carrozable). (ver figura N° 38).



Figura N° 38: vista panorámica desde el centro poblado Koriwara a la Cordillera Apolobamba.

5.1.6. Relación entre la geomorfología y eventos aluviónicos

Los eventos aluviónicos ocurridos se originan en las colinas medias con morrenas de fondo glaciar que conforman el vaso de las lagunas Sorapata y Vizcachani, cuyas litologías se encuentran inconsolidadas, las cuales presentan alturas hasta los 50 m (morrenas). Estas geoformas o lomadas alargadas ocasionan desprendimientos de bloques y rocas, desencadenando pequeños deslizamientos continuos sobre las lagunas. La cubeta que sostiene a la laguna es de material predominante morrenico (arcillas y limos), con flancos bien definidos, en especial en el lado izquierdo, también presenta una zona de arranque donde se observa fuerte inestabilidad en el talud de la morrena. La zona posterior limita con escombros y glaciar, el cual contiene más de cuatro eventos aluviónicos, esto demuestra que existe la posibilidad de que la fusión de glaciar pueda ocasionar asentamientos y reacomodo de escombros.

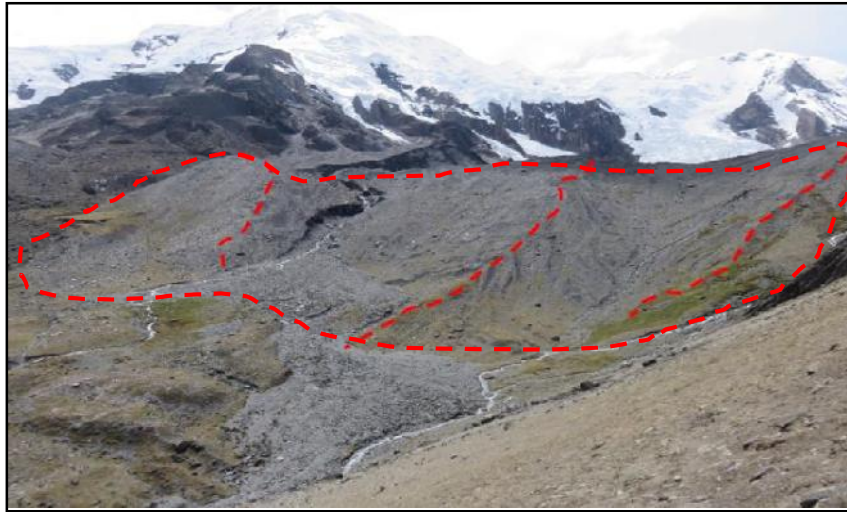


Figura N° 39: Morrenas de fondo de valle glaciar, quebrada Vizcachani.

Cuando se delimito las geformas glaciares se puedo diferenciar morrenas laterales y terminales depositadas por los avances y reavances de los glaciares en el pasado. El cartografiado que se hizo con drones, fotografías aéreas e imágenes satelitales permitió demostrar que estas geformas están conformadas por materiales de morrenas que han sido retrabajados y transportados por acción fluvial y/o gravedad, estos materiales son de composición heterogénea de gravas subredondeados a sedimentos sueltos. Se interpretaron 6 eventos aluviónicos de pequeña magnitud, en donde se encontraron evidencias de desplazamiento post deposicional. En la fotografía N° 40 observamos con flechas en color rojo las zonas de arranque de estas avalanchas, en este caso se interpreta que existe la probabilidad de que eran avalanchas mixtas (roca y hielo). Las flechas de color amarillo muestran la huella de los flujos bruscos que salieron de las lagunas, teniendo en cuenta que estas lagunas son de formación reciente (últimos 40 años), esto hace interpretar que existió una dinámica activa en los desprendimientos de bloques de hielo y roca.

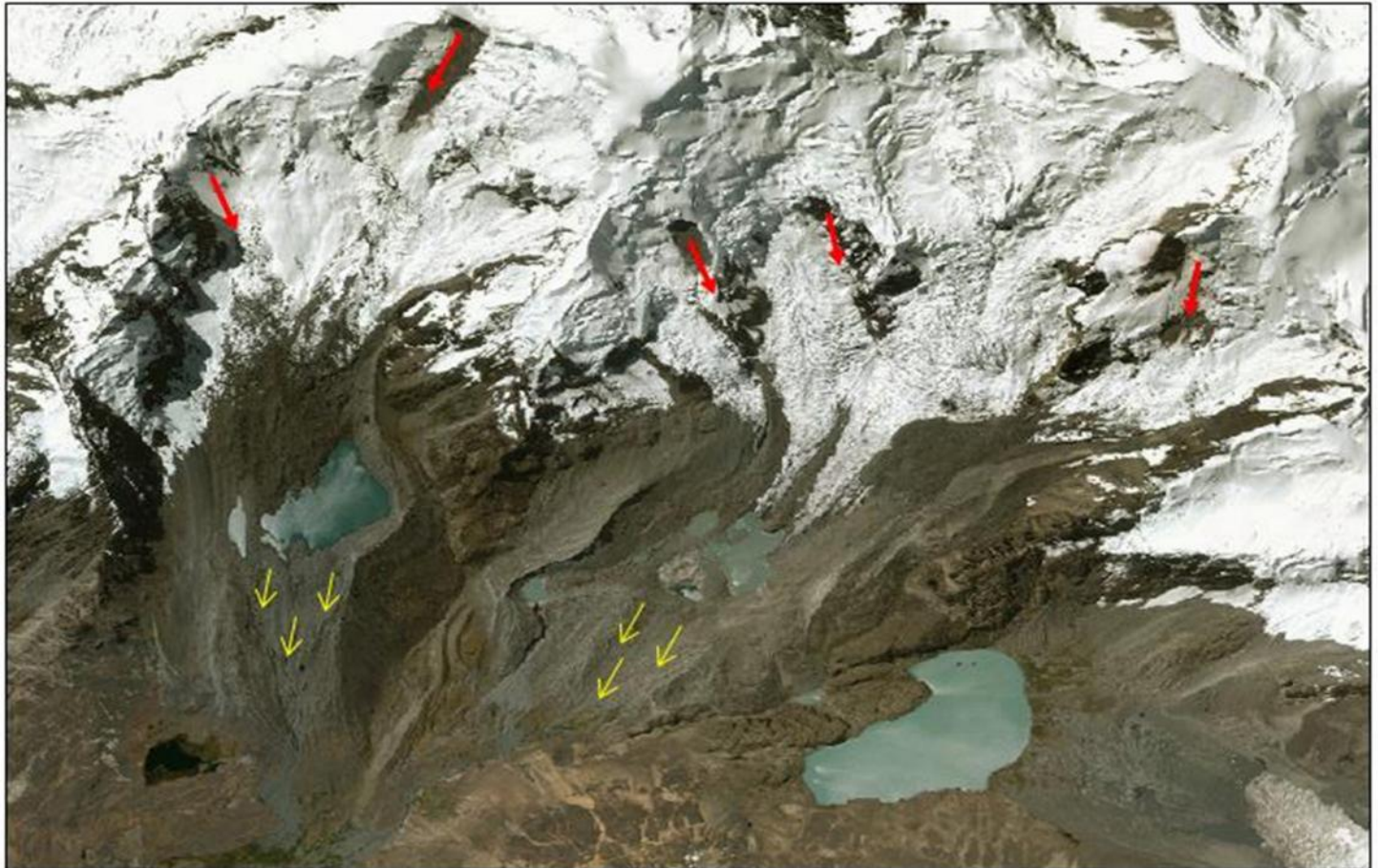


Figura N° 40: Identificación de zonas que evidencian desprendimientos de bloques de hielo en el ámbito de la cordillera Obamba.



Figura N° 41: Laguna Sorapata zona de desagüe, se observa las huellas de los eventos de desborde ocasionado por una avalancha.



Figura N° 42: Laguna Sorapata parte arriba de la zona de desagüe, se aprecia el contacto entre hielo y material morrenico.

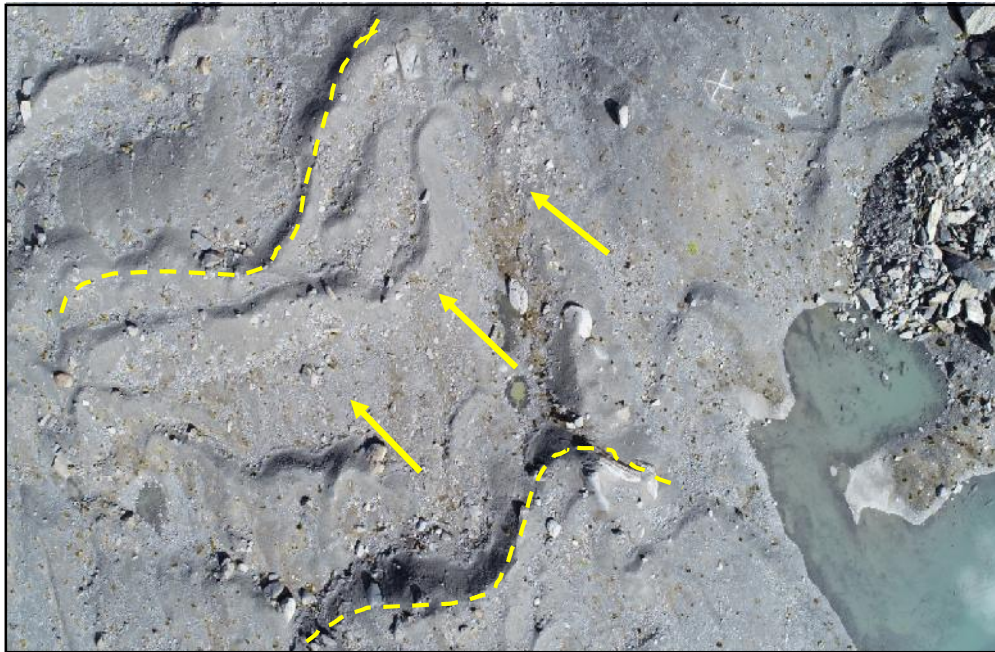


Figura N° 43: Fotografía aérea de la laguna Sorapata, con huellas del evento aluvionico.

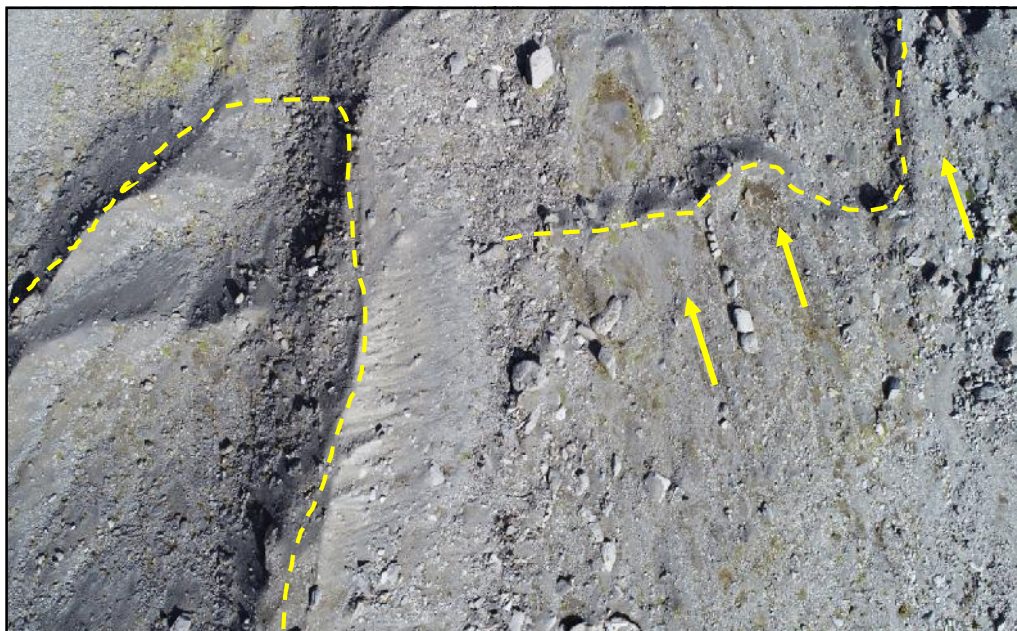


Figura N° 44: Fotografía aérea de la zona de desagüe, laguna Sorapata, signos de desprendimiento de rocas y flujo constante.

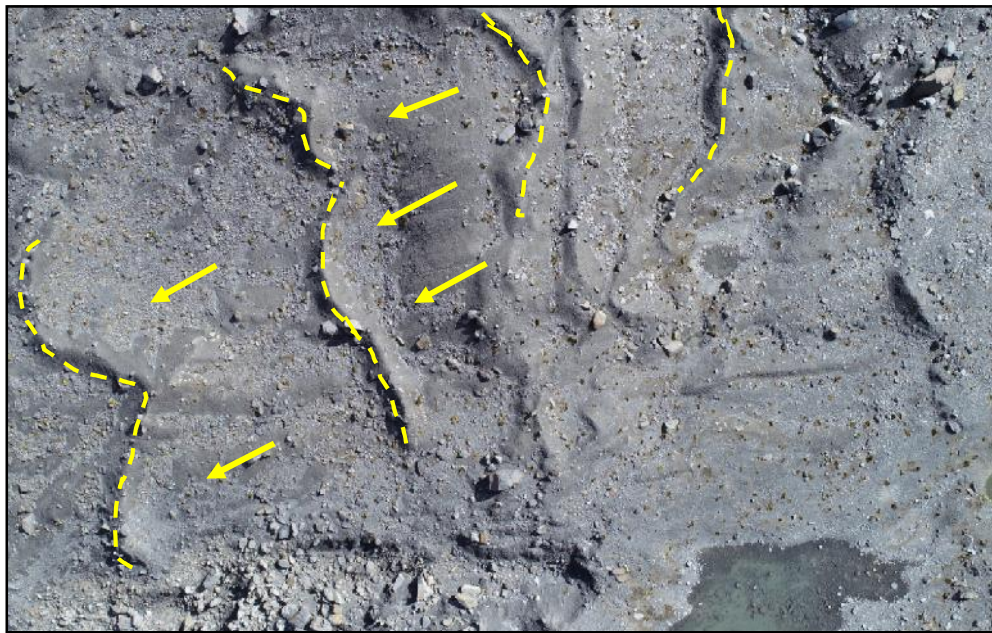


Figura N° 45: Fotografía aérea de la zona de desagüe, laguna Vizcachani, morrenas en movimiento.

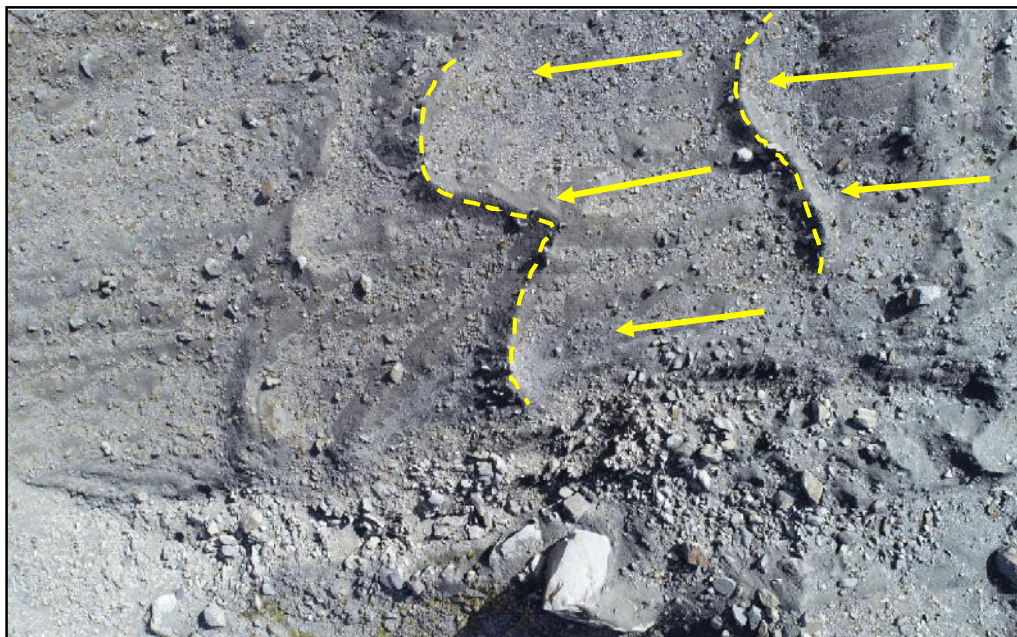


Figura N° 46: Fotografía aérea de la zona de desagüe laguna Vizcachani, presencia de bloques erráticos.

5.2. CARACTERÍSTICAS SEDIMENTARIAS

Debido al retroceso glacial andino acelerado y el desborde de las lagunas que ocurren en la cabecera de la cuenca a causa de diques frontales y laterales propensos a fallar (diques naturales morrenicos), se ocasionaron desbordes GLOF (inundación por desborde violento de lago glacial) en el pasado. Estos eventos catastróficos atravesaron rápidamente el valle Occoruruni llegando al centro poblado de Koriwara en el cual se observan indicios de sedimentos finos que indican disminución de energía. La cuenca Occoruruni en su mayor extensión está conformada por la formación Sandia, la cual presenta básicamente dos tipos de litología en campo: pizarras y areniscas.

Areniscas: roca de textura clástica compuesta por granos de cuarzo, con tonalidad clara y presencia de patina de óxidos de hierro, con abundantes venillas de cuarzo metamórfico blanco, de espesores milimétricos.



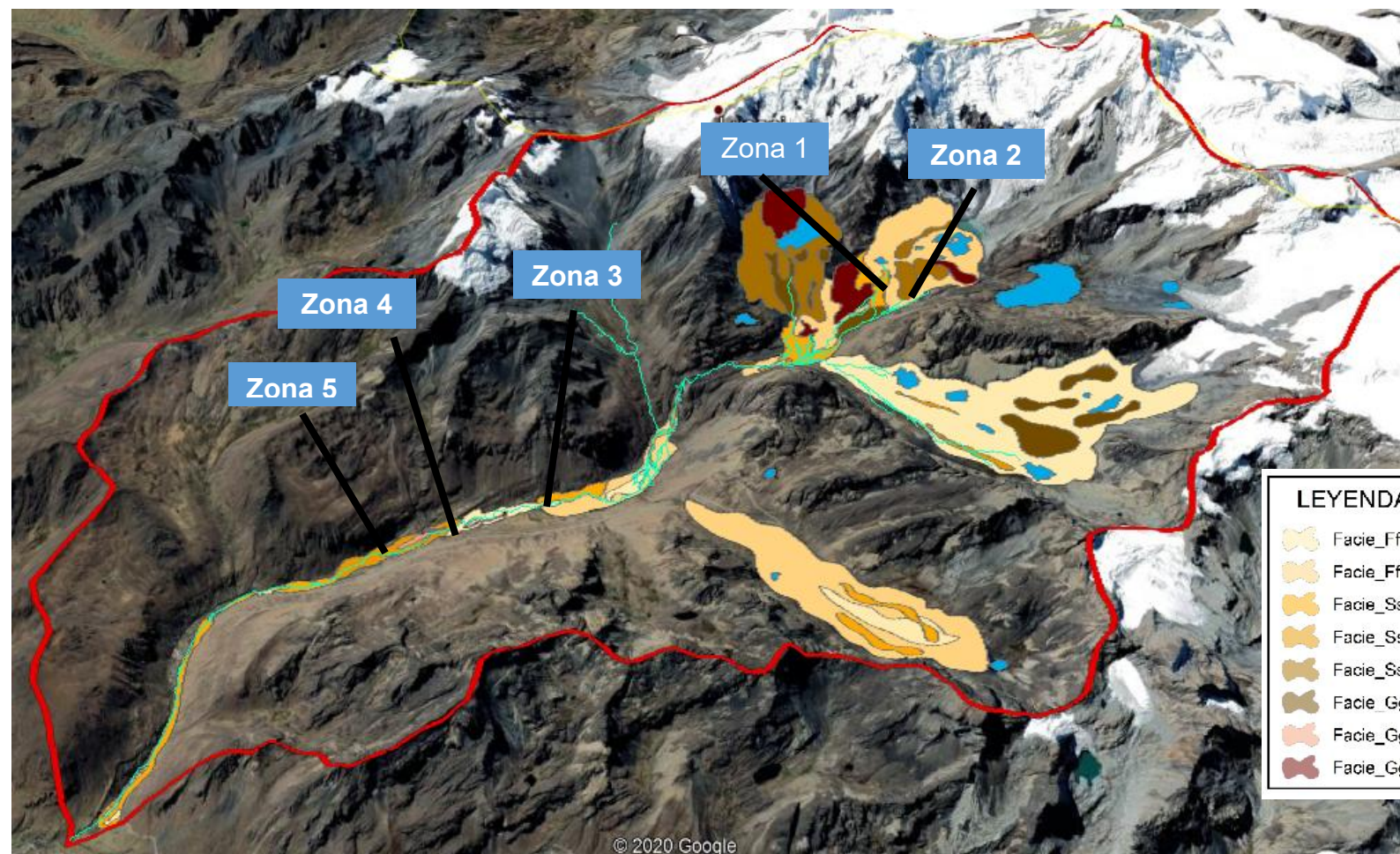
Figura N° 47: Muestra de roca tipo arenisca, Formación Sandia.

Pizarra: Rocas de trama foliada, con textura lepidoblastica compuesta por láminas de minerales recristalizados (micas) paralelas entre sí, los planos de esquistosidad son paralelas a la foliación su tonalidad es gris oscuro a negra, con presencia de venillas de cuarzo.



Figura N° 48: Muestra de roca tipo pizarra, Formación Sandía.

La distribución espacial de los sedimentos rellena todo el valle glaciar, por eso se caracterizaron cinco zonas en la cuenca de Occoruruni, en sectores la acumulación de sedimentos presentaba mejor exposición. La composición en estas acumulaciones de sedimentos es de limos, arcillas, gravas y arenas con estratificación horizontal en algunos casos presenta cierta deformación.



ra N° 49: Mapa de facies en formato Kmz. Fuente: propia.

Zona 1:

En sección natural la zona tiene un espesor aproximado de 14 m y consiste en sedimentó expuestos que contienen diamictitas (Dmm) delimitadas por depósitos de gravas relativamente planas ricas en clastos. Las gravas masivas (Gms) presentan algunos horizontes de lecho desordenados y toscos, en el cual se observan fragmentos de roca con diámetros diferentes, lo cual se observa en corte natural mirando NE. En esta misma sección, la parte media contiene arenas finas a muy gruesa (Ss) y está moderadamente compactados, a la vez en los sectores de pendientes altas se observa un flujo de clastos con detritos plásticos (Gmm) de arcillas y que en la parte inferior carecen de partículas de roca de grano fino.



Figura N° 50: Zona 1 cercana a los glaciares. Fuente: propia.

Zona 2:

Los sedimentos de la zona 2 son predominantemente gravas (Gm, Gcm), las formas de los clastos son planares, subangulares a subredondeados con diámetros mayor de 25 cm en la parte superior y de tamaños mucho mayores a 38 cm en la parte inferior. Esta zona presenta una matriz rica en arcillas con un espesor de 7-8 m es cortada por una quebrada que llega hasta el valle Occoruruni. Aquí están expuestas flujos recientes de escombros por la cercanía al margen glaciar en donde la característica del sedimentó no ha cambiado sustancialmente estos se presentan en forma masiva y poco desarrollada (cruda).

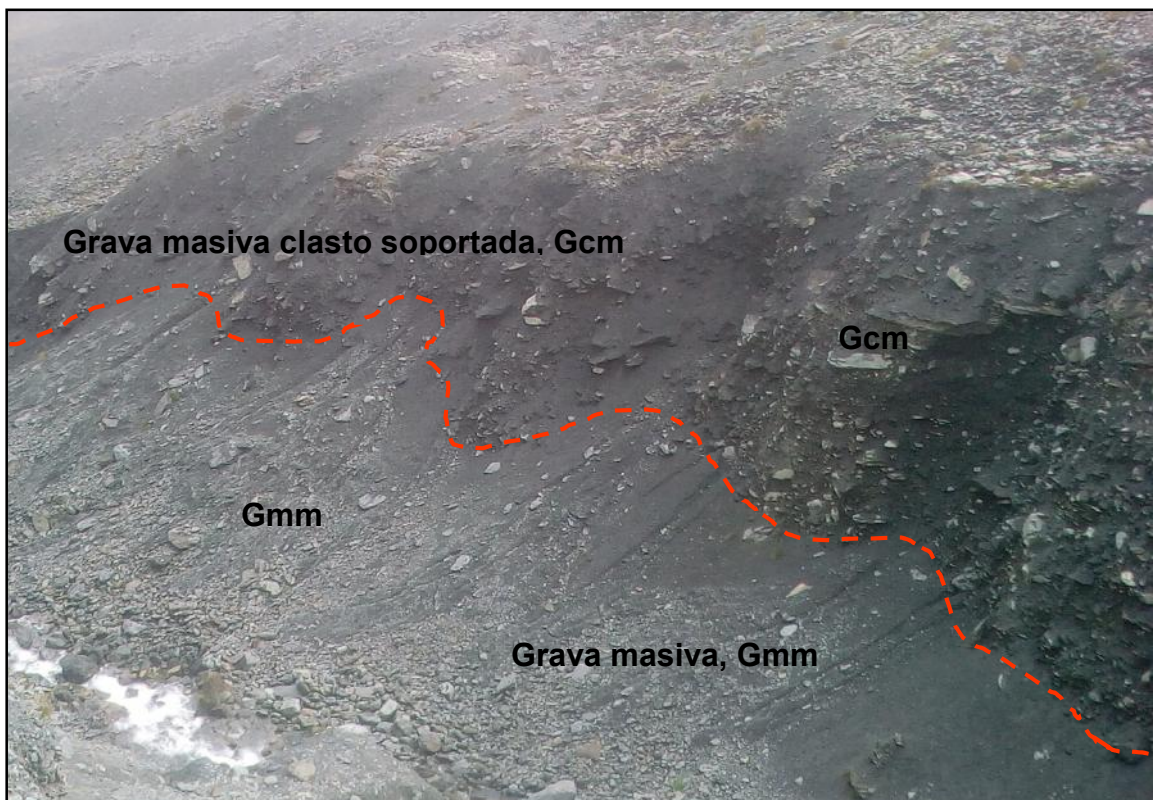


Figura N° 51: Zona 2 en el valle glaciar morrena lateral. Fuente: propia.

Zona 3:

Esta zona presenta sedimentos con granulometrías de fina y a media (St, Fl, Fsm, Sm) en la parte superior la secuencia de sedimentos se encuentra cubierto por sedimentos de granulometría fina. A la secuencia mencionada le infrayace un estrato con una sucesión fina de arenas laminadas horizontales con fragmentos granocreciente (gruesas a finas). La dimensión de los clastos dispersos varía hasta 10 mm de diámetro en donde arenas de grano grueso se ubican en el tope. La secuencia muestra también arenas de color rojo debido a la oxidación de minerales de hierro y arena limosa (rojo/ naranja = oxidado), se observa también estructuras de deformación generalizada tipo pliegue intraformacionales en arcillas y limos; estas secuencias se entrelazan con gravas que presentan clastos sub redondeados de <1 cm de diámetro. Ya en la base de la secuencia se encuentran arcillas y limos mezcladas con arena masiva que presentan estructuras internas onduladas, laminadas y deformadas.



Figura N° 52: Zona 3 lecho de río en el valle glaciar. Fuente: propia

Zona 4:

En esta zona encontramos litología que en su mayoría son gravas (Gh, Gm, Gcm, Dmm) en el tope de esta secuencia de sedimentos se observa clastos soportados con una incipiente estratificación planar e imbricación (Gh). Infrayace a este estrato gravas con una matriz soportada masiva a incipiente, que presenta gradación normal con contenido de materiales que varían en tamaño de grano. En la parte intermedia de la secuencia se presenta un estrato que tiene una base que consiste en un horizonte único y muy distintivo de grava poco consolidada con una matriz de arena gruesa a muy gruesa (Gm), el tamaño del clasto es muy variable de 1-8 cm de diámetro, esta zona contiene un material grueso expuesto por flujos recientes de escombros supraglaciares, presentan un volumen considerable que se han generado a partir de avalanchas y desprendimiento de rocas desde los altos muros del valle o por el GLOF ocurrido en la zona.

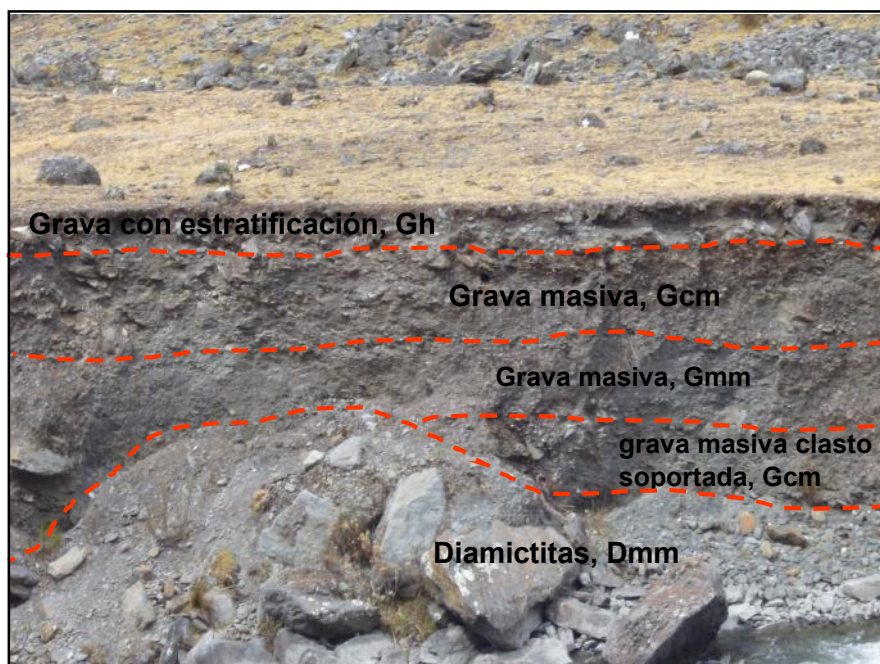


Figura N° 53: Zona 4 lecho del rio. fuente: propia

Zona 5:

Esta zona posee una gran cantidad de sedimentó rico en clasto entre gravas masivas (Gm) ubicadas en la parte superior de la secuencia, en donde hay presencia de diamictitas (Dmm), contiene cantidades variables de fragmentos de fragmentos de roca de grano grueso clasto soportado (Gh). La secuencia media contiene arenas de grano medio a grueso en una matriz con una concentración densa de granos de formas subangulares a angulares, estos exhiben pobre clasificación con corte alternos de forma masiva. La parte basal de la secuencia presenta depósitos de sedimentos de baja energía, que hacen la transición a condiciones fluviales de mayor energía, en la parte inferior de este estrato posee gravas de grano grueso que migran a lo largo del sistema fluvial con una matriz de arena y limo.



Figura N° 54: Zona 5 cerca al centro poblado Koriwara. Fuente: propia.

Para la denominación del material litológico se hizo un estudio de granulometría el cual consistió en la toma de nueve muestras ubicados de acuerdo al tipo de suelo. Los resultados se muestran en la tabla N° 13 y figura N° 55.

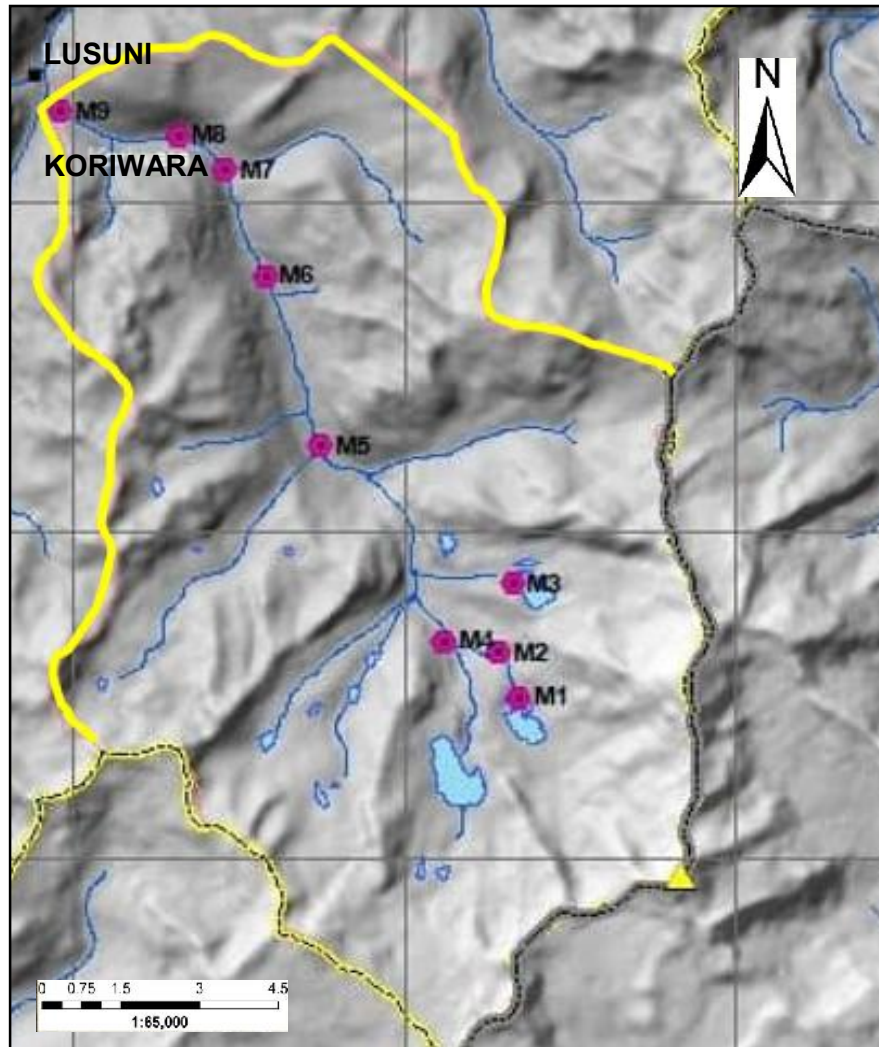


Figura N° 55: Puntos de muestreo de suelo en la cuenca de Occoruruni.

Tabla N° 12: Coordenadas de los puntos de muestreo.

N°	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9
NORTE	8381970	8382517	8383365	8382658	8385050	8387114	8388398	8388823	8389127
ESTE	473440	473182	473353	475221	471037	470359	469872	469301	467879
COTA	4858	4843	4868	4679		4129	4062	4039	3936



Tabla N° 13: Resultados de laboratorio, clasificación de suelos en AASTHO Y SUCS y propiedades físicas del suelo.

N° STRA	CLASIFICACION AASTHO	CLASIFICACION SUSC	LIMITES DE CONSISTENCIA	CORTE DIRECTO EN SUELO	PROPIEDAD DE SUELO
	Material granular, excelente a bueno como subgrado. A-1 Fragmentos de roca, grava y arena.	Suelo de partícula gruesas (nomenclatura con símbolo doble) Grava Mal Graduada con Limo con Arena (GP GM).	Limite Liquido (LL): 28.63% Limite Plástico (LP): 27.59% Índice Plasticidad (IP): 1.04%	Cohesión: 0.0335 kg/cm ² Angulo de fricción: 29.87°	Densidad seca Porosidad aparente Peso específico KN/m ³
	Material limoso-arenoso, pobre a malo como subgrado. A-4 Suelo limoso.	Suelos de partículas finas, Arcillas baja plasticidad (CL)	Limite Liquido (LL): 27.02% Limite Plástico (LP): 18.96% Índice Plasticidad (IP): 8.06%	Cohesión: 0.0679 kg/cm ² Angulo de fricción: 30.02°	Densidad seca Porosidad aparente Peso específico KN/m ³
	Material granular, excelente a bueno como subgrado. A-1 Fragmentos de roca, grava y arena.	Suelos de partículas gruesas, suelos de partículas gruesas con finos (suelo sucio), Grava Limosa con Arena (GM)	Limite Liquido (LL): 18.80% Limite Plástico (LP): 17.32% Índice Plasticidad (IP): 1.48%	Cohesión: 0.0210 kg/cm ² Angulo de fricción: 30.04°	Densidad seca Porosidad aparente Peso específico KN/m ³
	Material granular, excelente a bueno como subgrado. A-1 Fragmentos de roca, grava y arena.	Suelos de partículas gruesas. Suelos de partículas con finos (suelo sucio). Grava Arcilloso Limoso con arena (GC GM)	Limite Liquido (LL): 20.57% Limite Plástico (LP): 14.55% Índice Plasticidad (IP): 6.02%	Cohesión: 0.0758 kg/cm ² Angulo de fricción: 32.72°	Densidad seca Porosidad aparente 698.42 % Peso específico KN/m ³ .
	Material granular, excelente a bueno como subgrado. A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena.	Suelo de partículas gruesas.(Nomenclatura con símbolo doble), Grava Mal Graduada con Arcilla y Limo con arena (GP GC)	Limite Liquido (LL): 21.91% Limite Plástico (LP): 17.04% Índice Plasticidad (IP): 4.87%	Cohesión: 0.0370 kg/cm ² Angulo de fricción: 33.63°	Densidad seca Porosidad aparente 103.99% Peso específico KN/m ³
	Material granular, excelente a bueno como subgrado. A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa.	Suelo de partículas gruesas, suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio). Grava Limosa con Arena (GM)	Limite Liquido (LL): 33.65% Limite Plástico (LP): 27.02% Índice Plasticidad (IP): 6.63%	Cohesión: 0.0475 kg/cm ² Angulo de fricción: 31.00°	Densidad seca Porosidad aparente 182.49% Peso específico KN/m ³
	Material granular, excelente a bueno como subgrado. A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena.	Suelo de partículas gruesas. Suelo de partículas gruesas con finos (suelo sucio). Grava Limosa con Arena (GM)	Limite Liquido (LL): 20.61% Limite Plástico (LP): 18.94% Índice Plasticidad (IP): 1.57%	Cohesión: 0.0225 kg/cm ² Angulo de fricción: 33.37°	Densidad seca Porosidad aparente % Peso específico KN/m ³
	Material granular, excelente a bueno como subgrado. A-1-a Fragmentos de roca. Grava y arena.	Suelos de partículas gruesas (Nomenclatura con símbolo doble). Grava mal graduada con Limo con Arena (GP GM).	Limite Liquido (LL): 24.51% Limite Plástico (LP): 21.25% Índice Plasticidad (IP): 3.26%	Cohesión: 0.0739 kg/cm ² Angulo de fricción: 32.09°	Densidad seca Porosidad aparente 54.79% Peso específico 19.17 KN/m ³
	Material granular, excelente a bueno como subgrado. A-1-a Fragmentos de roca, grava y arena.	Suelo de partículas gruesas (Nomenclatura con símbolo doble). Grava mal graduada con Limo con Arena (GP GM).	Limite Liquido (LL): 21.43% Limite Plástico (LP): 17.92% Índice Plasticidad (IP): 3.51%	Cohesión: 0.0758 kg/cm ² Angulo de fricción: 32.52°	Densidad seca Porosidad aparente % Peso específico 25.89 KN/m ³



5.3. LITOFACIES EN EL VALLE GLACIAR

Los depósitos morrenicos, tanto los de fondo del valle glaciar como las morrenas colgantes presentes en la cuenca Occoruruni, son producto de la acción y retroceso de los glaciares que ha venido ocurriendo desde hace tiempo atrás. Las morrenas en el lugar de estudio se caracterizan por ser carentes de estratificación y no ser muy consolidadas o compactas, estas morrenas son denominadas como morrenas frontales y laterales y están compuestas básicamente por sedimentos de meta-areniscas de colores grises de grano fino. Los bloques también son de tipo metasedimentario y tienen formas angulosas y subredondeadas, están envuelto en matriz de arena metamórfica gruesa a fina, mientras que la morrena lateral izquierda está conformada por detritos y bloques de pizarras areniscosas envueltas en una matriz areno arcillosa debido a la erosión de la litología de la Formación Sandia.

5.3.1. Descripción de facies

Las acumulaciones de sedimentos de la Cuenca Occoruruni están dominados por arenas y gravas de grano grueso a medio y consiste en una serie de estratos que incrementan su espesor y a la vez son granocrecientes; presentan en algunos casos estratos de grano fino deformados.

Las facies de grano fino consisten en sedimentos laminados de arcilla limosa con características comunes de deformación de sedimentos blandos (FI, Fms) que contienen arcillas limosas con niveles laminados. Las facies de arena incluyen



arenas masivas de grano fino a medio sin estructura (Sm) y arenas laminadas horizontales (Sh) con estructuras de desagüe y una fina sucesión ascendente de arenas laminadas horizontales de pobres a bien clasificadas. Las arenas finas a gruesas presentan finos clastos dispersos de hasta 5 mm de diámetro. Las facies de grava consisten en unidades masivas (sin estructura) a unidades de lecho crudo poco desarrolladas (Gm), la grava masiva con clasto soportado (Gcm) y la grava de lecho masivo crudo con matriz de arena gruesa que posee clastos redondeados de 15 cm de diámetro.

Estos tipos de facies se observaron en cinco zonas estratificadas distintas que predominan en la zona 1 – zona 2, estos tipos de facies se pueden usar para reconstruir los cambios temporales en condiciones deposicionales de la zona 3 – zona 5. Esta facie pueden ser interpretada como sedimentos que migraron a lo largo del canal de un sistema fluvial.

Para la zona 1 la delimitación de 3 facies sedimentológicas dominadas por gravas masivas, diamictitas y arenas finas a muy gruesa. Para la zona 2 la delimitación sería en 2 facies sedimentológicas, en las que dominarían las gravas masivas clasto soportada (Gcm) y matriz soportada (Gmm). La zona 3 la delimitación de 4 facies sedimentológicas estaría dominada por arenas de fina a muy gruesa (Sm, Sh) y arena, limo, fango (Fl, Fsm). En la zona 4 se delimitaría 4 facies sedimentológicas dominadas por gravas masivas estratificadas de clasto grueso (Gh, Gcm, Gmm) y diamictitas (Dmm) y finalmente La zona 5 estaría delimitada por 4 facies sedimentológicas dominadas por diamictitas (Dmm), gravas masivas con estratificación gruesa de clasto soportado (Gh, Gmm, Gcm).

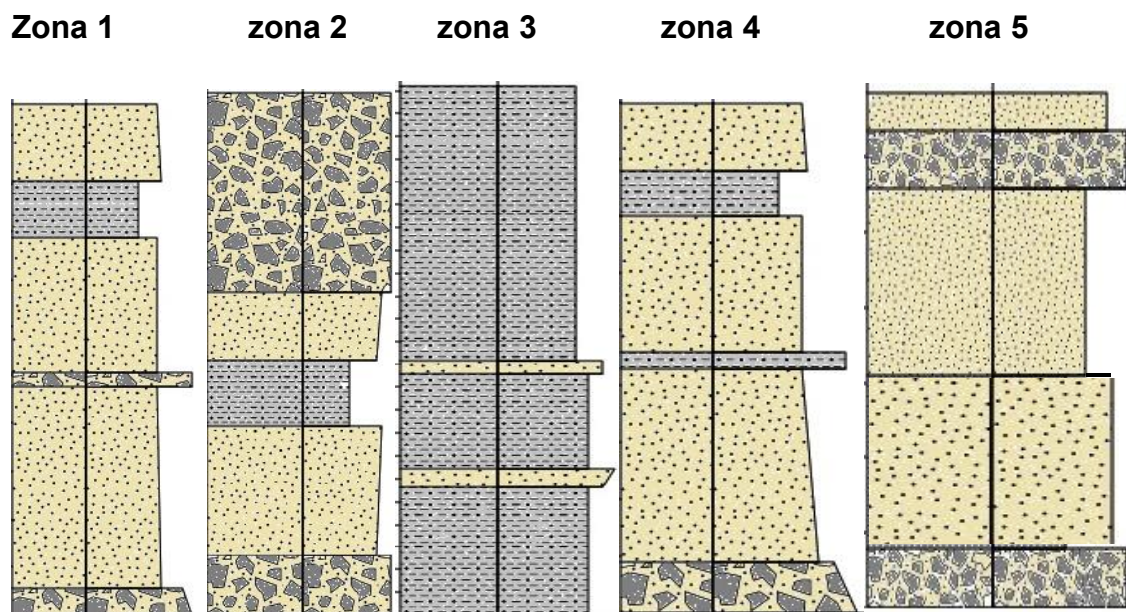


Figura N° 56: Perfiles estratigráficos de las zonas estudiadas.

5.3.2. Asociación de facies

Zona 1 – Zona 2

Estas dos zonas tienen algo en común, aquí es interpretado un sistema lacustre que contiene una amplia variedad de tipos de facies, que van desde gravas, arenas gruesas (Gm, Sh) hasta limos masivos y laminados (Fl). En ambas zonas prevalecen los limos y arcillas de grano fino, esta asociación indica la deposición principalmente en un entorno de baja energía probablemente un lago glacial sin contacto con el hielo (laguna Vizcachani). la presencia de arenas y gravas más gruesas y masivas sugiere que las condiciones de baja energía fueron interrumpidas periódicamente por flujos de mayor velocidad. Estos flujos de mayor velocidad pueden estar relacionados con cambios estacionales o pueden representar periodos en los que el relleno de sedimentó reduce las profundidades del agua en el lago y permite que prevalezcan las condiciones

fluviales. El apilamiento de sucesiones ascendentes gruesas repetidas registran el aumento progresivo de los niveles de agua que producen paquetes alternos de sedimentos gruesos y de grano fino.

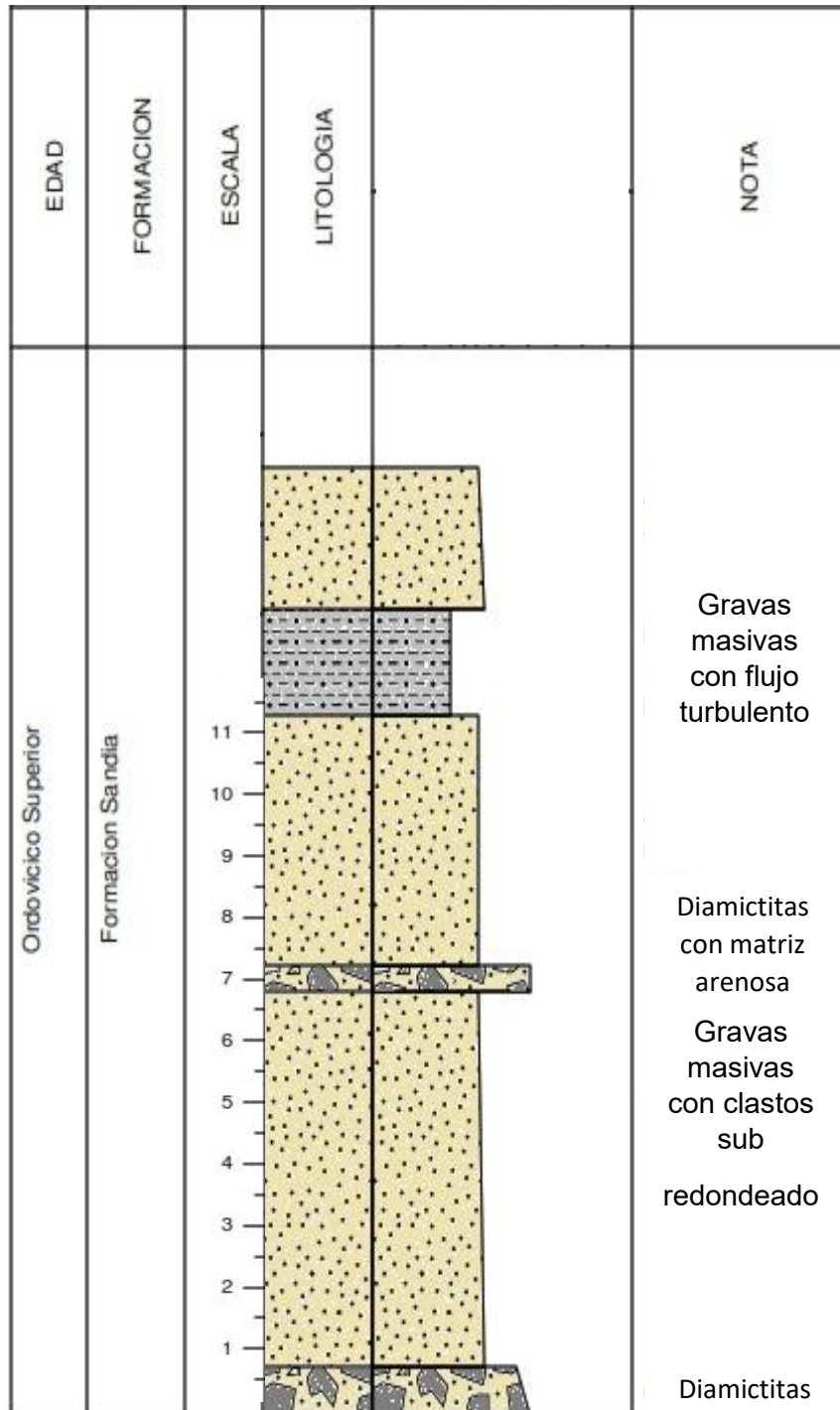


Figura N° 57: Perfil estratigráfico de la zona 1. Fuente: propia.

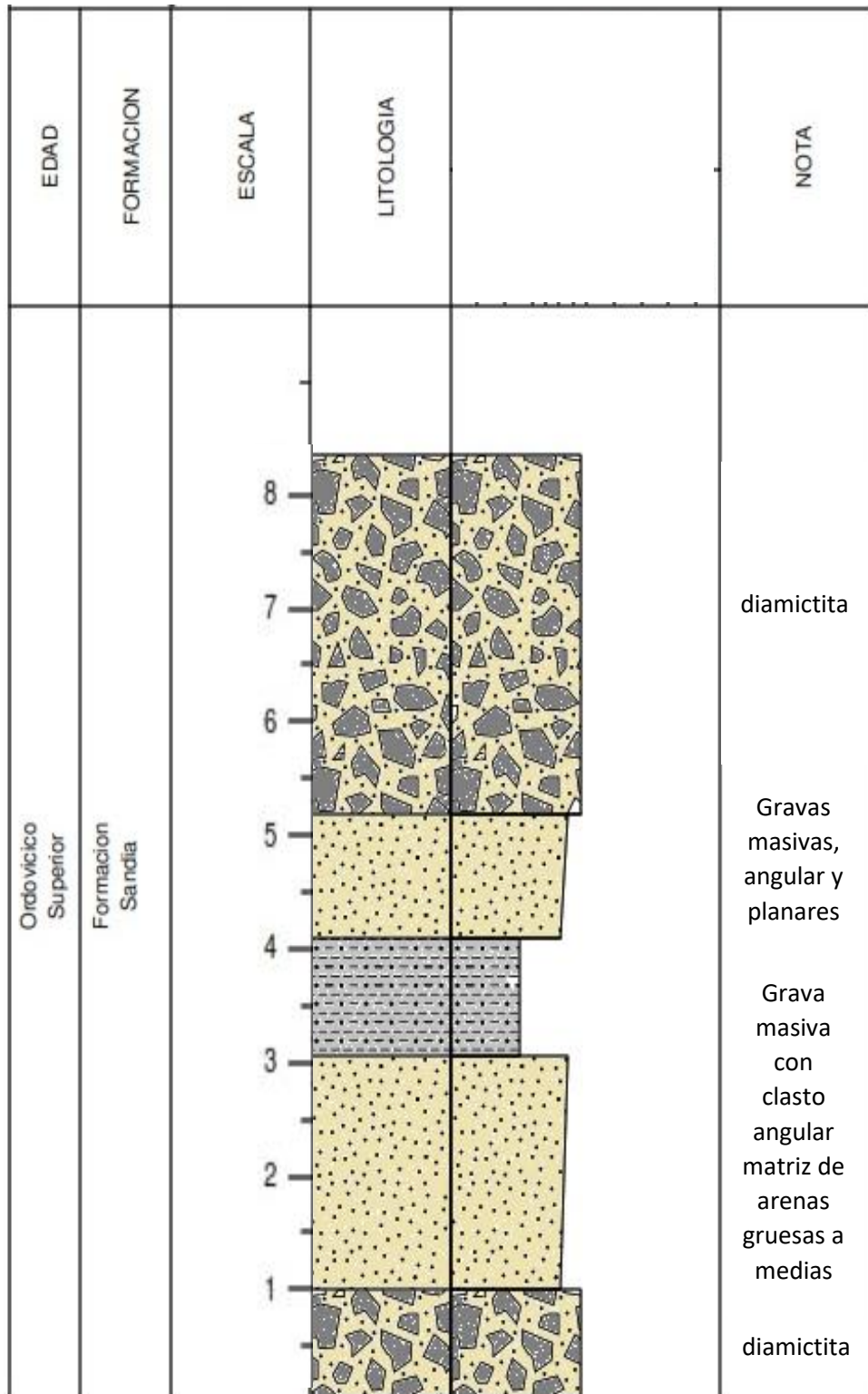


Figura N° 58: Perfil estratigráfico de la zona 2. Fuente: propia



Zona 3 – zona 4 – zona 5

Estas 3 zonas poseen depósitos por flujo fluvial de velocidad decreciente a medida que el GLOF (Inundación por desborde violento de lago glaciar) disminuía y depositaba una unidad gruesa de arena de grano grueso a fino con lecho horizontal que contiene clastos dispersos en la base. Esta sucesión se interpreta como depósitos fluviales ricos en arena formados en condiciones de disminución de la velocidad del flujo después de los eventos aluviónicos pasados, las arenas pasan hacia arriba en facies de grano fino esto nos hace suponer que el drenaje a lo largo del valle se concentró en un solo canal y se hizo un corte en los antiguos sedimentos del fondo del valle creando la exposición actual al afloramiento, hay gran parte de rocas dispersas en la superficie del suelo en la parte superior del valle que son consideradas remanentes del evento de inundación antiguas.

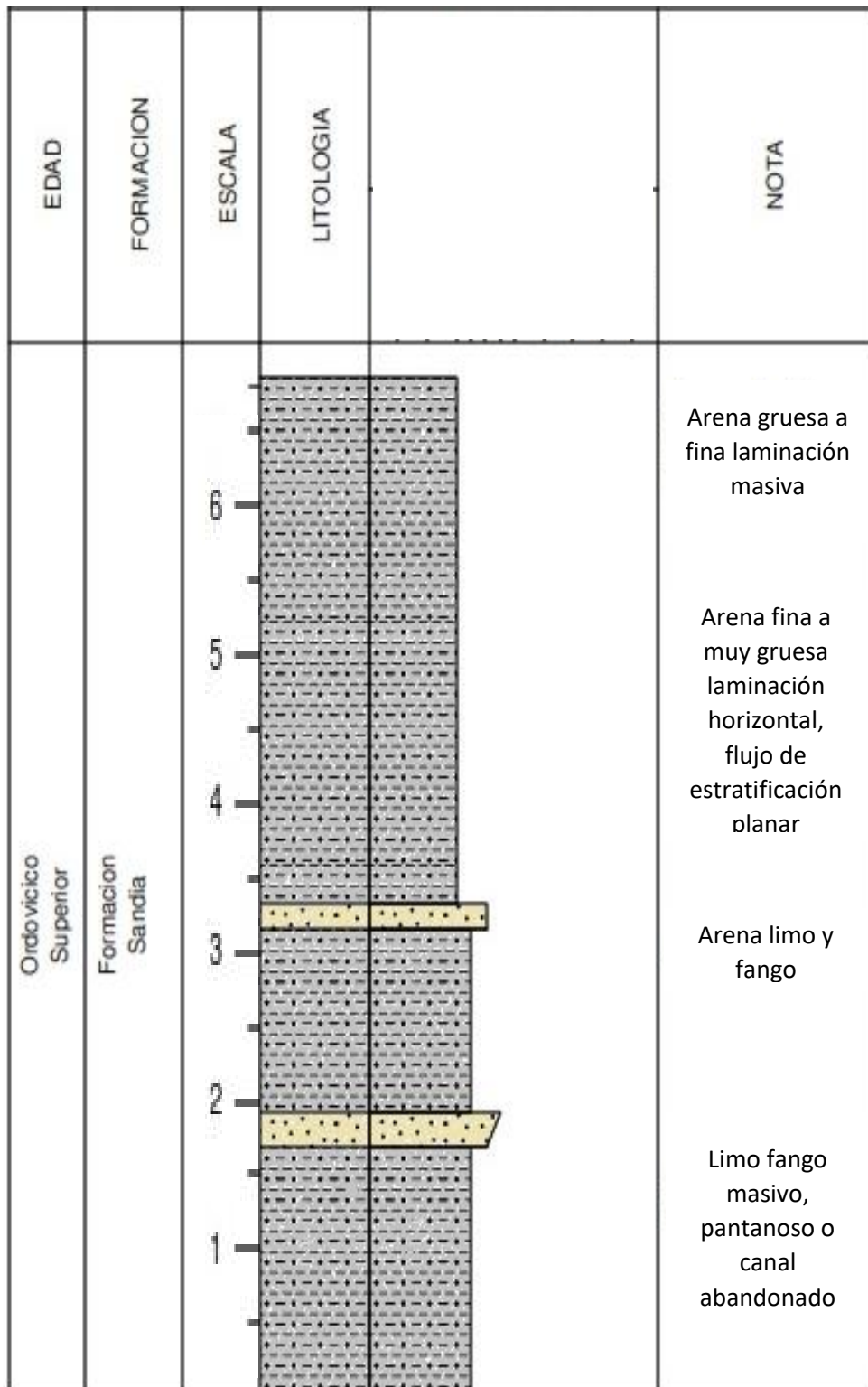


Figura N° 59: Perfil estratigráfico de la zona 3. Fuente: propia.

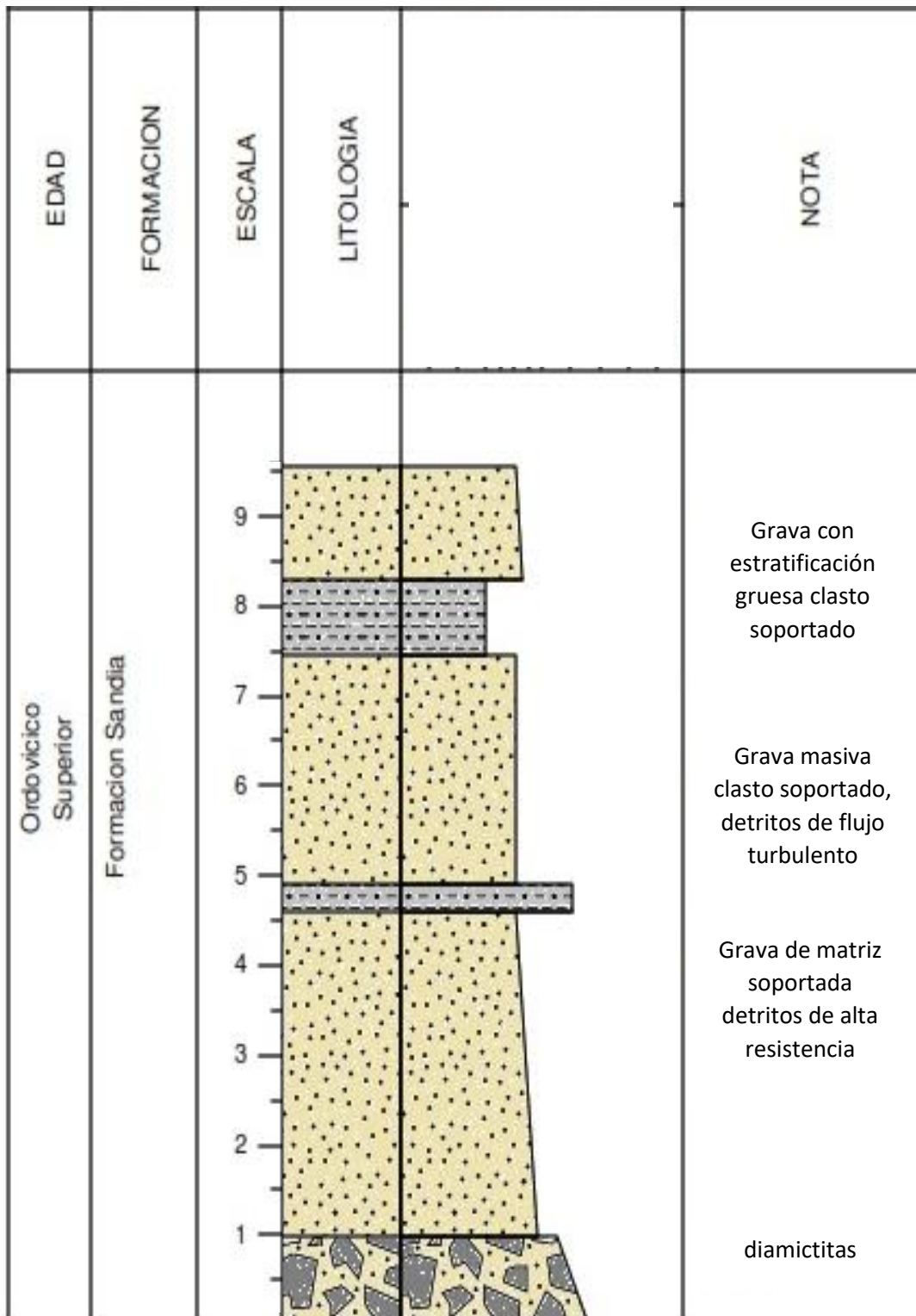


Figura N° 60: Perfil estratigráfico de la zona 4. Fuente: propia

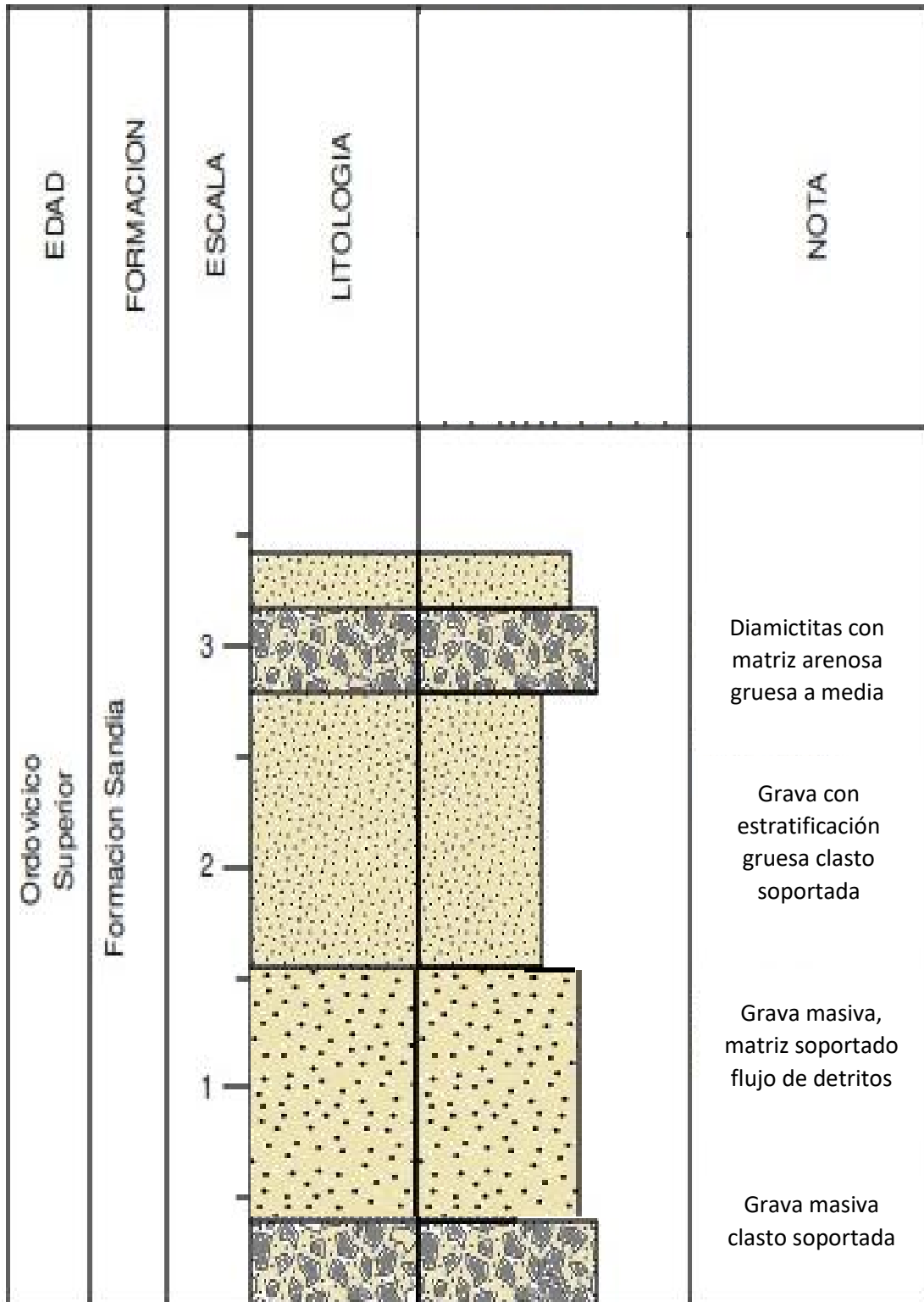


Figura N° 61: Perfil estratigráfico de la zona 5. Fuente: propia.

5.3.3. Relación de litofacies con los eventos aluviónicos

La cordillera de Apolobamba en el año 1962 presentaba una cobertura glaciaria de 81 km² (Hidrandina, 1989), en la actualidad se observa una reducción de 43 km², equivalente al 52%, siendo uno de los glaciares más afectados, en donde son ubicados los glaciares Sorapata y Salluyo en el grupo Vizcachani. Este retroceso acelerado de los glaciares tiene implicancias directas en los riesgos generados por la formación de lagunas de superficie considerable en inmediaciones de glaciares colgantes, y la generación de eventos aluviónicos en gran masa.

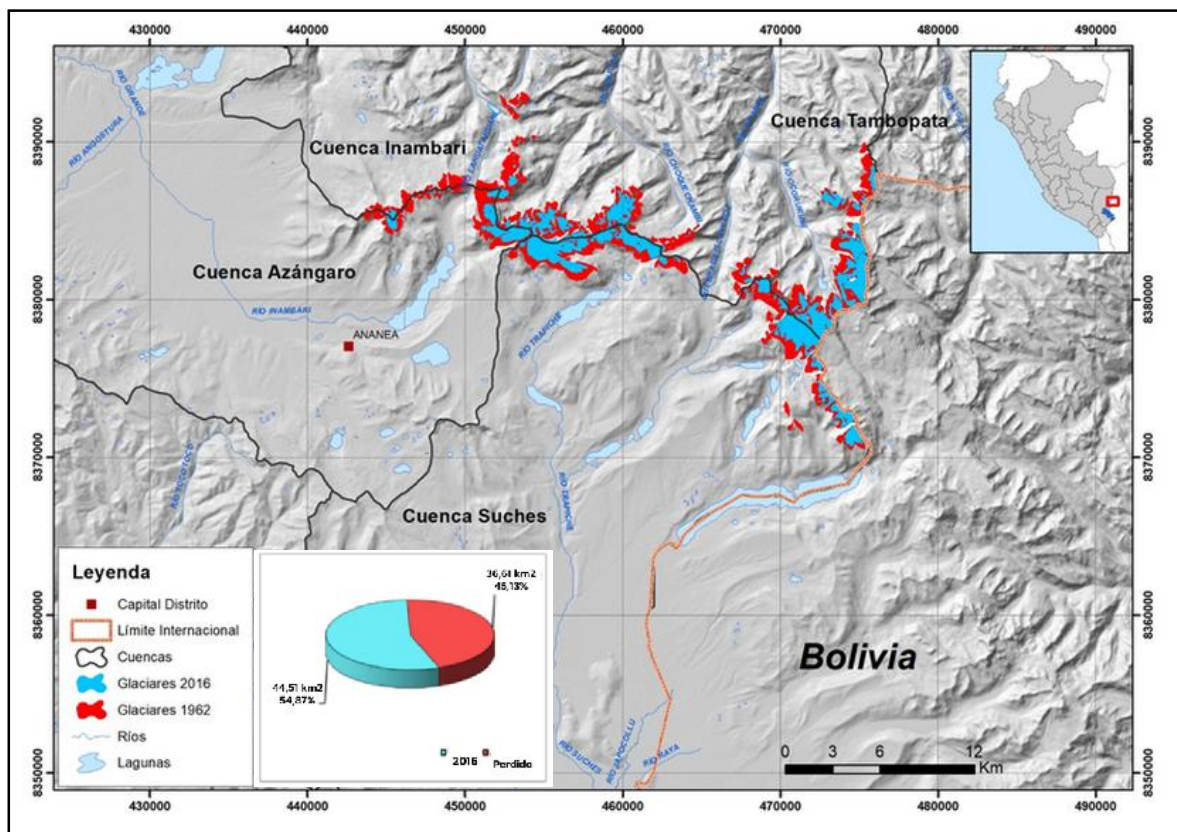


Figura N° 62: Retroceso glaciar en el ámbito de la cordillera Apolobamba, Mapa del retroceso glaciar de 1962 a 2016. Fuente: INAIGEM.

Los sedimentos presentes en la cuenca de Occoruruni son en ascenso y descenso, por alta carga de sedimentos en flujo y una acción erosiva de las precipitaciones pluviales, como el ambiente es caótico y muy activo en su transporte y sedimentación se puede observar 1 evento aluviónicos con mucha carga de lecho gravoso y limoso donde nos da a entender que existía vegetación (Bofedales) y al ser interrumpidos por un flujo de detritos se aprecia sus raíces debajo de los detritos.



Figura N° 63: Se observa en el inicio del fondo glaciar. Fuente: Elaboración propia.



CONCLUSIONES

- Se identificó y clasifíco dos sistemas geomorfológicos de origen glaciar en la cuenca Occoruruni, a decir denudacional y agradacional, en donde están enmarcados las unidades geomorfológicas como: montañoso, colinoso y planicies, depósitos de origen fluvioglaciar y antrópico,
- Las características sedimentológicas de la cuenca Occoruruni son de tipo glaciar, fluvial y aluvial, en donde se reconocieron, material metamórfico erosionado de formas angulosas a subredondeadas, con tamaños variables relacionados a la erosión glaciar y pluvial. Las características sedimentológicas permitieron reconocer las distintas facies.
- Se reconocieron y correlacionaron estratigráficamente cinco litofacies en la cuenca Occoruruni, la cuales fueron utilizados para asociarlas y luego interpretar la dinámica de la acción glaciar dentro de la cuenca (deposición y transporte).



RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios de riesgo geológico, por las evidencias encontradas cerca al centro poblado de Koriwara. Este estudio debe llegar hasta Sina.
- Hacer dataciones para saber la dinámica glaciar en el tiempo con isotopos de ^{36}Cl y ^{10}Be .
- Se recomienda hacer monitoreo del retroceso de los glaciares y batimetría en las lagunas Vizcachani y Sorapata.
- Se recomienda realizar estudios geotécnicos y un análisis de taludes en la cuenca Occoruruni.



REFERENCIAS

Arche, A. (2010). Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Madrid: Ministerio de ciencia e innovación de España. Editorial CSIC. Pp. 17-19. Pp. 85-130.

Autoridad nacional del agua – ANA. (2014). Inventario de glaciares del Perú, 2da actualización. Unidad de glaciología y recursos hídricos UGRH-Huaraz. Pp. 18-49.

Balcázar, R. (2019). Sedimentología y estratigrafía de la Formación Carhuaz en el distrito de la Encañada. Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis de grado.

Boulton, G. S. and Eyles, N. (1979). Sedimentary and sea level changes during glacial and their control on glacial marine facies architecture. In Dowdeswell, J. A. and SCOURSE, J. D. (Eds). Glacial marine environments: Processes and Sediments. Publication 53, 15-52. London Geological Society.

Caqui, F. Gonzales, J. (2017). Análisis del efecto del calentamiento global en la desglaciación al suroeste del Nevado Yerupaja – Huayhuash. Universidad José Faustino Sánchez Carrión. Tesis de grado.

Castro, M. (2017). Evaluación de riesgos geológicos de la zona urbana, distrito de Ollachea – Carabaya. Universidad Nacional del Altiplano – Puno. Tesis de grado.



Carlotto, V., Carlier, G., Jaillard, E., Sempere, T. & Mascle, G., (1999). Sedimentary and structural evolution of the Eocene-Oligocene Capas Rojas basin: evidence for a late Eocene lithospheric delamination event in the southern Peruvian Altiplano. IV International Symposium on Andean Geodynamics Gottingen, extended abstracts, 141-146.

Carlotto, et al (2009). Dominios geotectónicos y metalogénesis del Perú. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú. P1-89.

Cortes, J & Granados, H. (2015). Reconstruction of Glacier área on Citlaltepétl volcano, 1958 and implications for Mexico deglaciation rates. Artículo, geofísica internacional. Pp. 10-30.

Duran, J. (2018). Estudio sedimentológico y estratigráfico de la microcuenca Cochamarca – San Marcos Cajamarca Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis de grado.

Duque, G. (2017). Manual de geología para ingenieros, Geomorfología. Universidad nacional de Colombia. Revista. capítulo 20. Pp. 1-30.

Evans, S. G. and Delaney, K. B. (2015) Catastrophic Mass Flows in the Mountain Glacial Environment in Snow and Ice – Related Hazard, Risk, and Disasters, edited by W. Haeberli and C. Whiteman. Pp. 568-606, Elsevier.



Faillettaz, J. Funk, M. and Vicent, C. (2015) Avalanching glacier instabilities: Review om processes and early warning perspectives, *Rev. Geophys.*, 53(2), 203-224.

Fernández, P. (2014). Geomorfología glaciar – periglaciar. Dpto. Geodinámica. Facultad C. C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, objeto de sustentación.

Francou, B. y Pouyaud, B. (2004). Métodos de observación de glaciares en los Andes Tropicales. Mediciones de terreno y procesamiento. Versión 1, Great Ice, IRD, France: Pp. 238.

Galvez, G. (2013). Evaluación de los bosques de Polylepis y plan de restauración ecológica en la micro cuenca de Cancha Cancha – Calca. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú. Tesis de grado.

Gaphaz. (2017) evaluación de peligros por glaciares y permafrost en regiones de montaña – Documento técnico de orientación. Elaboración por Allen, S., Frey, H., Huggel, C. et al. Grupo de trabajo permanente sobre Peligros Glaciares y Permafrost en Alta Montaña (GAPHAZ) de la Asociación Internacional de ciencias de la Criosfera (IACS) y la Asociación Internacional de Permafrost (IPA) Zurich, Suiza / Lima, Perú, Pp 72.



García, P. (2014). Geomorfología Glaciar 2. Universidad complutense de Madrid. España. Dpto. Geodinámica. Facultad C.C. Geológicas. Objeto de conferencia. Pp 1-20.

Georges, C. (2004). 20th-Century glacier fluctuations in the Tropical Cordillera Blanca, Perú. *Arct. Antarct Alp. Res.* 36, 100-107.

Gobierno Regional Puno, Ing. MSc. Gonzales Aliaga. R. (2015) proyecto “desarrollo de capacidades para el ordenamiento territorial de la Región Puno”. Informe final del área de Geología, Región Puno.

Gonzales, D. (2014). Análisis del registro del cambio climático en el último avance de los glaciares en la vertiente norte de la Cordillera Pariaqaqa (Andes Centrales Occidentales de Perú). Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Análisis Geográfico Regional de Geografía Física. Artículo de investigación. Pp. 27-48.

Gonzales, R (2015) Zonificación Ecológica Económica de la Región Puno, Informe de la Geomorfología Regional. MINAM.

Huss, M. (2013). Density assumptions for converting geodetic glacier volume change to mass change, *The Cryosphere*, 7, 877-887.



Huggel, C., Haeberli, W., Kaab, A., Bieri, D. and Richardson, S,: An Assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps, *Can. Geotech. J.*, 41, 1068-1083, 2004a.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (2009). Boletín N° 38, Serie C, Riesgos Geológicos en la Región Ancash. Pp. 45-60.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (2010). Aluvión en el sector 16 de noviembre, Ambo: origen y geodinámica en las microcuencas Arroyo 1 y Rogron / Marcacoto. Dirección de geología ambiental y riesgo geológico. Región Huánuco. Pp. 5-26.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (2013). Evaluación ingeniero – Geológico: Laguna de Palcacocha y su influencia en la ciudad de Huaraz Cordillera Blanca. Región Ancash.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (1996). Boletín N° 66, serie A: Carta Geológica Nacional N° 66. Geología de los cuadrángulos de Putina y la Rinconada. Pp. 1-98.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (2008). Evaluación geológico e ingeniero – Geológico de tres presas de sedimentación cuenca alta del Rio Ramis – Ananea, Puno. Informe técnico. Pp. 4-51.



Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET. (1995). Boletín N° 55, Serie A: Carta Geológica Nacional. Geología del Perú. Sector energía y minas. Pp. 45-56.

Mamani, E. (2018). Geomorfología y su relación con yacimientos minerales de San Antonio de Esquilache – Puno. Universidad Nacional del Altiplano. Tesis de grado.

Muñoz, J. (1995). Geomorfología general. Madrid: Editorial síntesis S.A. Pp. 245-268, Pp. 299-313, Pp. 317-347.

Ruiz, L, E. (2013). Análisis geomorfológico, sedimentológico y crono – estratigráfico, de depósitos glaciales, periglaciales y glaciogenicos, en la Cordillera de los Andes y zonas adyacentes entre el paralelo 42° y el 43° LS, desde la última glaciación. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires. Tesis de maestría.

Sugden, D. E., and John, B.S. (1976). Glaciers and landscape. Edward Arnold Ltd, London, Great Britian.

Sugden, D. E., Bentley, M.J. et al. (2005). Late – glacial galcier events in Southern most South America: a Blend of “Northern” and “Southern” Hemispheric climatic signals Geografiska Annaler. P1 273-288.



Trombotto, D. (2003). Profundización del tope de permafrost y tendencias en la dinámica criogénica, a partir de 1989, en el glaciar de escombros compuesto del valle de morrenas coloradas, Mendoza – Argentina. Boletín geográfico. Pp. 71-83.

Úbeda, J. (2013). Investigación del registro glacial del cambio climático en el complejo Volcánico Nevado Coropuna (Arequipa, Perú). Cryoperu, Objeto de conferencia.

Vera, J, A. (1994). Estratigrafía principios y métodos. Madrid-España: editorial rueda. Pp. 133-218.

Zinck, J, A. (2012). Geopedología, elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC. “Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede (NL). 131 pp.

ANEXOS

Panel fotográfico

Foto N° 01



Vista central de la laguna Vizcachani.

Foto N° 02:



Desague de la laguna Vizcachani.

Foto N° 03



Pequeña laguna de recepcion.

Foto N° 04



Vista de la laguna Sorapata.

Foto N° 05



Levantamiento topografico en la laguna Sorapata.

Foto N° 06



Drenajes internos conductos intraglaciares.

Foto N° 07



Cumbre del glaciar Caballune (Azulcocha).

Foto N° 08



Morrenas en el fondo del valle glaciar.

Foto N° 09



Morrenas al final del valle glaciar.

Foto N° 10



Valle de fondo glaciar.

Foto N° 11



Cascada inicio de valle en V.

Foto N° 12



Vista de centro poblado de Koriwara a la cordillera de Apolobamba.

Foto N° 13



Centro poblado de Koriwara.



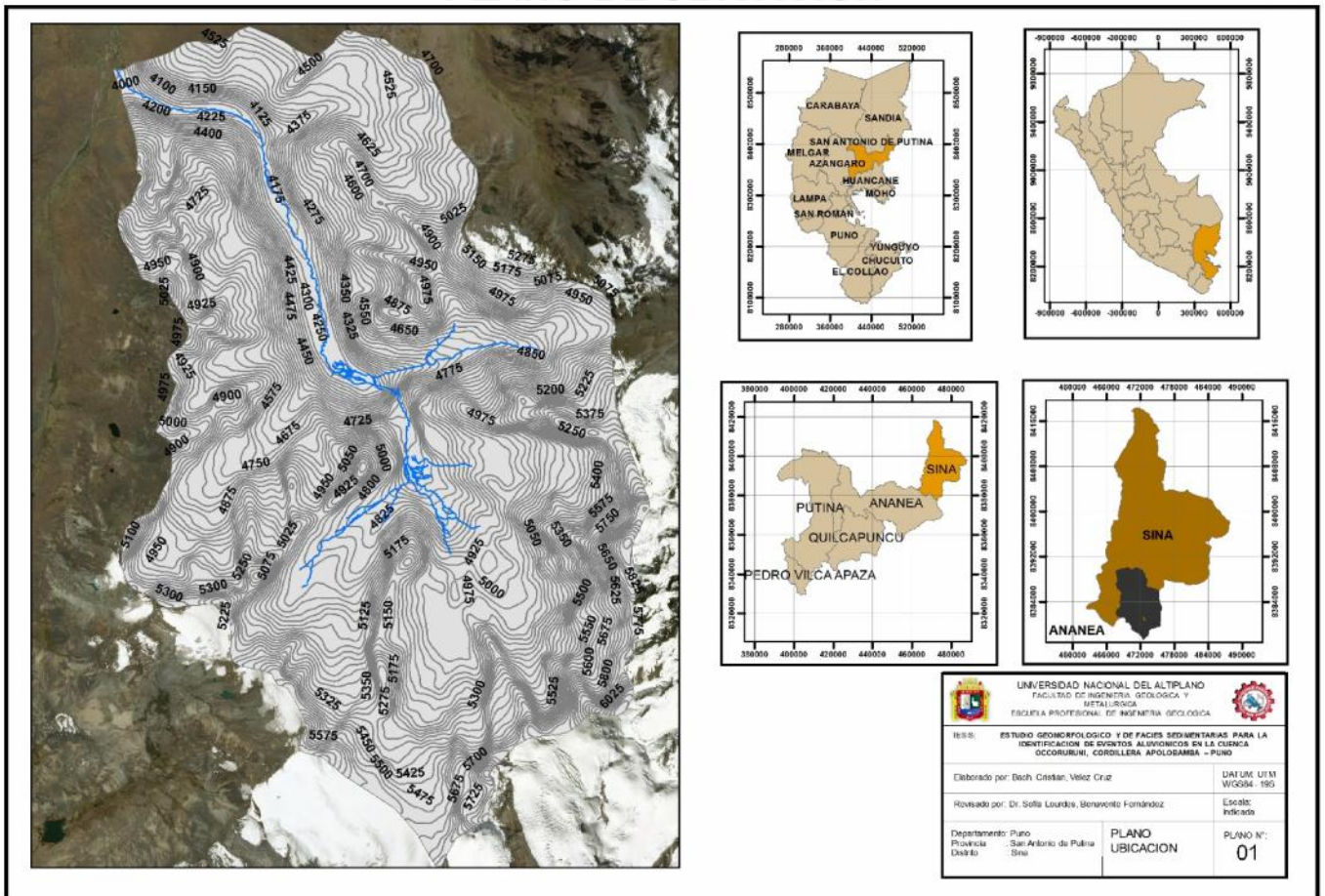
ANEXOS 1.

Planos

1. Plano de ubicación
2. Plano de ubicación de facies
3. Mapa de pendientes
4. Plano geomorfológico local
5. Plano geológico local

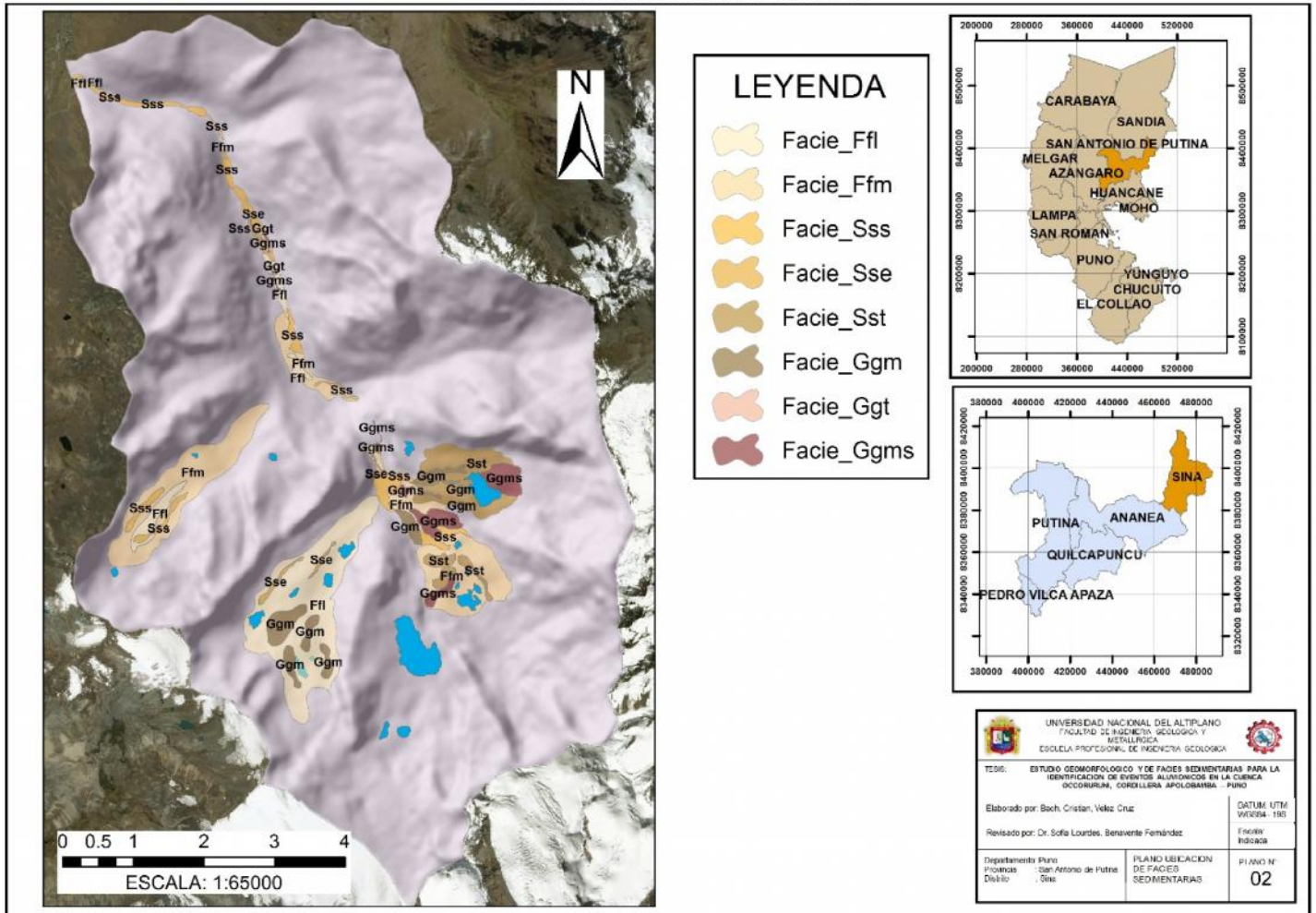


PLANO DE UBICACION

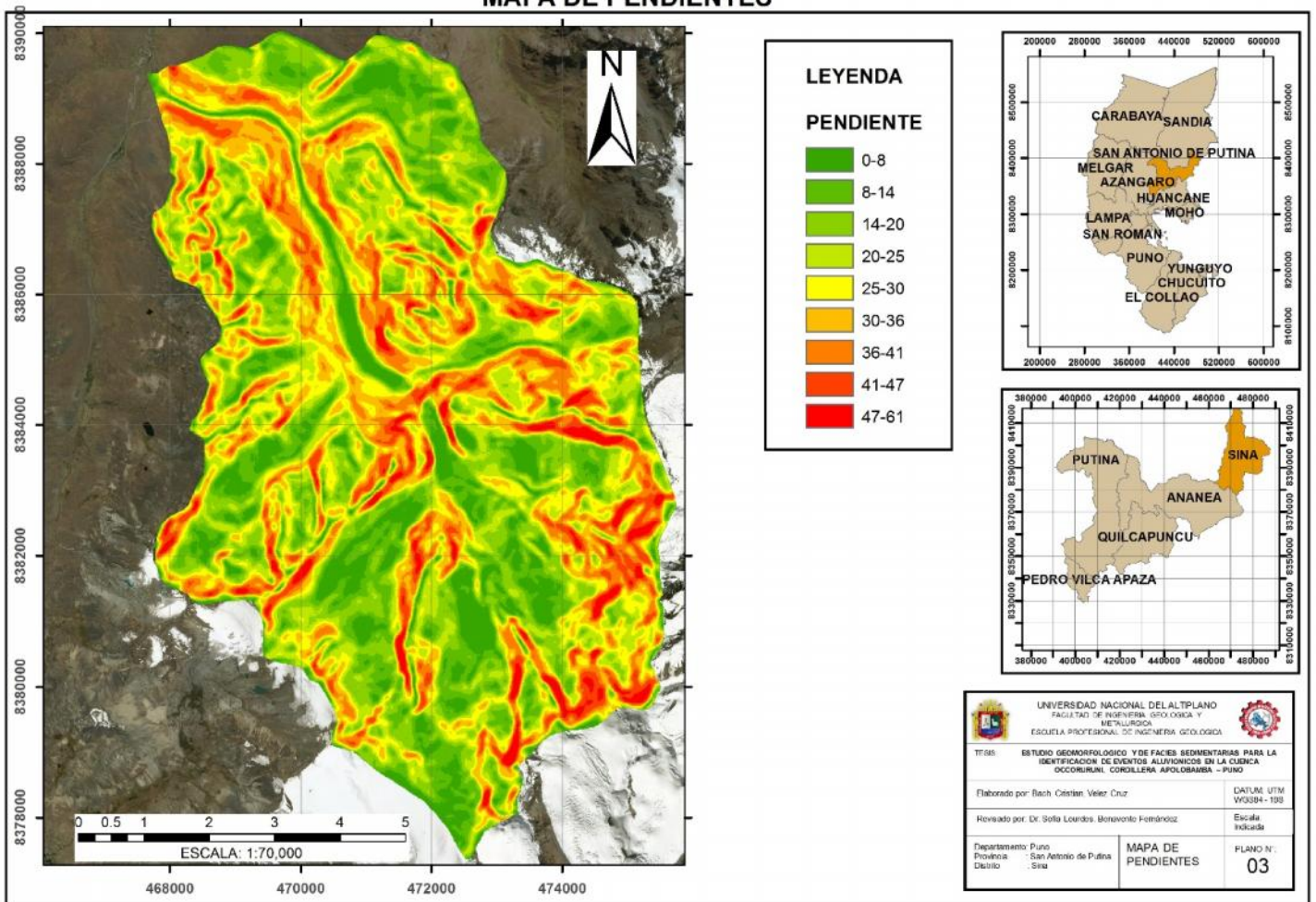




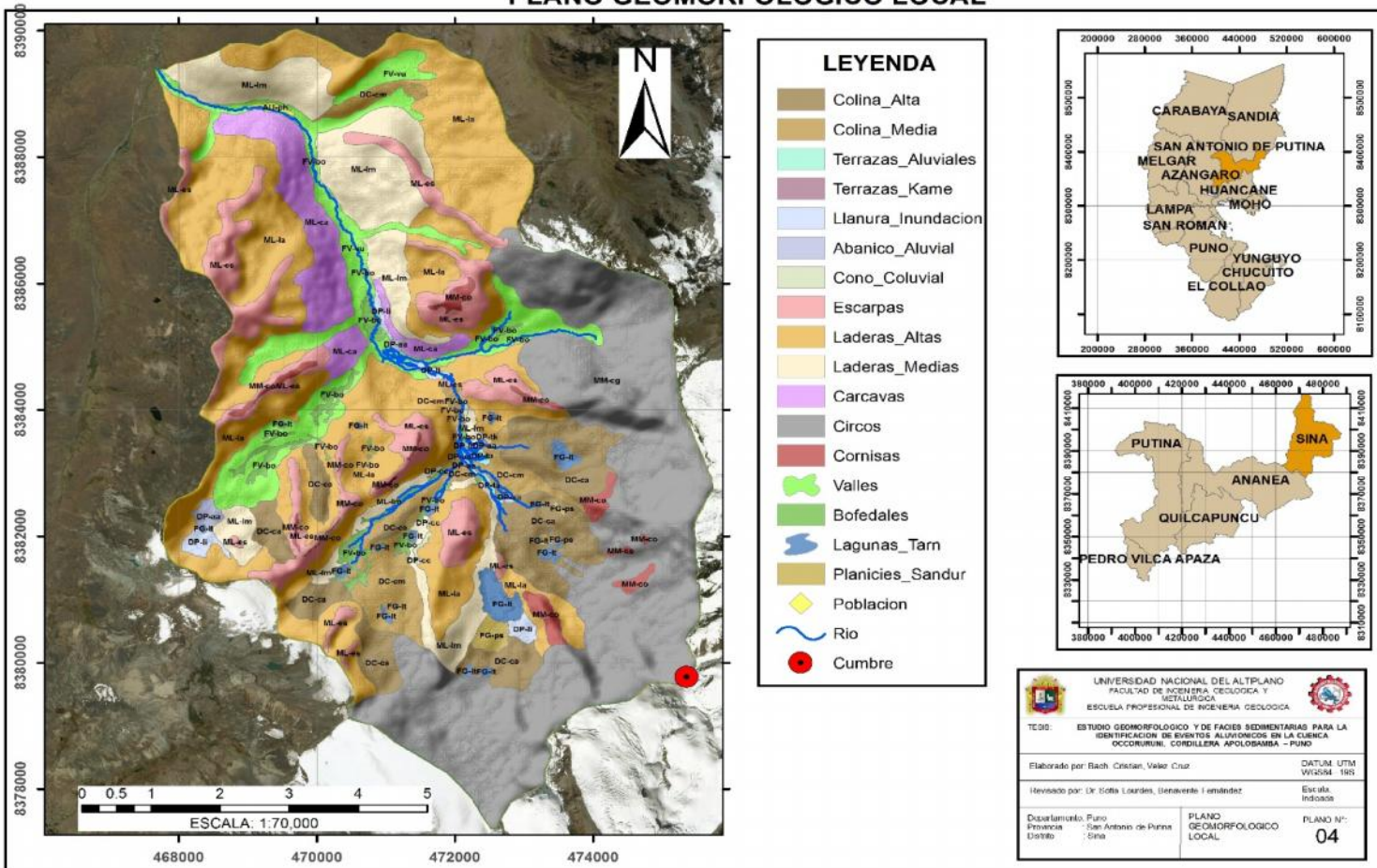
PLANO UBICACION DE FACIES



MAPA DE PENDIENTES

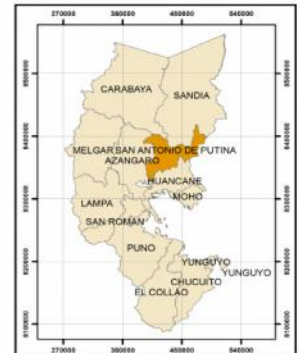
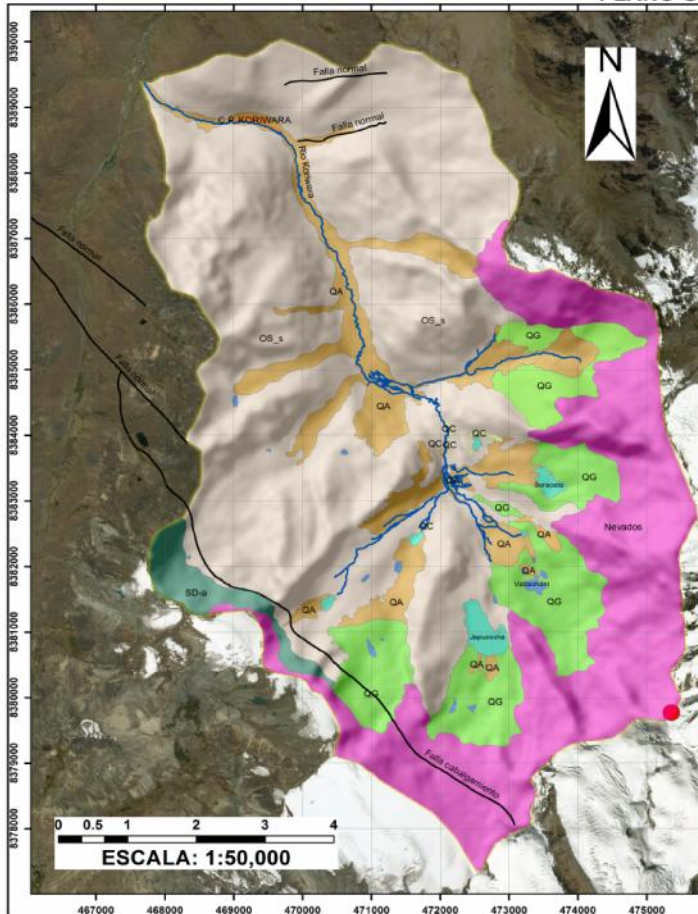


PLANO GEOMORFOLOGICO LOCAL





PLANO GEOLOGICO LOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y METALURGICA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA GEOLOGICA		
TESIS: ESTUDIO GEOMORFOLOGICO Y DE FACIES SEDIMENTARIAS PARA LA IDENTIFICACION DE EVENTOS ALUVIONICOS EN LA CUENCA OCCORURUNI, CORDILLERA APOLOBAMBA - PUNO		
Elaborado por: Bach. Cristian, Velez Cruz	DATUM UTM WGS84 - 19S	
Revisado por: Dr. Sofia Lourdes, Benavente Fernández	Escala: Indicada	
Departamento: Puno Provincia: San Antonio de Putina Distrito: Sina	PLANO GEOLOGICO LOCAL	PLANO N°: 05